



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA Y EDAFOLOGÍA

TESIS DOCTORAL

**EFFECTOS DE LA CAPACIDAD DE USO EN LA CALIDAD
DE LOS SUELOS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
MONTILLA-MORILES**

Marcelino Martín Carrillo

Córdoba 2015

TITULO: *Efectos de la capacidad de uso en la calidad de los suelos en la Denominación de Origen Montilla-Moriles.*

AUTOR: *Marcelino Martín Carrillo*

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2015
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**EFFECTOS DE LA CAPACIDAD DE USO EN LA CALIDAD
DE LOS SUELOS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
MONTILLA-MORILES**

**MEMORIA PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE
DOCTOR POR LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA POR:**

Marcelino Martín Carrillo

LOS DIRECTORES DEL TRABAJO

Dr. Prof. Luis Parras Alcántara

Dra. Prof. Beatriz Lozano García



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

LUIS PARRAS ALCÁNTARA, Profesor Contratado Doctor y BEATRIZ LOZANO GARCÍA, Profesora Ayudante Doctora, del Departamento de Química Agrícola y Edafología de la Universidad de Córdoba

INFORMAN

Que el trabajo

Efectos de la Capacidad de Uso en la calidad de los suelos en la Denominación de Origen Montilla-Moriles, realizado por el Licenciado en Ciencias Ambientales D. Marcelino Martín Carrillo, bajo nuestra dirección se encuentra finalizado y puede ser presentado para su exposición y defensa como Tesis Doctoral en la Universidad de Córdoba.

Córdoba, 1 de julio de 2014

Fdo. Luis Parras Alcántara

Fdo. Beatriz Lozano García



TÍTULO DE LA TESIS:

Efectos de la Capacidad de Uso en la calidad de los suelos en la Denominación de Origen Montilla-Moriles

DOCTORANDO: Marcelino Martín Carrillo

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS

Esta tesis es una contribución, en términos generales, al conocimiento sobre la Capacidad de Uso del suelo y en términos particulares sobre la variación de carbono orgánico en el suelo en función de los cambios de uso y de manejo. El proyecto de tesis se realiza en la comarca de Montilla, en terrenos incluidos en el Marco de Denominación de Origen Montilla-Moriles. En la tesis se realiza un análisis de la Capacidad de Uso a partir de factores limitantes, como síntesis de las clasificaciones americana y portuguesa para establecer recomendaciones de uso a partir de parámetros físicos, químicos y ambientales. Es importante destacar que esta metodología se ha adaptado a la zona de estudio, principalmente, en cuanto a parámetros ambientales se refiere, condicionados por las características climáticas en las que nos encontramos (Mediterráneo Semiárido). Además de analizar el papel del suelo como sumidero de carbono, comparando la evolución que han tenido los principales suelos (luvisoles) en la comarca objeto de esta tesis. Los resultados que ofrece esta tesis pueden servir, en primer lugar, como estrategia a los gestores para establecer recomendaciones de uso y en segundo lugar para reflexionar si el cambio de uso y manejo en el tiempo (46 años) mejora o no las propiedades físicas y químicas del suelo.

Inicialmente en la tesis se hace una introducción al problema mencionado anteriormente así como la justificación del mismo. También se presentan la hipótesis y objetivos del trabajo, derivados de la justificación del problema. En segundo lugar se esboza el marco conceptual y teórico en el que se encuadra la investigación, revisando el estado del conocimiento sobre el tema objeto de este estudio.

En el Capítulo III se presenta el marco metodológico general, en donde se describe la zona objeto de la tesis y el proceso seguido para el análisis de los datos de suelo, así como la estrategia utilizada para estratificar los perfiles y datos edáficos para integrarlos en un Sistema de Información Geográfica.

Los Capítulos siguientes tratan de evaluar la Capacidad de Uso como estrategia metodológica de la presente tesis doctoral junto con las adaptaciones propuestas, además del análisis de las propiedades, principalmente químicas, en cuanto a calidad de los suelos (estratificación de variables) y como estas se ven afectadas por el cambio de uso y manejo.

Hasta la fecha de hoy se ha publicado un artículo en una revista científica indexada en el Journal Citation Reports.

- Título: Impacts of land use change in soil carbon and nitrogen in a Mediterranean agricultural area (Southern Spain).

- Autores: LUIS PARRAS-ALCÁNTARA, MARCELINO MARTÍN-CARRILLO, BEATRIZ LOZANO GARCÍA

- Revista: SOLID EARTH, 4, 167-177 (2013)

- Base de Datos Internacional o Nacional en las que está indexada: Journal Citation Reports (Science Edition 2013)

- Área temática en la Base de Datos de referencia: Geochemistry/Geophysics

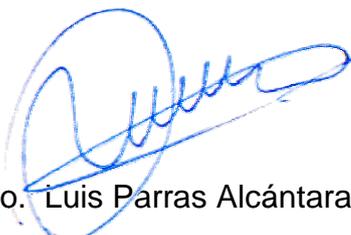
- Índice de impacto de la revista en el año de publicación del Artículo: 2.155.

- Lugar que ocupa/Nº de revistas del Área temática: Q2 32/80

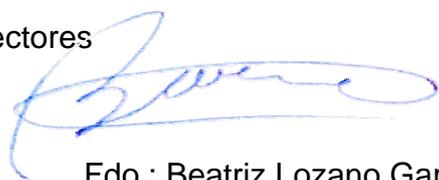
INDICIOS DE CALIDAD (CITAS EN): SCOPUS: 12; GOOGLE SCHOLAR: 18; GOOGLE ACADEMIC: 18.

Debido a lo anteriormente expuesto, consideramos que la tesis cumple todos los requisitos de calidad para su presentación. Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 1 de julio de 2015


Fdo. Luis Parras Alcántara

Firma de los directores


Fdo.: Beatriz Lozano García

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero dar las gracias a mis Directores de Tesis, D. Luis Parras y D^a. Beatriz Lozano por los consejos, aporte de conocimientos y apoyo, que han hecho posible que el “trabajo saliese para adelante”, así como el apoyo y orientación en momentos difíciles.

Gracias a los integrantes del Departamento de Química Agrícola y Edafología de la Universidad de Córdoba por solventar mis dudas en relación con la Edafología y en especial a D. Juan Gil por compartir sus conocimientos de erosión.

Mi agradecimiento más sincero a D. Luis Corral por su aliento constante en la realización del presente trabajo. Sin su ayuda no se hubiese empezado esta Tesis Doctoral. Siempre supo motivar a sus alumnos, entre los que me incluyo, para despertar en ellos la curiosidad necesaria en sus asignaturas y fomentar el estudio. Gracias.

Por último quiero dar las gracias a mi querida compañera D^a María Tejada, por soportar todas las veces que no estuve y por suplir mi ausencia en ciertos momentos con cariño y comprensión como nadie. Sin ella y su participación, este camino no podría haber sido recorrido. Gracias a ella y a su familia, que es la mía, por apoyarme.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a mi familia y en especial a mi padre, cuyas enseñanzas de lo que es la vida y cómo funciona, están presentes cada uno de los días desde que nos dejó y de ellas destacaría su honestidad. Gracias.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

Índice de Figuras	
Índice de Tablas	
Glosario de términos	
0. Objetivos.....	1
1. Introducción.....	3
1.1. Evolución histórica de los estudios edáficos en España.....	3
1.2. El estudio de los suelos en la provincia de Córdoba.....	4
1.3. Capacidad de uso.....	5
1.3.1. Antecedentes de la capacidad de uso.....	9
1.3.2. Metodologías de evaluación.....	11
1.3.2.1. Métodos cualitativos.....	12
1.3.2.2. Métodos físico-cuantitativos.....	13
1.4. Erosión hídrica.....	18
1.5. Cartografía de suelos.....	24
1.6. Cartografía geocientífica.....	25
1.7. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	26
1.8. Herramientas de cartografía.....	29
1.8.1. Fotografía aérea.....	29
1.8.2. Imágenes de satélite.....	30
1.9. Paisaje.....	31
1.9.1. Clasificación del paisaje.....	32
1.10. Influencia de los cambios de uso en las propiedades de los suelos.....	33
1.11. Análisis descriptivo de la zona de estudio.....	34
1.11.1. Medio físico.....	35
1.11.1.1. Localización y delimitación del área de estudio.....	35
1.11.1.2. Relieve y Fisiografía.....	37
1.11.1.3. Litología.....	38
1.11.1.4. Estratigrafía.....	39
1.11.1.5. Edafología.....	41
1.11.1.6. Fisiografía y dinámica geomorfológica.....	44
1.11.1.7. Morfogénesis.....	47
1.11.1.8. Hidrología superficial.....	49
1.11.1.9. Hidrología subterránea. Permeabilidad.....	51
1.11.1.10. Climatología.....	53
1.11.2. Medio biótico.....	58
1.11.2.1. Vegetación.....	58
1.11.2.2. Fauna.....	63
1.11.3. El paisaje rural y los usos del suelo.....	65
2. Material y métodos.....	75
2.1. Cartografía geocientífica.....	75
2.2. Capacidad de uso.....	76
2.2.1. Clases de Capacidad de Uso.....	78
2.2.2. Subclases de Capacidad de Uso.....	79
2.2.2.1. Subclase erosión hídrica.....	79
2.2.2.2. Subclase pendiente.....	79
2.2.2.3. Subclase espesor efectivo.....	80
2.2.2.4. Subclase afloramientos rocosos.....	80

2.2.2.5. Subclase pedregosidad.....	81
2.2.2.6. Subclase salinidad.....	81
2.2.2.7. Subclase alcalinidad.....	81
2.2.2.8. Subclase propiedades físicas.....	82
2.2.2.9. Subclase propiedades químicas.....	82
2.2.2.10. Subclase exceso de agua.....	82
2.2.2.11. Subclase déficit de agua.....	83
2.2.2.12. Subclase limitaciones térmicas.....	83
2.2.3. Unidades de Capacidad de Uso.....	83
2.3. Capacidad de Uso adaptada a la zona de estudio.....	84
2.4. Erosión hídrica.....	84
2.4.1. Factor R.....	85
2.4.2. Factor K.....	86
2.4.3. Factor LS.....	88
2.4.4. Factor C.....	88
2.4.5. Factor P.....	89
2.5. Parámetros termo-pluviométricos.....	89
2.6. Cartografía de suelos.....	93
2.6.1. Material y métodos para la toma y descripción de perfiles.....	93
2.6.2. Asignación de perfiles a Unidades Cartográficas.....	95
2.7. Preparación de muestras y análisis de laboratorio.....	98
2.7.1. Grava.....	98
2.7.2. Color.....	98
2.7.3. Textura del suelo.....	98
2.7.4. Densidad aparente.....	99
2.7.5. pF a 1/3 y 15 atmósferas.....	99
2.7.6. Permeabilidad.....	99
2.7.7. Agua utilizable por las plantas.....	100
2.7.8. pH.....	100
2.7.9. Conductividad eléctrica.....	100
2.7.10. Materia orgánica (MO), Carbono Orgánico del Suelo (COS) y reserva de Carbono Orgánico del Suelo (reserva de COS).....	100
2.7.11. Nitrógeno Total (NT), relación C:N y reserva de Nitrógeno Total del Suelo (reserva de NTS).....	101
2.7.12. Índice de Estratificación (IE).....	102
2.7.13. Carbonatos.....	102
2.7.14. Cationes de cambio (S) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	103
2.7.15. Porcentaje de saturación en bases (V).....	103
2.7.16. Razón de adsorción de sodio (RAS).....	104
2.7.17. Fósforo asimilable.....	104
2.7.18. Macroelementos asimilables: calcio, magnesio, sodio y potasio.....	104
2.7.19. Microelementos asimilables: hierro, cobre, manganeso y zinc.....	105
2.8. Análisis estadístico.....	105
3. Resultados.....	107
3.1. Suelos.....	107
3.2. Erosión hídrica.....	118
3.3. Clases de Capacidad de Uso.....	125
3.3.1. Clases de Capacidad de Uso (12 factores).....	125
3.3.2. Clases de Capacidad de Uso (11 factores).....	128

3.3.3. Clases de Capacidad de Uso (9 factores).....	131
3.4. Subclases de Capacidad de Uso.....	132
3.4.1. Subclases de Capacidad de Uso (12 factores).....	132
3.4.2. Subclases de Capacidad de Uso (11 factores).....	152
3.4.3. Subclases de Capacidad de Uso (9 factores).....	159
3.5. Unidades de Capacidad de Uso.....	160
3.5.1. Unidades de Capacidad de Uso (12 factores).....	160
3.5.2. Unidades de Capacidad de Uso (11 factores).....	169
3.5.3. Unidades de Capacidad de Uso (9 factores).....	172
3.6. Influencia de los cambios de uso en las propiedades de Luvisoles.....	173
4. Discusión.....	181
4.1. Características de los suelos.....	181
4.2. Efectos de los cambios del suelo (CUS) y el manejo en las propiedades físico-químicas de los Luvisoles de la zona de estudio.....	181
4.3. Capacidad de Uso de los suelos.....	186
5. Conclusiones.....	193
6. Bibliografía.....	195
7. Anexos.....	229
Perfiles de suelos	
Cartografía de Capacidad de Uso	

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1: Mapa de suelos de la Península Luso-Ibérica (Huguet del Villar, 1938).....	3
Fig. 1.2: Portada de la publicación “Estudio Agrobiológico de la provincia de Córdoba” (izquierda), a la que le acompañan dos mapas a escala 1:250000 (derecha), realizados con anterioridad en los años 1968 (vegetación) y 1967 (suelos) (CEBAC, 1971).....	4
Fig. 1.3: Diagrama de flujo simplificado del software <i>ImpelERO</i> , mostrando las tres opciones principales: entrada de datos, generalizar el modelo y ejecutar el modelo (De la Rosa, 2008).....	18
Fig. 1.4: Paisajes erosivos en el sureste español (ICONA, 1982).....	21
Fig. 1.5: Elementos que integran un SIG (Gómez Delgado y Barredo Cano, 2005).....	26
Fig. 1.6: Descomposición del territorio en capas temáticas contenidas en un Sistema de Información Geográfica. Adaptado de Jones (1997).....	27
Fig. 1.7: Representación del modelo ráster y vectorial a partir del mundo real.....	28
Fig. 1.8: A la izquierda, relación entre altura de vuelo (H), escala y distancia focal (f); a la derecha arriba, esquema de la cámara fotográfica instalada en el avión que realiza el vuelo fotogramétrico y a la derecha abajo, diferencia entre fotografía vertical y oblicua. Adaptado de Fernández García (2000).....	29
Fig. 1.9: El espectro fotográfico y el espectro visible. Adaptado de Fernández García (2000).....	30
Fig. 1.10: La percepción de un paisaje puede hacerse a partir de la observación del <i>fenosistema</i> , en forma de panorama en este caso. En la imagen se muestra una panorámica de un Paisaje Rural Mediterráneo. A la derecha de la misma el núcleo urbano de Montalbán de Córdoba.....	32
Fig. 1.11: Localización de la zona de estudio.....	35
Fig. 1.12: Términos municipales del área de estudio.....	36
Fig. 1.13: Formas alomadas del relieve de Montilla, al fondo el Picacho de la Virgen de la Sierra de Cabra y la Sierra de Horconera.....	37
Fig. 1.14: Los relieves más acusados se presentan en el este de la zona de estudio. En la foto se muestra la cara oriental del “Cerro del Macho” (682 m).....	37
Fig. 1.15: Olivares y viñedos sobre margocalizas. Vista oriental del Cerro del Macho.....	38
Fig. 1.16: Cultivos herbáceos con encinas de Cerro Navarro, sobre materiales margosos.	39
Fig. 1.17: Afloramiento de calizas grises con sílex, junto al Arroyo Benavente. Se observan bancos de 30 a 50 cm de potencia, interrumpidas por pasadas margosas de espesor milimétrico. El buzamiento de los estratos es de 45°.....	40
Fig. 1.18: Estratigrafía de la zona de estudio, agrupados según la paleografía a la que pertenece (IGME, 1988).....	41
Fig. 1.19: Mapa de suelos (CMA, 2009c).....	42
Fig. 1.20: Arroyo del Salado, en el límite oeste de la zona de estudio. Los suelos desarrollados en su llanura de inundación son Fluvisoles calcáreos.....	43
Fig. 1.21: Vegas y llanuras de inundación (Arroyo de la Carchena).....	45
Fig. 1.22: Formas detríticas de acumulación (coluvión) al noreste de la zona de estudio...	45

Fig. 1. 23: Lomas y llanuras (Medios estables). Cerro Navarro y al fondo la localidad de Espejo.....	46
Fig. 1.24: Cerro con fuerte influencia estructural. Piedra Luenga.....	46
Fig. 1.25: Fisiografía de la zona de estudio (CMA, 2009).....	47
Fig. 1.26: Morfogénesis denudativa sobre margas azuladas, al norte de la zona de estudio.....	48
Fig. 1.27: Yesos del Keuper en las inmediaciones de la EDAR de Aguilar.....	49
Fig. 1.28: Mapa de Hidrología superficial.....	49
Fig. 1.29: Vista del Río Cabra, al norte del Molino de Sotollón.....	50
Fig. 1.30: Arroyo Benavente.....	51
Fig. 1.31: Hidrogeología (CMA, 2009b).....	52
Fig. 1.32: Temperatura media anual y precipitaciones totales en el área de estudio.....	55
Fig. 1.33: Índice de humedad (Ih) e índice de aridez (Ia), según Thornthwaite.....	56
Fig. 1.34: Índice hídrico y clasificación climática de Thornthwaite según la eficacia térmica.....	57
Fig. 1.35: Regiones Biogeográficas de España y Portugal (Península Ibérica, Baleares y Canarias). Región Eurosiberiana, I: Pirenaica. II: Cántabro-Atlántica. III: Orocantábrica. Región Mediterránea. IV: Aragonesa. V: Catalano-Valenciano-Provenzal. VI: Balear. VII: Castellano-Maestrazgo-Manchega. VIII: Murciano-Almeriense. IX: Carpetano-Ibérico-Leonesa. X: Luso-Extremadurese. XI: Gaditano-Onubo-Algarviense. XII: Bética. Región Macaronésica. XIII: Canaria Occidental. XIV: Canaria Oriental (Rivas-Martínez, 1987).....	58
Fig. 1.36: Algunas de las especies vegetales existentes en el área estudiada: A: <i>Pistacia lentiscus</i> ; B: <i>Quercus coccifera</i> ; C: <i>Phlomis purpurea</i> ; D: <i>Cistus albidus</i> ; E: <i>Quercus rotundifolia</i>	60
Fig. 1.37: Ejemplares de especies de fauna presentes en el área estudiada. A: Sapo común (<i>Bufo bufo</i>), B: Búho chico (<i>Asio otus</i>), C: Mochuelo europeo (<i>Athene noctua</i>), D: Perdiz roja (<i>Alectoris rufa</i>) y E: Conejo afectado por hemorragia vírica (<i>Oryctolagus cuniculus</i>).....	65
Fig. 1.38: Paisaje Rural Mediterráneo. Panorámica de los cultivos de secano del sureste de la zona de estudio, en primer plano viñedos y al fondo la Sierra de Montilla.....	65
Fig. 1.39: Usos del suelo de la zona de estudio en el año 1956 (Martín-Carrillo, 2009).....	69
Fig. 1.40: Usos del suelo de la zona de estudio en el año 1984.....	71
Fig. 1.41: Usos del suelo de la zona de estudio en el año 2005 (Martín-Carrillo, 2009).....	73
Fig. 2.1: Relación escalar entre Ambiente (Conjunto alóctono de la cuenca del Guadalquivir), Sistema (Cerros estructurales), Subsistema (Ladera de fuerte pendiente) y Unidad (Olivar).....	76
Fig. 2.2: Cuencas hidrográficas de España y localización de la zona de estudio dentro de la subcuenca del Guadalquivir GQ3. Nótese que Sánchez Palomares et al. (1999) incluye a la cuenca del Guadalete y Barbate en la subcuenca del Guadalquivir GQ4.....	90
Fig. 2.3a: Ficha codificada para la descripción de los perfiles de suelos en campo. Anverso.	96

Fig. 2.3b: Ficha codificada para la descripción de los perfiles de suelos en campo. Reverso.....	97
Fig. 3.1.: Superficie de las UE y asociaciones de suelos presentes en el área de estudio.	108
Fig. 3.2.: Mapa de suelos: Vertisoles.....	109
Fig. 3.3.: Mapa de suelos: Fluvisoles.....	110
Fig. 3.4.: Mapa de suelos: Cambisoles.....	112
Fig. 3.5.: Mapa de suelos: Calcisoles.....	113
Fig. 3.6.: Mapa de suelos: Leptosoles.....	114
Fig. 3.7.: Mapa de suelos: Luvisoles.....	116
Fig. 3.8.: Mapa de suelos: Regosoles.....	117
Fig. 3.9: Niveles erosivos de los suelos de la zona de estudio.....	119
Fig. 3.10: Valores obtenidos del factor R de la USLE (1978) en la zona de estudio.....	120
Fig. 3.11: Valores obtenidos del factor K de la USLE (1978) en la zona de estudio.....	121
Fig. 3.12: Valores obtenidos del factor LS de la USLE (1978) en la zona de estudio.....	122
Fig. 3.13: Valores obtenidos del factor C de la USLE (1978) en la zona de estudio.....	123
Fig. 3.14: Valores obtenidos del factor P de la USLE (1978) en la zona de estudio.....	124
Fig. 3.15: Suelos de la Subclase Ca (en primer plano) y la Subclase Dn (al fondo) en las inmediaciones del núcleo de Aguilar de la Frontera (paraje “Cabeza Cazalla”)......	133
Fig. 3.16: Valores del factor P, correspondientes al cultivo a nivel.....	134
Fig. 3.17: Viñedos y olivares pertenecientes a la Subclase Cq. Los suelos son Luvisoles....	136
Fig. 3.18: Paraje La Campiñuela. Calcisoles y Regosoles de la Subclase Da.....	137
Fig. 3.19: Superficie caracterizada por las propiedades químicas de la Subclase Da (ha)....	138
Fig.3.20: Superficie de la Subclase De (ha) y grado de pendiente que presentan las distintas unidades de capacidad de la mencionada subclase.....	139
Fig. 3.21: Longitud de la pendiente de los suelos de la Subclase De.....	140
Fig. 3.22: Subclases de Capacidad en las inmediaciones de Aguilar de la Frontera.....	141
Fig. 3.23: Paraje El Chorrillo, al norte de la zona de estudio y Subclases de Capacidad.....	142
Fig. 3.24: Subclases de Capacidad de Uso en Cerro Navarro, al norte de la zona de estudio.....	143
Fig. 3.25: Olivar en seco sobre luvisoles, perteneciente a la Subclase Dq.....	144
Fig. 3.26: Suelos de la Subclase Ee. Porcentajes sobre el total de la Subclase (2034 ha)...	145
Fig. 3.27: Propiedades químicas de los suelos de la Subclase Ee (%)......	146
Fig. 3.28: Propiedades químicas de los suelos de la Subclase Ep (ha)......	149
Fig. 3.29: Suelos de la Subclase Er (izq.), en donde se observan los afloramientos rocosos de naturaleza margocaliza (en detalle a la der.).....	150
Fig. 3.30: Al fondo, Leptosoles calcáricos sobre margas en el Cerro de la Atalaya (Subclase Ex).....	156
Fig. 3.31: Suelos de la Subclase Ce, según la pendiente (p).....	157

Fig. 3.32: Tipos de suelos de la Subclase Cq. Los porcentajes están referidos al total de esta subclase (1168.27 ha).....	158
Fig. 3.33: Paraje La Campiñuela, en Montilla.....	163
Fig. 3.34: Paraje Benavente (Sierra de Montilla), en donde se aprecian algunas Unidades de Capacidad de Uso (aplicando 12 factores limitantes).....	164
Fig. 3.35: Nódulo de sílex en calizas grises del Cretácico Superior.....	168
Fig. 3.36: Perfiles completos de suelo. TA1 (tierra arable en 1965), afectado por cambio de uso del suelo (CUS) a TA2 (tierra arable), V (viñedo) y OL (olivar). El CUS sucedió en 1965 (TA1), después de 41 años, TA2, V y OL. Los números, en cm, son la profundidad del suelo.....	173
Fig. 3.37: Distribución en profundidad de la reserva de COS y de NTS bajo tierra arable (TA1 y TA2), viñedo (V) y olivar (OL). Los datos son valores medios $\pm\sigma$. (n=5, 7, 5 y 10). (n=tamaño de muestra).....	177
Fig. 3.38: Luvisoles estudiados. TA1: tierra arable, sistema que usa fuerza animal (arado con mulas). TA2: tierra arable con maquinaria pesada. V: viñedo tradicional. OL: olivar.....	179
Fig. 3.39: Índices de estratificación (IE) de RCOS, RNT y relación C:N, bajo tierra arable (TA1 y TA2), viñedo (V) y olivar (OL). Los datos son valores medios $\pm\sigma$. (n=5, 7, 5 y 10). (n=tamaño de muestra).....	180
Fig.4.1: Niveles erosivos de los suelos de la zona de estudio (MMA, 2008).....	187
Fig. 4.2: Capacidad de Uso General de la zona de estudio (De la Rosa y Moreira, 1984)...	190
Fig. 4.3: Clases Agrológicas de la zona de estudio (CAP, 1999). Para su mejor comprensión se han agrupado, según Sánchez (1995) y codificado en los mismos colores.....	191

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Caracterización de las clases arables de capacidad agrológica (MAPA, 1974).....	11
Tabla 1.2: Ecuaciones de regresión, con sus coeficientes de determinación múltiple (R ²), del modelo de suelos Albero (MicroLEIS). Y: rendimiento del cultivo, Kg·ha ⁻¹ ; x ₁ : profundidad útil, cm; x ₂ : contenido en arcilla, %; x ₃ : profundidad a síntomas de hidromorfismo, cm; x ₄ : contenido en carbonatos, %; x ₅ : salinidad, en mmhos·cm ⁻¹ ; x ₆ : saturación en sodio, %; x ₇ : capacidad de cambio catiónico, meq·100g ⁻¹ (De la Rosa <i>et al.</i> , 1981).....	15
Tabla 1.3: Métodos de evaluación de la erosión (Almorox <i>et al.</i> , 2010).....	20
Tabla 1.4: Superficies de los términos municipales que se encuentran, total o parcialmente, dentro de la zona de estudio expresado en ha y % del total del municipio. También se expresa el porcentaje con el que contribuye cada uno a la zona de estudio.	36
Tabla 1.5: Intervalos de pendiente de la zona de estudio y superficie que ocupan.....	38
Tabla 1.6: Relación entre materiales y permeabilidad de las formaciones de la zona de estudio, según leyenda del mapa hidrogeológico 1:200.000 (ITGE, 1995).....	52
Tabla 1.7: Pisos Bioclimáticos del área estudiada (Rivas-Martínez, 1985).....	59
Tabla 1.8: Hábitats presentes en la zona de estudio. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2005).....	62
Tabla 1.9: Usos del suelo de la zona estudiada para los años 1956, 1984 y 2005 (Martín-Carrillo, 2009).....	67
Tabla 2.1: Esquema general de la equivalencia entre los diversos sistemas de clasificación empleados por distintos autores.....	75
Tabla 2.2: Comparación entre la clasificación agrológica y la adaptación portuguesa (Sánchez, 1995).....	77
Tabla 2.3: Subclases de Capacidad de Uso. Erosión hídrica (e).....	79
Tabla 2.4: Subclases de Capacidad de Uso. Pendiente (p).....	80
Tabla 2.5: Subclases de Capacidad de Uso. Espesor efectivo (x).....	80
Tabla 2.6: Subclases de Capacidad de Uso. Afloramientos rocosos (r).....	80
Tabla 2.7: Subclases de Capacidad de Uso. Pedregosidad (g).....	81
Tabla 2.8: Subclases de Capacidad de Uso. Salinidad (s).....	81
Tabla 2.9: Subclases de Capacidad de Uso. Alcalinidad (n).....	81
Tabla 2.10: Subclases de Capacidad de Uso. Propiedades químicas (q).....	82
Tabla 2.11: Subclases de Capacidad de Uso. Propiedades físicas (f).....	82
Tabla 2.12: Subclases de Capacidad de Uso. Exceso de agua (h).....	82
Tabla 2.13: Subclases de Capacidad de Uso. Déficit de agua (a).....	83
Tabla 2.14: Subclases de Capacidad de Uso. Limitaciones térmicas (c).....	83
Tabla 2.15: Código USDA para la estructura del perfil.....	87
Tabla 2.16: Código USDA para la permeabilidad del perfil.....	87

Tabla 2.17: Valores del factor C (ICONA, 1987).....	88
Tabla 2.18: Valores del factor P, según Wischmeier y Smith (1978).....	89
Tabla 2.19: Niveles erosivos para la cuenca hidrográfica del Guadalquivir (ICONA, 1987).	89
Tabla 2.20: Modelo de temperatura media mensual, Cuenca del Guadalquivir (GQ3) (Sánchez-Palomares et al., 1999).....	91
Tabla 2.21: Modelo de precipitación media mensual, Cuenca del Guadalquivir (GQ3) (Sánchez-Palomares et al., 1999).....	91
Tabla 3.1.: Superficie ocupada por cada Grupo de Suelos de Referencia de la zona de estudio.....	107
Tabla 3.2: Tasa de erosión de los suelos de la zona de estudio.....	118
Tabla 3.3: Intervalos del factor K de los suelos y superficie que ocupan en el área estudiada.....	120
Tabla 3.4: Valores del factor LS obtenidos en el área estudiada.....	122
Tabla 3.5: Valores del factor C de la USLE (1978) obtenidos en el área de estudio.....	123
Tabla 3.6: Valores del factor P de la USLE (1978) obtenidos en el área de estudio.....	124
Tabla 3.7: Distribución de las Clases de Capacidad de Uso considerando 12 factores limitantes.....	125
Tabla 3.8: Tipos de suelos de la Clase C, teniendo en cuenta los 12 factores limitantes.....	126
Tabla 3.9: Tipos de suelos de la Clase D, teniendo en cuenta los 12 factores limitantes.....	127
Tabla 3.10: Tipos de suelos de la Clase E, teniendo en cuenta los 12 factores limitantes.....	127
Tabla 3.11: Unidades fisiográficas de la Clase E, teniendo en cuenta 12 factores limitantes.....	128
Tabla 3.12: Distribución de las Clases de Capacidad de Uso considerando 11 factores limitantes.....	128
Tabla 3.13: Tipos de rocas sobre los que se desarrollan los Suelos de la Clase C de Capacidad de Uso (11 factores).....	129
Tabla 3.14: Fisiografía de los suelos de la Clase C (teniendo en cuenta 11 factores limitantes).....	130
Tabla 3.15: Litología de la clase D, tomando 11 factores.....	130
Tabla 3.16: Fisiografía de los suelos de la Clase D (11 factores).....	131
Tabla 3.17: Distribución de las Clases de Capacidad de Uso considerando 9 factores limitantes.....	131
Tabla 3.18: Subclases de Capacidad de Uso, considerando 12 factores limitantes.....	132
Tabla 3.19: Tipos de suelos de la Subclase Da.....	136
Tabla 3.20: Propiedades químicas de los suelos de la Subclase De (12 factores limitantes).....	138
Tabla 3.21: Distribución de superficie afectada por el factor K en el cálculo de la erosión hídrica. El porcentaje está referido al total de la subclase (De).....	140

Tabla 3.22: Fisiografía de los suelos de la Subclase Dp (12 factores).....	142
Tabla 3.23: Grado de pendiente de los suelos de la Subclase Ee.....	145
Tabla 3.24: Subclases de Capacidad de Uso, considerando 11 factores limitantes.....	152
Tabla 3.25: Distribución de las Subclases de Capacidad de Uso (9 factores limitantes).....	160
Tabla 3.26: Propiedades físico-químicas de los Luvisoles cálcico/crómicos en tierra arable (rotación anual de trigo-cebada), viñedo y olivar. TA1: tierra arable en 1965, TA2: tierra arable en 2006, V: viñedo en 2006 y OL: olivar en 2006. Los datos son valores medios \pm desviación estándar (σ). Tamaño de muestra (n)= 5, 7, 5 y 10. Hor.: Tipo de horizonte. Prof.: Profundidad del suelo. DR.: Densidad relativa.....	175
Tabla 3.27: Reserva de Carbono Orgánico del Suelo (RCOS), Reserva de Nitrógeno Total del Suelo (RNTS) y relación C:N en Luvisoles cálcico/crómicos. Los datos son valores medios \pm desviación estándar (σ). Tamaño de muestra (n)= 5, 7, 5 y 10. Hor.: Horizonte del suelo.....	176
Tabla 3.28: Categorías de usos del suelo en los Luvisoles estudiados.....	178
Tabla 4.1: Grupos de suelos de la zona de estudio (CMA, 2009c).....	181
Tabla 4.2: Tasa de erosión de los suelos de la zona de estudio (MMA, 2008).....	186

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AGNPS: Agricultural Non Point Source.
ANSWERS: Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulator.
BOE: Boletín Oficial del Estado.
CAP: Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
CEBAC: Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto.
CEC: Commission of the European Community.
CECAF: Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire.
CMA: Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
COPLACO: Comisión de Planificación y Coordinación del Área Metropolitana de Madrid.
COPT: Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía.
CORINE: Coordination of Information on the Environment.
CREAMS: Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems.
CSIC: Centro Superior de Investigaciones Científicas.
CSIRO: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.
EEUU: Estados Unidos de América.
EMMS: Environmental Management Support System.
EPIC: Erosion Productivity Impact Calculator.
EUROSEM: European Soil Erosion Model.
FAO: Food and Agriculture Organization.
ICONA: Instituto para la Conservación de la Naturaleza.
IGME: Instituto Geológico y Minero de España.
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.
ISRIC: International Soil Reference and Information Center.
ITC: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
ITGE: Instituto Tecnológico Geominero de España.
IUSS: International Union of Soil Sciences.
KINEROS: Kinematic Erosion Simulation.
LANDSAT: Land Satellite.
LISEM: Limburg Soil Erosion Model.
MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
MAPA: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
MDT: Modelo Digital del Terreno.
MMF: Morgan, Morgan y Finney.
MUSLE: Modified Universal Soil Loss Equation.
PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
REDIAM: Red de Información Ambiental de Andalucía.
RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation.
SIG: Sistemas de Información Geográfica.
SLEMSA: Soil Loss Estimation Model for Southern Africa.
SWAT: Soil and Water Assessment Tool.
SWRRB: Simulator for Water resources in Rural Basins.
TM: Thematic Mapper.
UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
USDA: United States Department of Agriculture.
USLE: Universal Soil Loss Equation.
WEEP: Water Erosion Prediction Project.
WMS: Web Map Services.

0. Objetivos.

El trabajo titulado “**Efectos de la Capacidad de Uso en la calidad de los suelos en la Denominación de Origen Montilla-Moriles**” se enmarca en una de las líneas de investigación del Departamento de Química Agrícola y Edafología orientado a la globalización del Medio Físico mediante el estudio cartográfico y su aplicación a la Capacidad de Uso (Land Capability).

Los trabajos se iniciaron con “Análisis, diagnóstico y evaluación de usos del suelo en la comarca de Montilla mediante SIG en el periodo 1956-2005” en el año 2008, al que siguió “Evolución del paisaje agrario de la comarca de Montilla” en el año 2009.

El objetivo general de esta Memoria de Tesis Doctoral puede desglosarse en dos:

- En primer lugar se realiza el estudio de la Capacidad de Uso para la zona de Montilla a partir de los estudios mencionados anteriormente.
- En segundo lugar se realiza el análisis de los efectos del cambio de uso y manejo en los principales suelos del área de estudio (Luvisoles), y cómo afecta a los *stocks* de C del suelo.

Estos objetivos generales pueden descomponerse en 3 objetivos específicos:

1. Elaboración de la cartografía de diagnóstico sobre las unidades descritas siguiendo las siguientes fases:
 - a. Cartografía de Capacidad de Uso según la metodología de Sánchez *et al.* (1995).
 - b. Adaptación de la metodología de Sánchez *et al.* (1995) al área de estudio, centrándose esta en las variables de naturaleza climática.
 - c. Elaboración de la cartografía de erosión hídrica (actual) a partir del modelo (USLE, 1978).
2. Integración de los resultados obtenidos anteriormente en el SIG (Arc GIS 9), para un tratamiento homogéneo de la información cartografiada y de las bases de datos, de forma que constituya una metodología de trabajo para la planificación ambiental y la ordenación territorial.
3. Estimación de las variaciones del carbono orgánico del suelo que se han producido desde 1965 hasta 2011, debido al cambio de uso y manejo, condicionando la liberación y/o acumulación del mismo, a la atmósfera o en el suelo, analizando:
 - a. Variaciones de los *stocks* de carbono orgánico del suelo.
 - b. Variaciones de los *stocks* de nitrógeno del suelo.
 - c. Aplicación del índice de calidad (índice de estratificación), para establecer el grado de estabilidad en el que se encuentra el C y el N tras los cambios de uso y manejo que se han producido en el periodo anteriormente considerado.

1. Introducción.

1.1. Evolución histórica de los estudios edáficos en España.

Los estudios de suelos en España tienen una figura importante en la primera mitad del siglo XX, Emilio Huguet del Villar, que introdujo el término “Edafología” en España, aunque fue propuesto por el científico rumano Stchussien en 1924 en la IV Conferencia Internacional de Pedología en Roma (Porta y Villanueva, 2012). Huguet del Villar, botánico y edafólogo autodidacta implanta esta disciplina en España llegando a alcanzar un gran nivel de conocimientos científicos. Publica en 1929 su obra Geobotánica (Huguet del Villar, 1929), en la que presenta una clasificación tipológica de suelos vanguardista, que se manifiesta con rotundidad en su segunda gran obra de 1931, titulada El Suelo (Huguet del Villar, 1931), en la que basa su clasificación de suelos en función de la morfología del perfil, realizando la cartografía del primer mapa de suelos de la Península Ibérica a escala 1:1500000 (Fig. 1.1) (Huguet del Villar, 1938). Con posterioridad, en 1950, escribe su obra Geoedafología, que se publica en el año 1983.

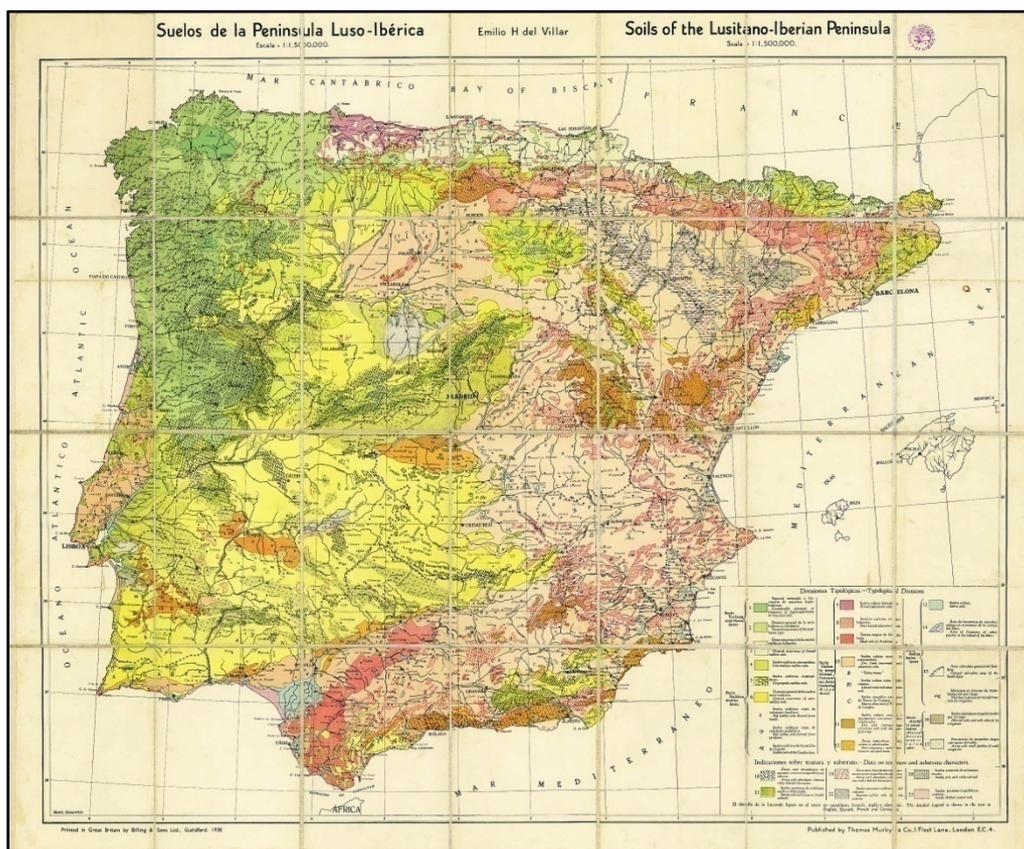


Fig. 1.1: Mapa de suelos de la Península Luso-Ibérica (Huguet del Villar, 1938).

En el año 1940 comienza la realización del Mapa Agronómico, Técnico y Comercial de productos agrícolas, a escala 1:50000 (BOE, 1940), de la que sólo se publican algunas hojas, quedando la obra incompleta y por tanto pierde

valor al no ser de uso general. Dos años después se crea el Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal, que pasó a denominarse después Instituto de Edafología, dependiente del *Centro Superior de Investigaciones Científicas* (CSIC), a iniciativa de José María Albareda Herrera que fue su Presidente. Los centros regionales del Instituto de Edafología desarrollan numerosos estudios, siendo plasmados en su mayoría en la revista *Anales de Edafología y Agrobiología*.

Estudios destacados de síntesis de los suelos son los de las provincias de Sevilla (CEBAC, 1962) y de Cádiz (CEBAC, 1965), ambos basados en la clasificación genética de Kuviena (1952).

1.2. El estudio de los suelos en la provincia de Córdoba.

El *Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto* (CEBAC), publica en 1971 el Estudio Agrobiológico de la Provincia de Córdoba, que cuenta con un mapa de vegetación, realizado por el Instituto A.J. Cabanillas y con un mapa de suelos de la provincia a escala 1:250000, realizado por el Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología “José María Albareda” en el año 1967 en el mencionado centro del CSIC de Sevilla (Fig. 1.2). La clasificación de los suelos sigue las claves de Kuviena (1952) y la clasificación de Aubert (1965), con términos de ambas sistemáticas o nombres usados localmente en estudios de la región (CEBAC, 1971).



Fig. 1.2: Portada de la publicación “Estudio Agrobiológico de la provincia de Córdoba” (izquierda), a la que le acompañan dos mapas a escala 1:250000 (derecha), realizados con anterioridad en los años 1968 (vegetación) y 1967 (suelos) (CEBAC, 1971).

Siguiendo en el ámbito de la provincia de Córdoba, existen numerosos estudios locales como el de Sánchez Marañón (1990) en las Subbéticas y más recientemente, en el marco de la caracterización de los recursos naturales en espacios protegidos, los trabajos de Moreira, en el Parque Natural de la Sierra de Hornachuelos (1995) y en las Sierras Subbéticas (2000) y otras zonas de Andalucía, en la caracterización de unidades geomorfoedáficas (Corral y Parras, 2004, 2005 y 2007).

1.3. Capacidad de Uso.

En los últimos años se han realizado grandes esfuerzos para integrar la metodología de la evaluación de suelos en sistemas más amplios de ordenación del territorio. En el proceso de evaluación, aunque se consideran un amplio conjunto de aspectos naturales del territorio, sociales y económicos (Dent y Young, 1981), el suelo ocupa un lugar esencial al ser atributo principal y permanente del medio natural (De la Rosa y Mudarra, 1979). Por lo tanto, el reconocimiento de los suelos, definido por Jongen (1971) y Le Houeron (1971) como la evaluación de las potencialidades agronómicas sobre la base de estudios del medio físico y biológico, representa un elemento básico en los estudios de Ordenación y Evaluación del Territorio (Dent y Young, 1981; Gerrad, 1981).

Los estudios del territorio en los que el suelo es un factor fundamental han sido orientados desde distintos puntos de vista:

a) Los estudios de planificación ecológica llamados “estudios integrales” tienen como objetivo principal la representación cartográfica de los recursos naturales más importantes (Land System Map). La no consideración de las interacciones entre factores ambientales, es decir, la ausencia de una ocupación dinámica del proceso de integración, ha constituido la base de estudios críticos que dicha metodología realizan Moss (1969), Thomas (1969) y Tricart y Kilian (1982). En este sentido, Bock *et al.* (1981) establecen un método de aproximación morfoedáfica, especialmente adaptado en áreas mediterráneas basado en las características morfodinámicas que según los conceptos de la “Ecografía Integrada” de Tricart (1979) es el verdadero integrador del suelo en el contexto paisajístico. Este método establece un balance de interacciones morfogénesis-pedogénesis que condiciona la organización misma de los suelos con objeto de determinar más que una simple clasificación de tierras, una verdadera política de mejora.

b) Los estudios de evaluación del territorio: orientados a estimar su potencial respecto a distintas alternativas de uso, implican una comparación entre los requisitos para cada uso y los recursos que ofrece. Así, Dent y Young (1981) definen la evaluación de tierras como el proceso de estimación de su

potencial para distintos usos, incluyendo los usos destinados a proporcionar servicios y otros beneficios (áreas de captación de recursos hídricos, zonas de recreo y turismo, conservación de naturaleza...etc.), requiriendo por tanto, información de tres tipos: propiedades de la tierra, características de cada uso y valoración económica.

Pero a pesar de estas dos perspectivas, los distintos métodos de evaluación presentan aspectos que convergen en considerar el paisaje como elemento integrador, configurado a expensas de las interacciones entre los distintos factores ambientales como base de referencia para la evaluación (Zonneveld, 1972; Michel y Durand 1978; y Gerrad, 1981).

En este sentido, el paisaje lo define Gabaussell (1967) como la adaptación al medio del conjunto formado por la vegetación natural o transformada y la acción humana. Por otro lado, Bertrand (1970) lo considera como “una porción de espacio caracterizada por un tipo de combinación dinámica y por consiguiente, inestable de elementos geográficos distintos (físicos, químicos y antrópicos), que al interactuar entre sí constituyen un conjunto geográfico que evoluciona en bloque, como consecuencia tanto de la interacción entre los elementos que lo constituyen como de la propia dinámica de cada uno de ellos”. Según los criterios señalados, el paisaje constituye un conjunto complejo de elementos cuya variación colectiva e individual origina rasgos diferenciadores.

Christian y Stewart (1953, 1968), iniciaron un método de estudio del paisaje, cuya taxonomía adoptada por el *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO) tenía tres niveles:

- Land System (Sistema de Tierras): unidades corográficas que en la práctica corresponden con lo que a menudo se suele denominar región natural.
- Land Unit (Unidades de Tierras): tipos de relieves que van asociados a sistemas de tierras.
- Land Facet (Facetas de Tierras): constituyen la unidad inferior y corresponden a elementos de modelado.

Por otra parte, Tricart y Killian (1982) proponen una clasificación dinámica de los medios naturales basada en su grado de estabilidad. Así, describen medios estables e inestables, subdivididos en base a:

- Características morfológicas.
- Influencias morfogénicas en la pedogénesis.
- Influencias litológicas en la morfogénesis y pedogénesis.

- Y en las consecuencias generales para la conservación del medio o su uso agrícola.

En general, el término tierra (Land) engloba todas las características que identifican una unidad de paisaje, pues comprende el conjunto de elementos del medio que influyen en su potencialidad. Se refiere por tanto, no sólo al suelo, sino también a las formas de geología, geomorfología y clima (Brinkman y Smith, 1973; Dent y Young, 1981).

Otros autores como Boluda *et al.*, (1984) desarrollan una metodología basada en el concepto de “Unidad de Paisaje”, definida como “un entorno espacial caracterizado por el clima, material geológico, topografía, morfología, vegetación suelos y erosión”. Esta relación entre los suelos y las formas de paisaje (Land Forms) se emplea como base para un gran número de estudios integrados (reconocimiento de suelos, evaluación de Capacidad de Uso de la tierra, evaluación de los recursos naturales...etc.) que relacionan elementos del suelo, de la vegetación y geomorfológicos, con el objetivo final de establecer una mejor ordenación y utilización del territorio (Michel y Durand, 1978; Gerrad, 1981; De la Rosa *et al.*, 1984).

En este contexto son numerosos los trabajos metodológicos cuya finalidad ha sido la interpretación de las características y cualidades del suelo para distintos usos (Land Capability), (Marín-Lafleche, 1972; Rudeforth, 1975; Rushton, 1975) y la adaptabilidad del territorio a actividades agrarias y no agrarias (Land Suitability) (Vink y Van Zuilen, 1974; Magaldi, 1980).

Los estudios de Capacidad de Uso desarrollados en muchos países parten del sistema elaborado en *Estados Unidos* (EEUU) por Klingebiel y Montgomery (1961) denominado “Clasificación de la Capacidad Agrológica”. El sistema tiene como objetivo recoger información que permita decidir acerca de la adecuada combinación de labores agrícolas intensivas sin riesgo de erosión del suelo, estableciendo ocho clases de tierras, de las que las cuatro primeras son aptas para el cultivo y las cuatro siguientes son inadecuadas. Esta clasificación se caracteriza por permitir una aplicación casi universal con modificaciones muy ligeras (Hudson, 1982). Un ejemplo de tales modificaciones lo constituye el sistema desarrollado por el Departamento de Conservación de Suelos de Israel (Shtechelmacher, 1966) que clasifica las tierras en siete Clases sobre la base de considerar los factores menos modificables (clima y suelo) y en la definición de “cultivo adaptado”. Asimismo se han llevado a cabo otros sistemas en Canadá (McCornack, 1971), Malasia, Zambia, Zimbabwe...etc, constituyendo la clase V de la clasificación americana el ámbito más adecuado para introducir modificaciones.

En 1976, gran número de especialistas en evaluación de tierras tanto de la *Food and Agriculture Organization* (FAO) como de diversos países, constituyeron el documento “A framework for land evaluation” (FAO, 1976), en el que se proponen los conceptos básicos y el esquema a seguir para la evaluación de tierras. Su fácil ejecución y acceso a fuentes de información asequibles a cualquier país del mundo, pretende que los resultados puedan ser comparables. Se ha utilizado en varias zonas con resultados satisfactorios (Higgins y Kassam, 1981; Díaz-Fierros *et al.*, 1982; De la Rosa y Moreira, 1987).

Además, Sánchez *et al.*, (1984) desarrollan una metodología para evaluar el suelo reflejando sus características morfológicas, físicas y químicas, relacionándolas con el clima, material geológico, vegetación, topografía y erosión. Considerando en el proceso de evaluación:

- a) Las propiedades del suelo y entorno favorables para cualquier uso como características primarias para definir las “Clases”.
- b) El conjunto de suelos que presentan la misma limitación constituye la “Subclase”, definiéndose las limitaciones mayores como las propiedades del suelo (o del medio ambiente en el que se desarrolla) desfavorables para un uso determinado.
- c) Por último, las “Unidades de Capacidad”, constituyen el conjunto de unidades de suelo que presentan el mismo potencial, limitaciones y respuestas al manejo. Puede por tanto, destinarse a un mismo uso, pues poseen el mismo potencial productivo y requiere tratamientos similares para su conservación (Dent y Young, 1981).

En relación a los aspectos de evaluación el objetivo final de cualquier proceso de evaluación debe consistir en su máximo aprovechamiento con el mínimo deterioro. Sin embargo, ambos objetivos generalmente no confluyen, por lo que, dada la utilización más intensiva que se hace del suelo, la degradación habitualmente va en aumento. Desde el punto de vista estrictamente práctico, el término degradación del suelo lo considera la FAO (1980) y FAO-PNUMA (1984) como el proceso que rebaja la capacidad y potencial del suelo para producir cualitativa y cuantitativamente bienes y servicios. De acuerdo con Ortiz (1990) los procesos naturales o inducidos que más influyen en la degradación de los suelos en áreas mediterráneas son: la degradación biológica, la degradación física, la erosión, el exceso de sales y la degradación química siendo la erosión hídrica la mayor causante de la degradación continuada de los suelos, por lo que se hace necesario su estudio.

1.3.1. Antecedentes de la Capacidad de Uso.

En la Ciencia del Suelo, cuando se habla de Capacidad de Uso se intenta establecer la vocación equilibrada de una determinada unidad cartográfica atendiendo a las características del suelo y del resto de los componentes ecológicos. Al conjunto de estas características del suelo se les da el nombre de Capacidad de Uso siempre en relación a cualquier uso agrario. Sin embargo el término Adecuación o Aptitud, se utiliza siempre en relación con una actividad agraria determinada.

Los conceptos de Capacidad, Adecuación o Aptitud, han estado siempre presentes en la mente humana al utilizar un territorio determinado. El hombre conoce los mejores suelos agrícolas, los buenos pastizales y el monte. También sabe que la transformación de este último está limitada en muchos casos por ciertas características; bien del suelo, bien de su entorno.

Este trabajo metodológico y aplicado va referido fundamentalmente al concepto de Capacidad de Uso (Land Capability) que tiene su origen en el sistema elaborado en EEUU por el Soil Conservation Service y desarrollado por Klingebiel y Montgomery (1961). Los antecedentes de este método se remontan a la década de los años treinta al *United States Department of Agriculture* (USDA) como parte de un programa de control de la erosión del suelo. Posteriormente el sistema se proyectó para ayudar a los agricultores y planificadores a usar e interpretar la cartografía edafológica y extraer amplias generalizaciones sobre la potencialidad del suelo, limitaciones permanentes de uso y problemas concretos de gestión (Beek, 1981; Verheye, 1991).

Inicialmente la clasificación de Capacidad de Uso tenía nueve Clases, pero quedó reducida a ocho, designadas por números romanos, englobando desde la Clase I, que presenta menos limitaciones, a la Clase VIII, con las mayores restricciones. Durante los años cuarenta se atendió más a los factores no ligados a la erosión y al rango de las limitaciones. El siguiente paso fue la racionalización de la subclase (Klingebiel, 1958) y la notación de un sufijo para los cuatro tipos de limitaciones reconocidas a este nivel: e, riesgo de erosión; h, exceso de agua; s, limitaciones del suelo en la zona radicular; y c, limitaciones climáticas.

Como punto de partida, la clasificación comienza por las unidades cartográficas de suelo, las cuales constituyen la piedra angular del sistema (Klingebiel y Montgomery, 1961) y establecen las relaciones con los diferentes niveles de clasificación de Capacidad de Uso. Esta metodología de evaluación para los usos agrícolas, aporta en una primera aproximación, la información necesaria para conocer la ubicación, extensión y, junto a otros criterios, la protección legal de las mejores tierras agrícolas (Prime Farmland, Unique

Farmland, Important Farmland) contra la competencia de otros usos (Wright *et al.*, 1983; Wright, 1984).

A partir de este sistema se elaboraron metodologías nacionales o regionales que realizaban una interpretación ajustada a sus condiciones naturales (suelo y clima) o a sus características socioeconómicas (costumbres sociales, propiedad de la tierra...), en este sentido, MacRae y Burnham (1981) agrupan estas modificaciones en:

- Cambios en el número de Clases.
- Consideraciones de diferentes factores limitantes.
- Subdivisión de otras Clases en base a la principal limitación o limitaciones.
- Cuantificación de factores limitantes.
- Modificaciones debidas a la “no aceptación” de algunos principios básicos.

Los criterios de clasificación y evaluación de suelos del sistema USDA fueron asimilados a nivel nacional por la Dirección General de Producción Agraria del *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación* (MAPA, 1974), constituyendo el método oficial español, en un intento de diseñar junto a un estudio de clima, uso y aprovechamiento actual del suelo (Tabla 1.1), un Plan Nacional de Ordenación y Explotación de los Recursos Agrarios a escala regional.

Las únicas diferencias en su aplicación, respecto a la metodología original, radican en la inclusión del CaCO_3 como factor limitante, y que en España se realiza la valoración representada en mapas agrológicos a escala 1:50,000, sin un soporte del mapa de suelos, salvo excepciones puntuales (Delgado y Aguilar, 1985; Badía *et al.*, 1993; Parras *et al.*, 2003), originando que la cartografía resultante carezca del rigor y fiabilidad necesarios (Aguilar, 1992).

Una de las adaptaciones del sistema de Klingebiel y Montgomery (1961) se realizó en Portugal (Azevedo y Cardoso, 1962) y fue aprobada en toda su extensión por el Servicio de Reconocimiento y Ordenamiento Agrario en 1965. Las modificaciones más importantes están en la reducción del número de Clases (de ocho a cinco) y en su denominación (de números romanos a letras). La justificación de esta reducción se encuentra en su mayor sencillez y facilidad en la interpretación de las Clases, expresadas por números en el sistema americano, se cambian por letras para evitar confusión y homologación, además de conseguir mayor rapidez en la interpretación del territorio en los estudios de planificación de usos del suelo.

Características	I	II	III	IV
Pluviometría (L)	>600 mm o regadío	300-600 mm o regadío	300-600 mm o regadío	300-600 mm o regadío
Temperatura (V) (Papadakis)	De maíz a algodón	Más cálido que trigo	Más cálido que trigo	Más cálido que trigo
Pendiente (P)	<3%	<10%	<20%	<20%
Erosión (E)	No hay	Hasta moderada	Hasta moderada	Hasta moderada
Profundidad (H)	>90 cm	>60 cm	>30 cm	>30 cm
Textura (T)	Equilibrada	Equilibrada	Equilibrada	Equilibrada
Pedregosidad (G) (\varnothing <25 cm)	No hay	<20%	<50%	<90%
Pedregosidad (G) (\varnothing >25 cm)	No hay	<0.1%	<0.1%	<3%
Rocosisidad (R)	No hay	<2%	<10%	<25%
Encharcamiento (W)	No hay	Hasta estacional	Hasta estacional	Hasta estacional
Salinidad (S)	No hay	No hay	Restringe	Restringe
Sistema de explotación actual (U)	Año y vez con barbecho semillado con no leguminosas	Año y vez que admite trigo	Año y vez o el tercio con cebada o avena	Año y vez de centeno o más del tercio o dos plantas solamente (vid, almendro)

Tabla 1.1: Caracterización de las Clases arables de capacidad agrológica (MAPA, 1974).

A mediados de los años setenta se aplica en España el Método de Azevedo y Cardoso (1962) en el Plan de la *Comisión de Planificación y Coordinación del Área Metropolitana* (COPLACO). Este estudio abarcaba la provincia de Madrid y parte de las provincias circundantes, teniendo como novedad que la evaluación se realiza a partir de los resultados obtenidos en los reconocimientos edafológicos (Añó y Sánchez, 2002). Aplicaciones posteriores en las que se emplea la variante portuguesa del método USDA han sido realizadas por Sánchez (1975), Sánchez *et al.* (1979), Monturiol *et al.* (1979) Jiménez (1976), Pons *et al.* (1980), que continúan la tendencia de realizar previamente el estudio de los suelos, indicando su tipología y distribución en las tierras a evaluar.

1.3.2. Metodologías de evaluación.

Cualquier estudio de evaluación de tierras debe fundamentarse en unos principios básicos:

a) La aptitud de las tierras se realiza con respecto a unos fines específicos de utilización, los cuales conllevan diferentes requerimientos o exigencias de factores físicos, químicos, climáticos, de manejo...

b) Debe hacerse una comparación entre los beneficios a obtener y la inversión a realizar, incluyendo los gastos de mantenimiento que genera el uso específico.

c) Debe apoyarse en materias multidisciplinares relacionadas con las ciencias naturales (geografía, química, geología...), la tecnología, la economía y la sociología.

d) Debe estudiarse el contexto físico, económico y social de la zona en cuestión, así como el impacto que tal uso genera.

e) Debe comparar diferentes usos, tanto actuales como futuros e informar sobre la alternativa más adecuada para la zona de estudio, que se encuadra dentro de un marco social, cultural y económico.

Basándose en estos principios, existen diversos métodos de evaluación que se pueden dividir en:

a) Métodos cualitativos: expresan la aptitud de las tierras para diferentes propuestas de uso en términos cualitativos tales como “ligera”, “moderada”, “marginal”, “nula”, teniendo el flujo energético pérdidas/ganancias.

b) Métodos físico-cuantitativos: expresan los resultados de la evaluación en términos de producción o de otros beneficios alternativos, tales como la producción lanar, cárnica, silvícola o capacidad recreativa; siendo necesario cuantificar los gastos que tal utilización origina o puede originar.

1.3.2.1. Métodos cualitativos.

Dentro de los métodos cualitativos de evaluación de tierras podemos distinguir principalmente el sistema USDA de capacidad general de uso (Land Capability), desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de EEUU (Klingebiel y Montgomery, 1961). Este sistema proporciona las definiciones conceptuales de ciertas clases de aptitud según el grado de restricción del uso agrícola impuesto por las características de tierras que representan las propiedades edáficas más fijas y permanentes.

En las evaluaciones cualitativas de la aptitud relativa para un determinado tipo de uso, Land suitability (FAO, 1976), sigue el principio de máxima limitación para cada característica seleccionada, utilizándose tablas de correspondencia, a veces se introducen cambios importantes a partir de este esquema, haciendo que las clases de aptitud dependan de más de un conjunto de características o cualidades de tierras, lo que conduce a tablas o diagramas más complejos.

1.3.2.2. Métodos físico-cuantitativos.

Estos métodos los podemos clasificar en: Métodos de factor único, aritméticos, combinados, estadísticos y avanzados.

a) Métodos de factor único: expresan numéricamente la influencia de una sola característica de tierras sobre el funcionamiento del sistema tierra-uso. Estos esquemas se suelen utilizar en aquellos casos en los que una cierta característica de tierras tiene un efecto extremo, positivo o negativo, sobre un uso determinado. Aunque estos sistemas de factor único no tienen en cuenta el efecto de dos o más características de tierras, se pueden combinar los valores calculados individualmente para varias de ellas con objeto de generar un índice de aptitud más próximo a la realidad del sistema tierra-uso (Mitscherlich, 1909).

b) Métodos aritméticos: se pueden considerar estos métodos aritméticos o paramétricos como una fase de transición entre los métodos cualitativos basados íntegramente en criterios subjetivos y los más complejos modelos matemáticos. Los sistemas aritméticos tienen en cuenta la acción directa de las características de tierras o factores más significativos y contabilizan a su vez la interacción entre dichos factores mediante una simple multiplicación o suma de los índices correspondientes a cada factor. Según Riquier (1974) consisten en una evaluación por separado de las propiedades de los suelos, dándoles independientemente valores numéricos de acuerdo con la importancia dentro y entre cada uno de ellos. Posteriormente se combinan los factores (valores numéricos) en una expresión matemática, teniendo en cuenta las interacciones entre los factores para obtener finalmente un índice. Y, posteriormente se establecen rangos con los valores del índice de acuerdo con prácticas agrícolas. Cada factor tiene una influencia en el resultado final de acuerdo con su propia ecuación, mientras que otros factores se consideran constantes.

Pueden ser:

- Sistemas multiplicativos: estos métodos asignan valores independientes a cada una de las diversas características o factores de tierras seleccionadas, calculando seguidamente el producto de todas las valoraciones independientes como índice global de evaluación. Estos sistemas cuentan con la ventaja de que cualquier factor considerado controla la evaluación final. Otra ventaja es que la evaluación global no puede ser un número negativo, aunque una de sus limitaciones sea la posibilidad de que esta misma evaluación pueda resultar considerablemente menor que la evaluación parcial de cada uno de los factores individuales (Storie, 1937; Durand, 1965; Searl, 1968; Millette y Searl, 1968; Riquier *et al.*, 1970; Riquier y Schwaar, 1972).

- **Sistemas aditivos:** estas metodologías asignan valores numéricos a características seleccionadas de tierras según su efecto inferido sobre el uso de las tierras, y estos valores se suman o restan de una evaluación global. Tienen la ventaja de poder incorporar información de un mayor número de características de tierras que los sistemas multiplicativos. Parece que un límite adecuado para los sistemas multiplicativos es el de cuatro o cinco factores, ya que un número superior hace que la evaluación global alcance un valor tan bajo que el sistema no pueda distinguir pequeñas diferencias en la respuesta.

Por el contrario los sistemas aditivos permiten la consideración de muchos más factores. Otra ventaja consiste en que ningún factor individual llega a tener suficiente peso como para influir excesivamente en la evaluación final. Las limitaciones en los sistemas aditivos vienen impuestas por su complejidad, ya que conforme el número de factores a considerar aumenta, también lo hace la dificultad del manejo de dichas valoraciones parciales para que la evaluación final resulte realista. Otra limitación es la posibilidad de que la evaluación global salga negativa (Clarke, 1950; Duclos, 1971; Sys y Verheye, 1972).

c) Métodos combinados: éstos son ideados especialmente para la evaluación de la productividad del suelo, que utilizan tanto los procedimientos multiplicativos como los aditivos. La mayoría de los métodos combinados utilizan los métodos aditivos para derivar evaluaciones parciales, para después multiplicar entre sí dichos valores hasta calcular un índice final de evaluación. También, la aptitud de cada factor seleccionado se evalúa individualmente mediante la utilización de curvas de respuesta. La mayor ventaja de estos sistemas es la posibilidad de incluir información de múltiples factores seleccionados sin minimizar el efecto de ninguno de ellos y sin generar resultados que sean falsamente bajos o incluso negativos. La mayor limitación puede resultar de su complejidad, que evidentemente es mayor que la de los sistemas multiplicativos o aditivos simples (Teaci, 1964; Teaci, 1970; Pushkarov Institute, 1970).

d) Métodos estadísticos: en la evaluación de tierras los sistemas estadísticos son métodos muy utilizados para predecir la aptitud relativa basándose en características de tierras seleccionadas. Cuando se dispone de suficientes datos básicos de una zona representativa de referencia, ya sea sobre características de tierras, o sobre el comportamiento de los sistemas de uso, los modelos estadísticos proporcionan muy buenos resultados. Los análisis estadísticos de correlación y regresión múltiple se emplean para investigar las contribuciones relativas de las características de tierras seleccionadas. La variable de respuesta o comportamiento del sistema de uso considerado "Y" se analiza como una función del tipo:

$$Y = \Phi (X_1, X_2, \dots, X_n) + \varepsilon$$

Donde las variables independientes X_n corresponden a las características de tierras seleccionadas, por ejemplo, profundidad del suelo, contenido en arcilla, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, pH, saturación de sodio...; y ε recoge los valores residuales. Como la expresión matemática de Φ es desconocida, esta función puede estimarse satisfactoriamente dentro del campo experimental, asimilándola a un polinomio. La calibración de este modelo polinomial puede calcularse estadísticamente como un caso particular de regresión múltiple. El coeficiente de regresión (R^2) proporcionado por este análisis representa un índice inductivo de validación del modelo calibrado al expresar el porcentaje de variación observado que explica dicho modelo. Esta metodología se ha empleado sobre todo en la predicción de la productividad del suelo para distintos cultivos, como por ejemplo campos de trigo en China (Tang *et al.*, 1992) o cultivos de trigo, maíz y algodón (Tabla 1.2) en el valle del Guadalquivir (De la Rosa *et al.*, 1981).

Cultivo	Ecuación polinomial	R^2
Trigo	$Y = -1740.3 + 52.1x_1 + 33.0x_3 + 27.2x_4 + 238.0x_5 - 0.4x_1x_3 - 6.2x_5x_7 + 11.0x_6x_7$	0.78
Maíz	$Y = 1085.4 + 30.0x_1 + 28.0x_3 - 418.1x_6 + 17.0x_2x_5 + 0.2x_2x_7 - 39.2x_5x_7 + 21.0x_6x_7$	0.78
Algodón	$Y = 1266.3 - 1.4x_1 - 9.2x_2 + 12.1x_3 - 90.3x_5 + 49.0x_7 - 0.4x_2x_7 + 11x_6x_7$	0.84

Tabla 1.2: Ecuaciones de regresión, con sus coeficientes de determinación múltiple (R^2), del modelo de suelos Albero (MicroLEIS). Y: rendimiento del cultivo, $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$; x_1 : profundidad útil, cm; x_2 : contenido en arcilla, %; x_3 : profundidad a síntomas de hidromorfismo, cm; x_4 : contenido en carbonatos, %; x_5 : salinidad, en $\text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$; x_6 : saturación en sodio, %; x_7 : capacidad de intercambio catiónico, $\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$ (De la Rosa *et al.*, 1981).

e) Métodos avanzados: las tecnologías de la información posibilitan el uso de diversas técnicas de modelización en los sistemas más complejos. La aplicación de estas técnicas más sofisticadas ha incrementado la tendencia cuantitativa en la evaluación de tierras a través de la modelización. Los modelos constituyen una representación simplificada del mundo real que puede expresarse en una gran diversidad de formas tales como diagramas conceptuales, sistemas de clasificación y verdaderos modelos matemáticos. En la evaluación de tierras, la modelización empírica ha progresado desde los más simples modelos estadísticos hacia otros más complejos basados en técnicas de inteligencia artificial. A su vez, la modelización determinista, que simula sobre todo el desarrollo de los cultivos, sigue su propio camino en la comprensión de los mecanismos reales del crecimiento vegetal a través de ecuaciones matemáticas, pudiendo ser:

- Modelos expertos: los primeros expertos, como una de las técnicas de inteligencia artificial, son programas informáticos que simulan las capacidades resolutorias de los expertos en un campo determinado, proporcionado

soluciones a un problema. Estos sistemas expresan el conocimiento inferido utilizando árboles de decisión. En la evaluación de tierras, los árboles de decisión proporcionan una expresión muy clara del proceso de comparación entre los requerimientos de usos de tierras y las características o cualidades de tierras. Como en cualquier otro sistema de evaluación, cuanto más profundo y detallado sea el conocimiento básico de partida, mejor será el resultado de la aplicación de los sistemas expertos. Una experiencia de este tipo es el programa informático “*A Land Evaluation System*” (ALES) (Rossiter, 1990).

- Modelos de lógica difusa: en términos generales, los sistemas tradicionales cualitativos de evaluación de tierras siguen un enfoque booleano o basado en reglas adaptadas al principio de máxima limitación. El uso de esta metodología en la evaluación de tierras es de particular importancia ya que es posible minimizar el efecto de cualquier característica de tierras cuando alcance un valor inmediatamente exterior a su rango establecido. En los casos a evaluar que corresponden claramente a las clases definidas se les asigna un valor de pertenencia (MF) igual a 1, mientras que en aquellos que no entran dichas clases se les asigna un valor de pertenencia entre 0.0 y 1.0, dependiendo del grado de cercanía a la clase definida. De acuerdo con ello la lógica booleana admite sólo dos posibilidades de pertenencia: completa (MF=1) o nula (MF=0).

Las características de tierras facilitadas en clases se convierten así en grados de pertenencia dependiendo de los valores de las mismas. La valoración global de la aptitud de las unidades de tierras se basa entonces en un factor de ponderación de las características relevantes. La función conjunta de pertenencia (JMF) proporciona una suma ponderada para las diferentes características de tierras (A, B,...Z) de la siguiente forma:

$$JMF_x = a_A MFA + a_B MFB + \dots + a_Z MFZ \quad \text{donde} \\ a_A + a_B + \dots + a_Z = 1$$

La calibración de estas ponderaciones ($a_A, a_B \dots a_Z$) resulta de vital importancia y se suele obtener en base al conocimiento experto local, a datos experimentales o calculados mediante anteriores métodos de evaluación. La utilización de la estricta álgebra booleana: verdadero o falso, al igual que un modelo y exacto, se muestra a menudo inapropiada para la evaluación de tierras debido a la naturaleza continua de la variabilidad de los suelos, a las dudas asociadas a la descripción del fenómeno en sí, a la imprecisión de las mediciones que ello conlleva, o la dificultad para formular adecuadamente las cuestiones (Harris *et al.*, 1996; Van Rans *et al.*, 1996; Davidson *et al.*, 1994).

- Modelos de red neuronal: una red neuronal artificial es un mecanismo informático capaz de adquirir, representar y computar las relaciones o pesos de un espacio, siempre que se le proporcionen los datos que representan esos espacios. En contraste con los modelos estadísticos de regresión, las redes neuronales no requieren del conocimiento de las relaciones funcionales entre las variables de entrada y de resultados. Además las redes neuronales no son lineales, y por ello, pueden manipular patrones muy complejos de datos que imposibilitan el uso de métodos matemáticos. Otra ventaja de las redes neuronales está relacionada con los tipos de datos: continuos, casi continuos y categóricos o binarios que se pueden introducir sin que transgredan las suposiciones del modelo (Kim y Gilley, 2008; Conforti *et al.*, 2014).

- Modelos de simulación dinámica: describen de forma cuantitativa procesos biofísicos que tiene lugar en los ecosistemas agrícolas, tales como el crecimiento del cultivo, balance hídrico del suelo, movimiento de nutrientes, o erosión hídrica. Estos modelos se aplican en la evaluación de tierras para cuantificar la producción de un cultivo, los efectos de la sequía, la pérdida de nutrientes y la del propio suelo, bajo varias opciones de uso y manejo de las tierras. Cuando se aplican sobre diversas unidades de tierra a lo largo de varios años, el resultado constituye un conjunto consistente de datos con valores medios y con variaciones en el espacio y en el tiempo. El resultado del modelo puede utilizarse directamente como un índice de comportamiento de las tierras, o como coeficiente técnico del sistema de uso de las tierras en una etapa posterior del proceso interpretativo de datos. La simulación dinámica facilita una nueva dimensión a la evaluación de tierras, como corresponde al análisis de la variabilidad en el tiempo de los requerimientos del uso de las tierras y de las cualidades de tierras (Rodríguez y López, 2000; Silva y Puche, 2001).

- Modelos híbridos: en estos sistemas de evaluación de tierras, a través de la vinculación de dos tipos de modelos, generalmente uno de ellos simula las funciones de razonamiento cualitativo mientras que el otro simula la parte cuantitativa de la modelización. Algunos modelos híbridos demuestran, por ejemplo, que los resultados de la simulación pueden combinarse muy bien con los sistemas de expertos en la evaluación de la producción de cultivos, o estimar riesgos (Fig. 1.3) (Bouma *et al.*, 1993; De la Rosa *et al.*, 1999).

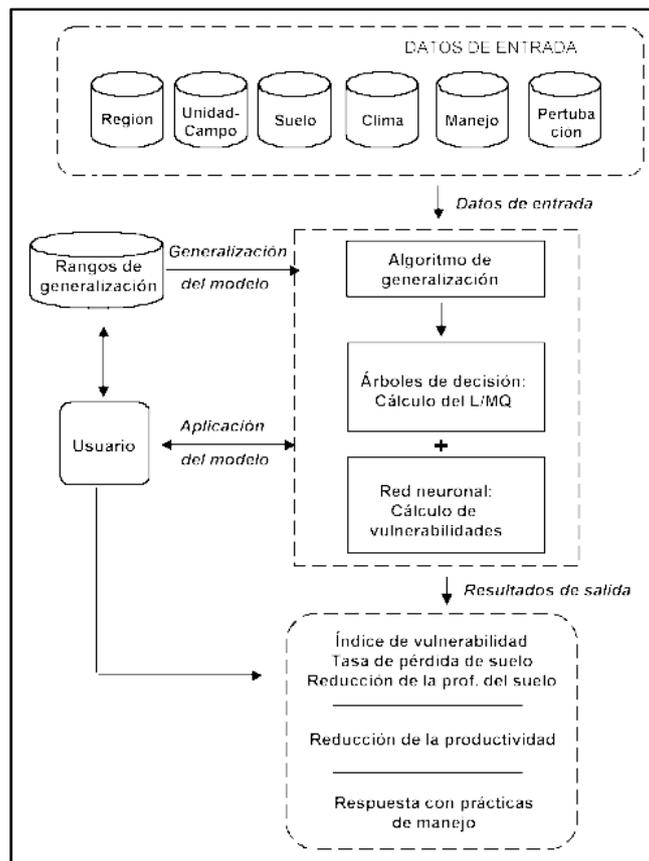


Fig. 1.3: Diagrama de flujo simplificado del software *ImpelERO*, mostrando las tres opciones principales: entrada de datos, generalizar el modelo y ejecutar el modelo (De la Rosa, 2008).

1.4. Erosión hídrica.

Una de las características principales de los suelos del área mediterránea es su lenta evolución y escasa capacidad de regeneración, debido a esto si la acción antrópica provoca desequilibrios en las propiedades edáficas, las consecuencias pueden ser nefastas. De todos los mecanismos que degradan estos suelos: degradación biológica, degradación de las propiedades físicas y químicas, salinización, erosión eólica y erosión hídrica, es ésta última uno de los procesos que influyen con más intensidad y afectan a mayor superficie, hasta el punto de provocar el aumento de los procesos anteriores (Ortiz, 1990).

Según Baver (1938), las primeras investigaciones sobre los efectos de la erosión fueron llevadas a cabo por el edafólogo alemán Wollny en el último cuarto del Siglo XIX, que utilizó pequeñas parcelas para estudiar el efecto de varios factores (grado de pendiente, cobertura vegetal, tipo de suelo y exposición) en la producción de sedimentos. Sin embargo, las primeras investigaciones que miden la erosión de manera cuantitativa en parcelas comenzaron en Utah (EEUU) en 1912 y fueron llevadas a cabo por Sampson y colaboradores (Sampson y Weyl, 1918; Stewart y Forsling, 1931). No es hasta 1917 cuando M. F. Miller comienza en Missouri a investigar con parcelas de erosión tal y como las conocemos en la actualidad (Duley y Miller, 1923; Miller,

1929; Miller y Krusekopf, 1932) en las que se puso de manifiesto el efecto de los cultivos y rotaciones en la erosión y producción de sedimentos. Ayres (1936) describe los factores que afectan la erosión y en 1940 llegaron las aportaciones del impacto de la gota de agua en los procesos erosivos (Laws, 1940). Los trabajos de Zingg (1940) aportan la primera ecuación predictiva de pérdida de suelo, relacionando la pérdida de suelo con la longitud y la pendiente y la producción de escorrentía y sedimentos. Smith (1941) avanzó en la línea propuesta por Miller de relación entre el tipo y características del proceso de cultivo y la producción de sedimentos, señalando como zonas más sensibles las labradas a favor de la pendiente, constituyendo medidas correctoras las terrazas y técnicas de rotación de cultivo en franjas. Partiendo de los estudios de Laws (1940) y Ellison (1944), en donde se manifestaba la importancia de la intensidad y energía de la lluvia en el proceso erosivo, Musgrave (1947) establecería su ecuación de pérdida de suelo (mm de suelo/año), medida en parcelas experimentales, relacionándola con la precipitación máxima en 30 minutos, la pendiente y su longitud, la cubierta vegetal y la erosionabilidad del suelo.

Investigaciones llevadas a cabo posteriormente nos acercan más a la “*Universal Soil Loss Equation*” (USLE) (Smith y Whitt, 1948; Van Doren y Bartelli, 1956; Hudson, 1961). Como consecuencia de estas aportaciones Wischmeier y Smith (1965) formulan la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, aglutinando y sistematizando los trabajos anteriores. A partir del planteamiento de esta ecuación, se siguen dos vías, la de redefinirla en algunos parámetros (Hudson, 1961 y Elwell, 1977) y la de pasar a la estimación total de sedimentos en una cuenca, obviando la medida en la parcela (Fournier, 1960; Djorovic y Gravidovic, 1974). A este nivel de cuenca también se ha modificado la USLE para adaptarla a este ámbito (Renard *et al.*, 1974; Onstad *et al.*, 1967; Williams y Berndt, 1976).

La evaluación de la erosión puede abordarse desde dos puntos de vista (Tabla 1.3). El primero de ellos basado en una descripción del riesgo de erosión basada en el análisis de los factores que los inducen, siendo por tanto métodos cualitativos. El segundo punto de vista, aplica ecuaciones matemáticas sobre la base de datos estadísticos y empíricos, denominándose métodos cuantitativos.

Cualitativos	Formas de erosión		
	Grado de erosión		
	Estimación directa		
Cuantitativos	Estimación indirecta	Caja negra:	Estadísticos
		Caja gris:	Paramétricos
		Caja blanca:	Conceptuales Con base física

Tabla 1.3: Métodos de evaluación de la erosión (Almorox *et al.*, 2010).

a) Métodos cualitativos.

Entre los primeros trabajos en esta línea cualitativa se encuentra el propugnado por Steinits y Sinton (1975), evaluando la vulnerabilidad a la erosión. Con un mayor grado de elaboración del método fue presentado por el *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation* (ITC) con sede en Holanda (Van Zuidam y Cancelado, 1977), quedando recogido en el Manual de fotointerpretación y dotado de un carácter esencialmente cartográfico y cualitativo, utiliza como características de diagnóstico:

- Elementos o factores que definen la susceptibilidad de la erosión.
- Signos de erosión observados.
- Tolerancia del suelo a la erosión.

Las variables principales consideradas son la inclinación y grado de la pendiente, forma de la ladera, profundidad del material no consolidado, textura, densidad de vegetación, practicas de conservación y evidencias en campo de la erosión en distintas formas entre otros.

Los métodos cualitativos realizan una clasificación de la erosión o del riesgo de erosión según una serie de factores que se tomen en consideración. De los primeros trabajos destaca la cartografía de unidades homogéneas en función de parámetros que controlan el proceso erosivo, tales como erosividad, suelo, vegetación y topografía, a los que se atribuyen baremos más o menos subjetivos (Cendrero *et al.*, 1986; ICONA, 1987; Bordás y Sánchez, 1988; Moreira, 1991). Pueden ser determinados mediante sensores remotos y visitas a campo en las que comprobar la fotointerpretación previa de unidades (erosión-deposición) (Gallardo, 1989 y 1992), destacan los estudios basados en imágenes de satélites de observación del terreno (LANDSAT) (Fenton, 1981), fotografía aérea para estimación de los factores C y P de la USLE (Morgan y Nalepa, 1982) o evaluando la erosión (susceptibilidad y erosión real) mediante el empleo de *Sistemas de Información Geográfica* (SIG) (CORINE-CEC, 1992).

En España fue aplicado por el *Instituto para la Conservación de la Naturaleza* (ICONA) en 1982 en el Mapa de Paisajes Erosivos, llevado a cabo el sureste de la península, utilizando cartografía de pendientes, mapa de protección de la vegetación y un mapa litofacies de donde se define la erosionabilidad de los suelos y la técnica de superposición cartográfica (Fig. 1.4). En Valencia, Bordás y Sánchez (1988) realizan el mapa geocientífico de esa provincia en base al método del ITC holandés, con parámetros tales como torrencialidad, suelo, pendiente, litología y vegetación y en Andalucía fue adaptado por Moreira (1986, 1991), obteniéndose el mapa de susceptibilidad a la erosión graduado en 8 clases.

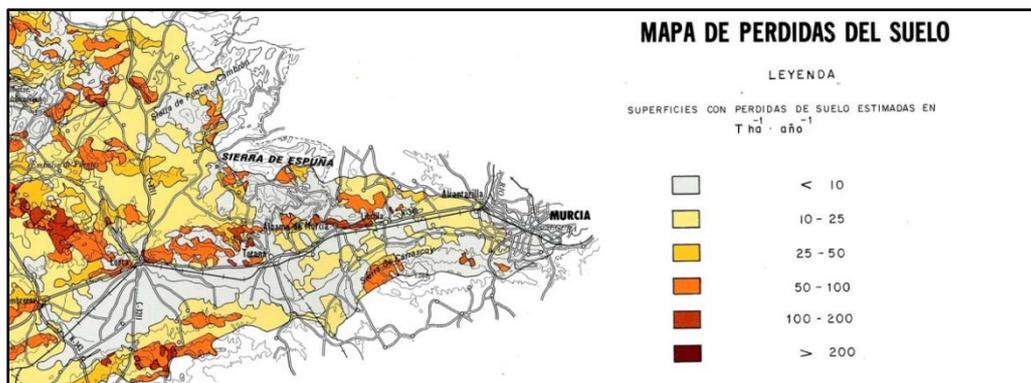


Fig. 1.4: Paisajes erosivos en el sureste español (ICONA, 1982).

b) Métodos cuantitativos.

Dentro de los métodos cuantitativos, podemos diferenciar: estimación directa, estimación indirecta y dentro de estos últimos, métodos de caja negra, caja gris y caja blanca.

- Estimación directa.

En este método se determina la erosión por medida directa de los sedimentos (Kreznor *et al.*, 1992), evaluando el flujo de agua y sedimentos (Gallart, 1992; García Ruiz, 1992), usando agujas o perfiladores microtopográficos en el terreno para determinar las variaciones de las microformas (Sancho, *et al.*, 1991), mediante ensayos con simuladores de lluvia (Roth *et al.*, 1985; Benito *et al.*, 1986; Sanroque, 1988; Navas *et al.*, 1990) o usando medidas de Cs^{137} , que tras su dispersión por todo el planeta en las pruebas nucleares entre los años 1950-1970 y su fijación a las arcillas y la materia orgánica del suelo, se rastrea este isótopo, evaluándose los movimientos de sedimentos y su redistribución (Sutherland *et al.*, 1990 y 1991), medidas de la materia orgánica (Kreznor *et al.*, 1992), etc. Para ello el diseño de las parcelas de experimentación han seguido el desarrollado por Wischmeier en los EEUU, aunque de unas dimensiones muy variables.

- Estimación indirecta.

Se basan en el uso de modelos de simulación. Según Almorox *et al.* (1994) los modelos son representaciones simplificadas de la realidad. La modelización de un sistema natural es fundamental para su análisis, comprensión y para el planteamiento de actuaciones con el fin de regularlo. Los modelos de simulación de la erosión pueden clasificarse de la siguiente manera (Morgan, 1997; Almorox *et al.*, 2010):

- Caja negra, en donde el análisis correlaciona únicamente entradas y salidas, sin conocer cómo se desarrolla el proceso. Se validan mediante el análisis de los “input” y “output”. Se obtiene una respuesta a partir de los datos introducidos en el sistema, como datos de pérdida de suelo obtenidos a partir de datos de lluvia. No explica el resto de factores que intervienen en el proceso. Destacan los propuestos por Fournier (1960), que escoge datos de clima y relieve para evaluar el suelo movilizado en una superficie y tiempo. Posteriormente Djorovic y Gravidovic (1974), utilizado en la evaluación de aportes sólidos en las presas mediante el cálculo con datos de precipitación, clima relieve, suelo, vegetación, tipo y estado erosivo; Jansen y Painter (1974), mediante ecuaciones de regresión según las características climáticas, con diversas anomalías en el volumen de sedimentos calculado; Dendy y Bolton (1976) a partir del estudio de la sedimentación en embalses de EEUU, proponen también ecuaciones de regresión relacionando dichos sedimentos con la escorrentía y superficie; de forma similar, pero en la India, Das y Argarwal (1990) lo hacen a partir de los datos de hidrogramas, relacionando sedimentos con escorrentía; en España Almorox (1993) propone para estimar la degradación específica de una cuenca mediante una ecuación de regresión, a partir de los datos climáticos (temperatura, número de días de lluvia y precipitación máxima en 1 hora).

- Caja gris, se conocen algunos de los procesos del sistema, pero sin llegar a la complejidad de los de caja blanca, proporcionan un mejor conocimiento de las causas de la erosión con la ventaja de necesitar menor número de datos. El modelo paramétrico de mayor aceptación y aplicación es la USLE propuesta por Wischmeier y Smith (1978) en su expresión actual después de varias aproximaciones previas (Wischmeier, 1959; Wischmeier y Mannering, 1969). Otros métodos destacados son la *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE), formulada por Williams (1975) y Williams *et al.* (1977), con el fin de aplicar la USLE a cuencas, modificando el factor R, de manera que se evalúa el contenido de sedimentos producido en una cuenca durante una tormenta; la *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) (Renard *et al.*, 1997) que modifica la USLE en los factores de longitud y grado de la pendiente y prácticas de conservación; el *Soil Loss Estimation Model for Southern Africa* (SLEMSA), desarrollado por el gobierno de Rhodesia (Elwell, 1984), establece

5 variables de control: energía estacional de la lluvia, erosionabilidad del suelo, energía interceptada, pendiente y longitud de la ladera.

- Caja blanca, se dividen a su vez en modelos conceptuales y modelos con base física, en donde los primeros establecen ecuaciones simples de todos los procesos que intervienen en el fenómeno y en los segundos, tratan de resolver ecuaciones que regulan el fenómeno. Se conocen todos los detalles sobre cómo opera el sistema y se validan por medio de medidas en el interior del ente natural, aumentando la comprensión del proceso de la erosión y su relación con los factores que la inducen.

Los modelos conceptuales más destacados son: *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) diseñado para simular el transporte de agua, nutrientes y contaminantes a escala de cuenca, realizando una simulación continua. Está compuesto por una serie de submodelos, los cuales se emplean para simular distintos procesos hidrológicos (Arnold y Fohrer, 2005); *Simulator for Water resources in Rural Basins* (SWRRB) desarrollado para cuencas grandes y tiene por objeto predecir el efecto de las diferentes opciones de manejo sobre la producción de agua y sedimentos en zonas rurales (Williams *et al.*, 1985; Arnold y Williams, 1987; Arnold *et al.*, 1990); *Morgan, Morgan y Finney* (MMF) es un modelo agregado en el espacio al tratar la parcela como unidad y en el tiempo al predecir tasas de erosión anuales (Morgan *et al.*, 1984; Morgan, 1997 y 2001); *Agricultural NonPoint Source* (AGNPS) empleado para analizar problemas de contaminación agrícola por una fuente indeterminada en cuencas pequeñas (Young *et al.*, 1989); *Environmental Management Support System* (EMMS) que se compone por tres módulos, diseñado a nivel de cuenca y con una escala temporal continua (Watson *et al.*, 2001).

Entre los modelos más conocidos con base física, está el programa norteamericano *Water Erosion Prediction Project* (WEPP) y el *European Soil Erosion Model* (EUROSEM). El modelo WEPP, (Flanagan y Nearing, 1995) es un modelo de predicción de erosión del suelo, desarrollado por el National Soil Erosion Research Laboratory del USDA. Puede ser utilizado en procesos de erosión en ladera y cuencas pequeñas. Existe gran cantidad de información disponible sobre el modelo y el programa es de libre distribución. Requiere gran número de parámetros, divididos en 9 componentes y es necesario tratar cada ladera de forma separada. Puede simular la distribución espacial y temporal de la pérdida de suelo para una ladera completa o cada punto de ella (Almorox *et al.*, 2010). El modelo EUROSEM, (Morgan *et al.*, 1998) calcula la escorrentía total, pérdida total de suelo, hidrograma de la tormenta y gráfico de sedimentos. Los componentes del modelo son la interceptación de la lluvia por la vegetación, infiltración, características de la superficie del suelo, procesos de escorrentía superficial, pérdida de suelo por impacto de la gota de lluvia, pérdida de suelo por escorrentía y capacidad de transporte por el flujo de agua.

Muy complicado de aplicar en cuencas de gran tamaño. Otros modelos, con base física son: *Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems* (CREAMS), Knisel (1980); *Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulator* (ANSWERS), Beasley (1977), Beasley *et al.*, (1980), Beasley y Huggins (1991), Fisher *et al.* (1998); *Erosion Productivity Impact Calculator* (EPIC), Williams (1983), Williams *et al.* (1983, 1984 y 1990); *Kinematic Erosion Simulation* (KINEROS), Smith *et al.* (1995), Woolhiser *et al.* (1990) y *Limburg Soil Erosion Model* (LISEM), De Roo (1996), De Roo *et al.* (1996a y 1996b) y De Roo y Jetten (1999).

1.5. Cartografía de suelos.

Para una mayor comprensión geográfica, las entidades naturales que contienen los suelos tienen necesariamente que ser delineadas o cartografiadas. Su configuración y dinámica interna presenta estrecha relación con los factores y procesos que van a determinar, en cierta medida, la homogeneidad de la unidad cartográfica de suelos, a partir de los atributos asociados (Jaimes, 1988).

En los estudios cartográficos conviene distinguir tres conceptos referidos al suelo:

- El suelo como cuerpo natural (ente físico o real que se puede muestrear).
- El tipo de suelo (la clase taxonómica, según la clasificación utilizada)
- Y la unidad cartográfica (mancha cartográfica que ocupa en el espacio geográfico).

Un mapa de suelos representa la distribución de los tipos de suelos en el paisaje. Para ello, debe definir las diferentes unidades cartográficas de suelos y delimitar las extensiones geográficas que ocupan (Velázquez *et al.*, 2004).

La unidad cartográfica es una aproximación a la realidad geográfica. Cada unidad representará el suelo o los suelos más frecuentes en esa zona, lo que determina el grado de pureza de la misma. A pesar de suponerse que los suelos forman en la naturaleza un verdadero conjunto continuo, su separación y consecuente delineación entre unidades puede ser gradual, con límites difusos, por cuanto no se derivan los unos de los otros, por lo menos como lo hacen otros factores del ambiente. No aplica ni el principio de la similitud máxima en el interior de las unidades ni el parentesco ni la filiación (Dorronsoro, 2003).

La elaboración de un mapa de suelos comprende un proceso, que puede ser lento y laborioso, dado que contempla, a grandes rasgos, un inventario morfológico de los suelos, la determinación de la superficie que ocupan, su clasificación, el estudio de sus propiedades o atributos asociados, la relación

con los factores formadores o componentes del medio y finalmente la elaboración del documento cartográfico.

1.6. Cartografía geocientífica.

Según Cendrero (1990) en el procedimiento general para la elaboración de la cartografía geocientífica debemos identificar los parámetros que sean relevantes para el fin que se persigue y su representación en mapas descriptivos, evaluar las unidades y obtener el diagnóstico o cualidades significativas, así como especificar los criterios que se utilicen para los mapas finales de síntesis. Las metodologías más utilizadas son las de tipo sintético y las de carácter analítico (Cendrero y Díaz Terán, 1987).

a) Tipo analítico

Consideran el territorio como una superposición o agregación de una serie de elementos. En función de los usos a considerar se seleccionan los que son significativos y relevantes. Cada uno se representa en mapas temáticos y mediante la superposición se obtiene la delimitación de cada porción del terreno a estudiar que será objeto de análisis y evaluación. Presenta la ventaja de eliminar subjetividad en la delimitación de unidades homogéneas y el inconveniente de no plasmar la realidad de forma clara y plasmar las interacciones de los elementos que lo forman. A este respecto hay que destacar la obra de McHarg (1969), que elabora mapas por separado (inventario ecológico) de factores como clima, geología, fisiografía, hidrografía, suelos, flora, fauna y uso del suelo y mediante superposición de éstos se delimitan las unidades del territorio. En España destacan los trabajos de Escribano *et al.* (1978), Gómez Orea (1978) y Sáiz de Omeñaca (1979), entre otros.

b) Tipo sintético

En ellos se realiza una división del territorio de forma escalonada, estableciendo primero unidades grandes y subdivisión progresiva en otras más pequeñas hasta alcanzar un determinado grado de detalle. Se realiza por cartografía directa sobre el terreno mediante ortofotografías o imágenes de satélite, de manera que se van delimitando las áreas con características comunes. La mayor ventaja que presentan es que explican las causas de las diferencias territoriales, proporcionando también una visión global de cada unidad, que puede ser de gran importancia cuando se contempla en conjunto las características del medio físico-usos actuales. La desventaja radica en que la definición de pequeñas unidades conlleva cierta subjetividad, como el establecimiento de límites entre una unidad y otra colindante.

De este tipo destacan los trabajos del CSIRO australiano (Stewart y Perry, 1953; Christian, 1958; Christian y Stewart, 1968), que utilizan de manera

sistemática la fotointerpretación, mediante la que subdividen el territorio, según el orden jerárquico, en "Land system", "Land units" y "Sites". En España siguen esta metodología González Bernáldez y Díaz-Pineda (1973) y Sánchez *et al.* (1984).

1.7. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Se identifica con frecuencia a los *Sistemas de Información Geográfica* (SIG) como unos programas de ordenador. En realidad, son un sistema que debe conjugar cuatro componentes (Fig. 1.5): una serie de dispositivos (hardware), unos programas (software), un conjunto de datos geográficos y unos expertos en el manejo de los tres elementos previos (parte viva del sistema o liveware) (Moreno Jiménez *et al.*, 2007).

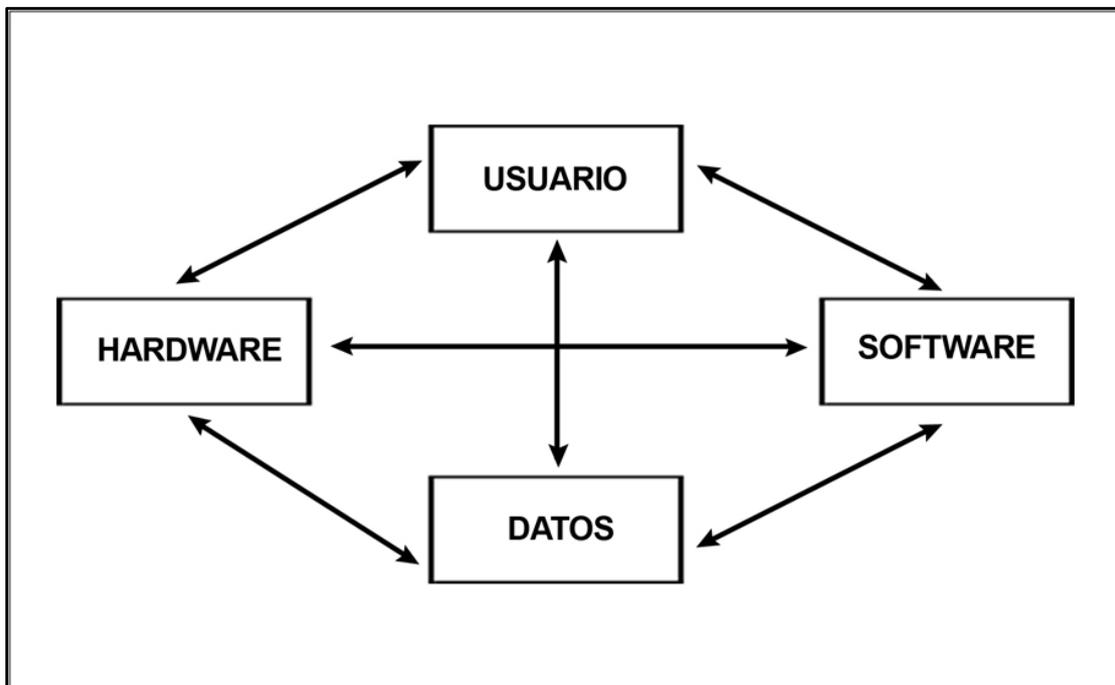


Fig. 1.5: Elementos que integran un SIG (Gómez y Barredo, 2005).

Los programas de ordenador que integran el SIG, permiten grabar, manipular, analizar y modelizar información referida al espacio, constituyendo su característica esencial el definir las relaciones "topológicas" entre una variable espacial y todo lo que la rodea. Esta nueva tecnología está revolucionando los procedimientos de observación de nuestro planeta, aportando a los métodos convencionales (Moreira, 1994), una serie de ventajas:

- Una visión sintética, integrada y uniforme de la superficie terrestre.
- La repetitividad en la observación de un mismo lugar (actualmente cada media hora en satélites meteorológicos y cada 16 días en satélites de reconocimiento de recursos naturales).

- La calidad geométrica que, a través de tratamientos informáticos, permite actualizar cartografías topográficas y temáticas automáticamente.

- La enorme riqueza de información sobre un mismo objeto, al ser registrado su comportamiento en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético.

Estos Sistemas contemplan el mundo real segmentado en "capas" de información homogénea (temática) que pueden superponerse en el espacio y el tiempo (Fig. 1.6).

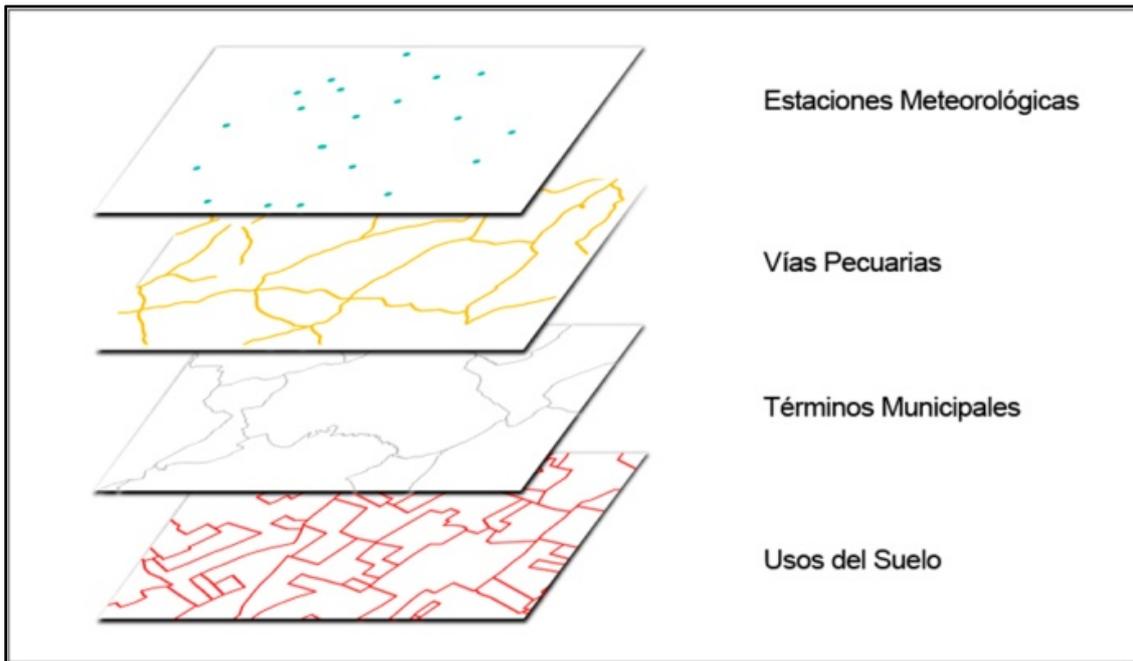


Fig. 1.6: Descomposición del territorio en capas temáticas contenidas en un Sistema de Información Geográfica. Adaptado de Jones (1997).

Desde el punto de vista operativo, la representación de la realidad se realiza adoptando fórmulas bien definidas, se trata de los llamados modelos de datos de un SIG, de los que existen dos, el modelo ráster y el modelo vectorial (Gómez y Barredo, 2005).

En el modelo de datos ráster el territorio está representado por un conjunto de unidades espaciales llamadas celdas o píxeles, las cuales representan unidades homogéneas de información espacial, éstas establecen su localización por un sistema de referenciación en filas y columnas (Fig. 1.7). En este modelo de datos, los elementos del mundo real están representados por un conjunto de celdas adyacentes, pero que en realidad no mantienen relaciones explícitas de topología entre ellas, ya que las fronteras de las regiones o áreas están definidas implícitamente, y no se reconocen a menos que se aplique un algoritmo de detección de fronteras.

El modelo de datos vectorial concibe el espacio de modo continuo, de manera tal que la representación de los hechos espaciales del mundo real se realiza de manera más realista que en el modelo ráster, debido a que los objetos espaciales se representan de manera explícita. La representación espacial de la información está asociada a una base de datos que contiene la información temática, lo que permite asignar una serie de características (atributos temáticos) a los objetos espaciales, dando pie a posteriores operaciones y análisis en cada uno de los componentes de los datos (espacial o temático), o lo que es más importante, en ambos dentro de un mismo análisis. El nivel de precisión en este modelo está limitado por el número de bits usados para representar un valor simple dentro del ordenador, siendo la resolución espacial mucho más fina en comparación al tamaño de celda generalmente utilizado en el modelo ráster.

A pesar de las diferencias entre ambos modelos, no se puede decir que un modelo sea mejor que el otro. Ciertas aplicaciones específicas encuentran mejor respuesta en uno de los dos modelos, por ejemplo, la representación de elementos espaciales continuos, como la altitud (en el caso de los *Modelos Digitales del Terreno-MDT*), encuentra una representación más operativa en el modelo ráster, de igual manera que los datos provenientes de imágenes de satélite. Sin embargo, la representación de variables discretas puede realizarse de manera más económica en el modelo vectorial, por ejemplo una capa de ocupación del suelo.

Así podemos pensar que en lugar de buscar el “mejor” modelo de datos, debemos viajar hacia sistemas que integren ambos modelos en un solo ambiente de trabajo, hecho ya aplicado en algunos paquetes SIG comerciales (Gómez Delgado *et al.*, 2005).

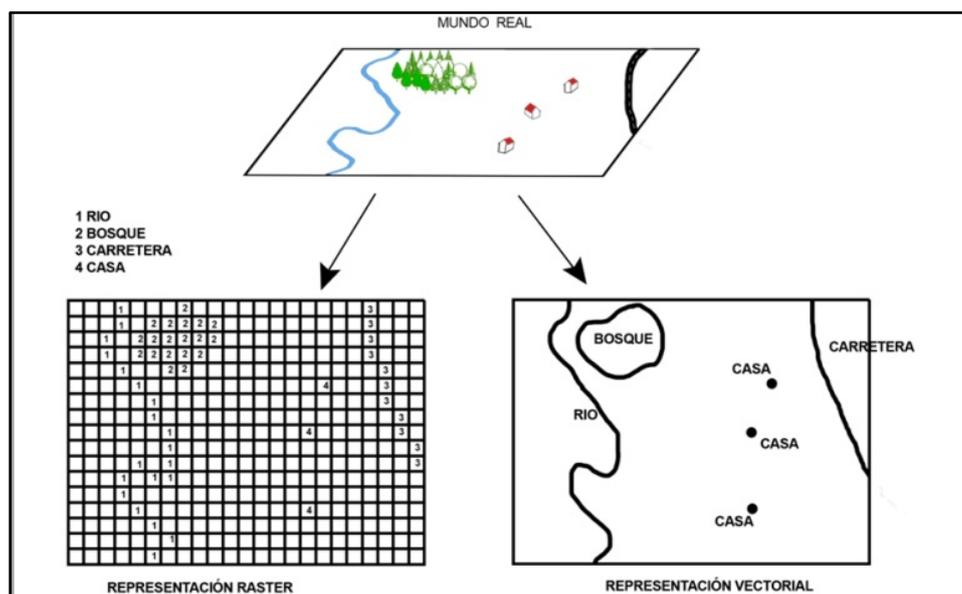


Fig. 1.7: Representación del modelo ráster y vectorial a partir del mundo real.

1.8. Herramientas de cartografía.

1.8.1. Fotografía aérea.

Cuando hablamos de fotografía aérea nos referimos, exclusivamente, a las imágenes formadas sobre películas, tomadas desde el aire, mediante el procedimiento que conocemos como fotografía. Estas fotografías son tomadas por aviones en vuelos en los que se requiere de una serie de pasadas de manera que se asegure el solapamiento de las fotografías y así garantizar la cobertura total del terreno. En función de la disposición del eje óptico con respecto a la superficie (Fig. 1.8) se clasifican en verticales u oblicuas.

Estos vuelos son realizados a una determinada altura sobre la superficie que variará dependiendo de la topografía, diferenciándose una altura máxima y mínima. Si relacionamos la altura media del vuelo (H), calculada a partir de la máxima y mínima, con la distancia focal (f) de la cámara utilizada, obtenemos el denominador de la escala (E) de la fotografía aérea, según la relación: $E=H \cdot f^{-1}$.

En España, hasta mediados de los años 80, existían cuatro vuelos generales, dos realizados por el ejército de EEUU en 1945-1946 (Serie A) y en 1956-1957 (Serie B, conocida popularmente como "vuelo americano"), y otros dos correspondientes a los años 1967-1968 (Serie C) y 1981-1984 a escala 1:30.000 del Instituto Geográfico Nacional (Fernández García, 2000).

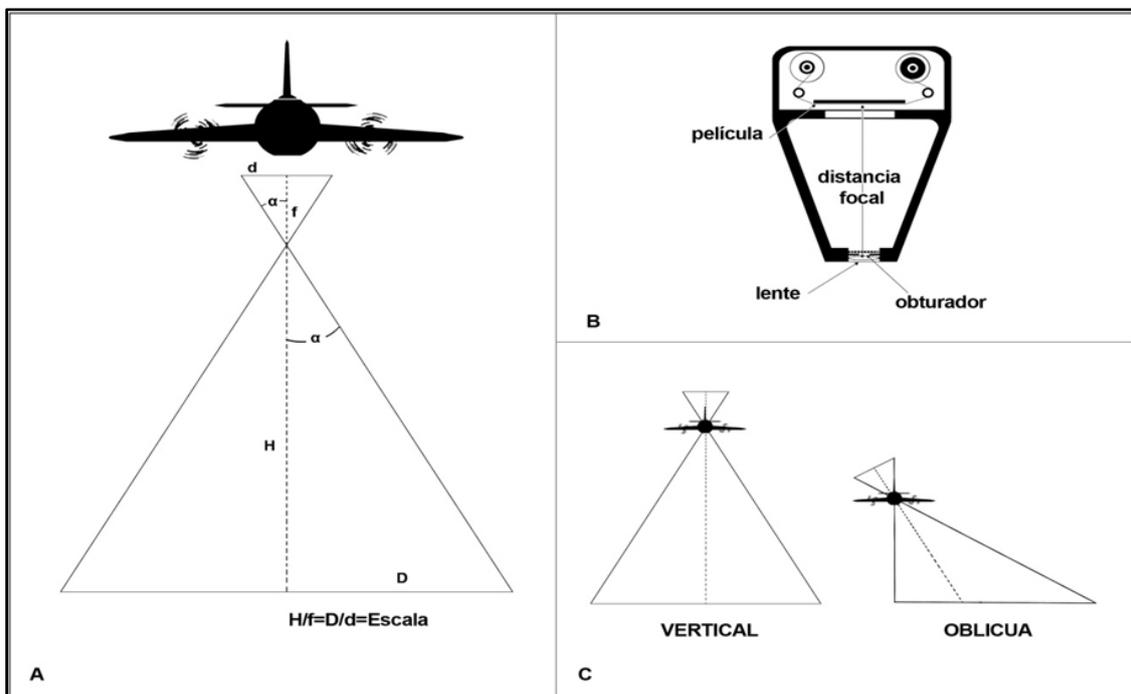


Fig. 1.8: A la izquierda, relación entre altura de vuelo (H), escala y distancia focal (f); a la derecha arriba, esquema de la cámara fotográfica instalada en el avión que realiza el vuelo fotogramétrico y a la derecha abajo, diferencia entre fotografía vertical y oblicua. Adaptado de Fernández García (2000).

En la actualidad se encuentran gran cantidad de fotografías aéreas, disponibles al investigador y al público en general, corregidas de aberraciones y distorsiones propias de la proyección con la que se hace la fotografía aérea, ofreciéndose como productos en soporte digital y a través de internet para su descarga o mediante *Web Map Service* (WMS).

En Andalucía, por citar algunas de los últimos años, están disponibles ortofotografías de los años 2001-2002 en blanco y negro (COPT-CAP-CMA, 2004), del año 2004 en color (COPT-CAP-CMA, 2005) y del año 2007 en color (COPT, 2009).

1.8.2. Imágenes de satélite.

La teledetección espacial es una tecnología de percepción remota de la realidad física mediante sensores situados en satélites capaces de escrutar los objetos terrestres en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético (Fig. 1.9).

Las plataformas de teledetección espacial suministran, a través de los sensores instalados en ellos, información de la superficie terrestre. Existen numerosos programas que realizan esta función, destacando el Programa *Land Satellite* (LANDSAT), puesto en funcionamiento en 1972 (LANDSAT-1).

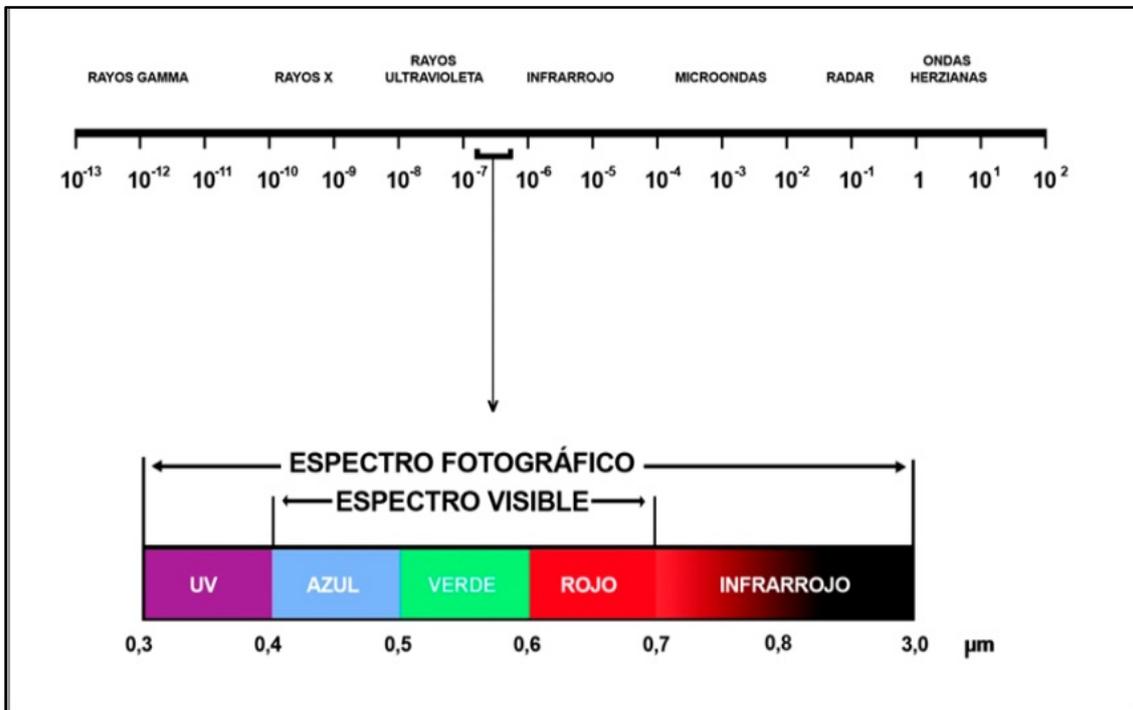


Fig. 1.9: El espectro fotográfico y el espectro visible. Adaptado de Fernández García (2000).

Las características orbitales de estos satélites son (Ardizzone *et al.*, 1991):

- Órbita polar heliosíncrona ligeramente inclinada (99,1°) en dirección Norte-Sur.
- Altura orbital media de 917 km, a partir del LANDSAT-4 de 705 km.
- A partir de LANDSAT-4 dan una vuelta a la Tierra cada 98.9 min, observándose el mismo lugar de la superficie terrestre cada 16 días.

En cuanto a los instrumentos de observación el más importante es el sensor *Thematic Mapper* (TM), que es un equipo de barrido multiespectral con 100 detectores, con una resolución espacial (tamaño del píxel) de 30 m, una resolución espectral de 7 bandas (rojo, verde, azul y 4 en el infrarrojo) y resolución radiométrica de 8 bits.

1.9. Paisaje.

El término «paisaje» procede del lenguaje común, y en las lenguas románicas deriva del latín (*pagus*, que significa país), con el sentido de lugar, sector territorial. Así, de ella derivan las diferentes formas: *paisaje* (castellano), *paisatge* (catalán), *paisaxe* (gallego), en euskera se utiliza la forma *paisaia*, *paysage* (francés), etc. Las lenguas germánicas, por su parte, presentan un claro paralelismo a través de la palabra originaria *land*, con un sentido prácticamente igual, y de la que derivan *Landschaft* (alemán), *landscape* (inglés), *landschap* (holandés), etc. Este significado de espacio territorial se remonta al momento de la aparición de las lenguas vernáculas, y podemos decir, con ciertas precisiones, que es válido actualmente (De Bolós, 1992).

Para centrar el término paisaje es necesario referirse a tres enfoques distintos. El “paisaje puramente estético”, que hace alusión a la armoniosa combinación de las formas y colores del territorio, e incluso a la representación artística de él. Este enfoque queda recogido en las dos acepciones que anota el *Diccionario de la Lengua Española*: «Pintura o dibujo que representa cierta extensión de terreno», «Porción de terreno considerada en su aspecto artístico» (Escribano *et al.*, 1991). La palabra paisaje también puede emplearse como “término ecológico o geográfico”, cuando se alude al estudio de los sistemas naturales que lo configuran: «Complejo de interrelaciones derivadas de la interacción de rocas, agua, aire, plantas y animales» (Dunn, 1974). Y por último, “como estado cultural”, siendo el paisaje «El escenario de la actividad humana» (Laurie, 1970). El hombre como agente modelador del paisaje que le rodea: «Un medio natural fuertemente condicionado por las actividades socioeconómicas, aparece como paisaje a los ojos del hombre, transformado por los factores socioculturales» (Perelman, 1977). Otra definición de paisaje es la que nos ofrece González Bernáldez (1981), que distingue entre un *fenosistema* (Fig. 1.10) conjunto de componentes perceptibles en forma de

panorama, escena o «paisaje» y un *criptosistema* o complemento de más fácil observación, que proporciona la explicación que falta para la comprensión del geosistema.



Fig. 1.10: La percepción de un paisaje puede hacerse a partir de la observación del *fenosistema*, en forma de panorama en este caso. En la imagen se muestra una panorámica de un Paisaje Rural Mediterráneo. A la derecha de la misma el núcleo de Montalbán de Córdoba.

1.9.1. Clasificación del paisaje.

Una forma de clasificar el paisaje es según su funcionalidad de manera que puede dividirse en paisaje rural, urbano o natural, con las respectivas divisiones dentro de cada tipo. Es evidente que la función primordial en cada caso variará considerablemente: conseguir una producción agrícola-ganadera o forestal, en el paisaje rural, cumplir unas funciones estratégicas, comerciales, administrativas, etc., en el paisaje urbano, o defender la conservación del medio, en los paisajes naturales. El funcionamiento de los paisajes rurales se debe en parte a la energía natural (básicamente la solar) y en parte a la energía antrópica. Se entiende por rural a lo relativo al campo, en oposición a lo urbano. Tanto lo rural como lo urbano presentan el elemento antrópico como factor fundamental. No obstante, mientras en los paisajes urbanos el elemento antrópico es predominante, en el paisaje rural los elementos abióticos tienen una importancia considerable. Los paisajes rurales pueden ser muy distintos en función de características físicas (relieve, fisiografía o suelos), tipo de vegetación, clima, técnicas de cultivo (rotaciones de cultivos, barbecho), el régimen de propiedad (De Bolós, 1992).

1.10. Influencia de los cambios de uso en las propiedades de los suelos.

Los suelos juegan un papel clave en el ciclo geoquímico del carbono, ya que pueden emitir grandes cantidades de CO₂ o por el contrario pueden actuar como reservorio para el carbono (Smith *et al.*, 2000). La agricultura y la silvicultura pueden contribuir al secuestro de carbono a través de la fotosíntesis y la incorporación en carbohidratos (González-Sánchez *et al.*, 2012). Los cultivos capturan el CO₂ de la atmósfera durante la fotosíntesis y acaban formando parte de la materia orgánica del suelo. Su degradación por procesos microbiológicos puede estar limitado por la estabilidad de los agregados, la

adsorción de las arcillas o la formación de complejos órgano-minerales (Johnson *et al.*, 2007; Lal, 1997). El manejo del suelo es una de las mayores herramientas para adaptarnos y mitigar el cambio climático (Lal, 2011). Varios autores han propuesto la introducción de técnicas de manejo de suelos que combinen la restricción del laboreo (Corral-Fernández *et al.*, 2013) y la adición de residuos orgánicos (Lozano-García *et al.*, 2011; Lozano-García y Parras-Alcántara, 2013) para mejorar la calidad del suelo y favorecer el secuestro de carbono en el suelo.

El secuestro de carbono se define como una transferencia neta adicional de carbono a partir del CO₂ atmosférico hacia los suelos, después de un cambio en el manejo de la tierra (Powlson *et al.*, 2011). Por lo tanto, el secuestro de carbono es uno de los más importantes servicios de los ecosistemas, debido a su papel en la regulación del clima (IPCC, 2007). La intensificación de la agricultura y/o transformación de las prácticas de laboreo convencional, puede causar enormes pérdidas del carbono orgánico del suelo, induciendo así un aumento de la erosión y rotura de la estructura del suelo (Melero *et al.*, 2009). El cambio de uso de la tierra se considera la segunda causa de las emisiones de carbono, después del consumo de combustibles (Watson *et al.*, 2000). Este cambio de uso ha contribuido a la degradación y pérdida de suelo y conduce a una disminución en el almacenamiento de carbono en el suelo a nivel mundial (Eaton *et al.*, 2008), con una mayor intensidad en el área Mediterránea durante las últimas décadas (Cerdà *et al.*, 2010). Estudios experimentales a largo plazo han confirmado que el carbono orgánico del suelo es altamente sensible a los cambios de uso del suelo (Smith, 2008). Por lo tanto, incluso un relativo pequeño aumento o disminución en el contenido de carbono orgánico del suelo debido a los cambios en el uso o de las prácticas de manejo de la tierra, pueden resultar en un cambio significativo entre el carbono almacenado y la atmósfera (Houghton, 2003). Recientemente se ha demostrado que la erosión hídrica del suelo y/o el laboreo tienen un impacto significativo en este gran almacén de carbono orgánico del suelo (Lal, 2003; Van Oos *et al.*, 2005; Van Hemelrick *et al.*, 2011). Información a escala regional sobre las existencias de carbono y la relación entre los reservorios de carbono y factores edáficos, podría ser muy relevante para determinar que los cambios de uso del suelo son de interés para evaluar las pérdidas o ganancias de carbono orgánico del suelo (Novara *et al.*, 2011). El clima, el suelo y el manejo son factores que influyen en el carbono de los suelos de España (Muñoz Rojas *et al.*, 2012; Rodríguez Murillo *et al.*, 2001; Ruiz *et al.*, 2012), principalmente en las regiones semiáridas, caracterizadas por bajos niveles de carbono orgánico del suelo ($\sim 10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Acosta Martínez *et al.*, 2003).

La relación C:N del suelo es un indicador de la fertilidad del suelo debido a la estrecha relación entre el carbono orgánico del suelo y el nitrógeno total. A menudo esta relación C:N está influenciada por muchos factores como el clima

(Miller *et al.*, 2004), las condiciones del suelo (Ouédrago *et al.*, 2006; Yamashita *et al.*, 2006), tipo de vegetación (Diekow *et al.*, 2005) y las prácticas de manejo agrícola (Zhang *et al.*, 2009).

El uso de la relación de estratificación como indicador de la calidad de un suelo, se basa en la influencia de la cantidad de carbono orgánico superficial en la erosión hídrica, la infiltración del agua y la conservación de nutrientes. Niveles altos de la relación de estratificación del carbono orgánico del suelo y nitrógeno total reflejan suelos relativamente poco alterados, con alta calidad en el horizonte superficial. El aumento de la relación de estratificación puede estar relacionado con la tasa y cantidad de carbono orgánico del suelo secuestrado (Franzluebbers, 2002).

La profundidad del suelo tiene una influencia decisiva en el contenido de carbono orgánico almacenado (Güneberg *et al.*, 2010). Algunos autores han evaluado el contenido de carbono orgánico del suelo del horizonte superficial (restringida a la parte superior, entre 15-30 cm o 50 cm) y otros estudios han incluido una sección más profunda del perfil del suelo (Conant y Paustian, 2002), aunque procesos verticales tienen un impacto significativo en la variabilidad del carbono orgánico del suelo (VandenBygaart, 2006). Sombrero y Benito (2010) señalaron que para evaluar y comparar el carbono orgánico almacenado, es necesario el perfil completo del suelo. Según Lorenz y Lal (2005) en zonas de clima templado, grandes cantidades de carbono orgánico pueden almacenarse en horizontes sub-superficiales a partir de los 30 cm de profundidad. Esto es esencial en los estudios sobre los efectos de los cambios de uso en el carbono orgánico, ya que éste puede ser transportado en profundidad y almacenarse en el subsuelo (Lorenz y Lal, 2005). La distribución vertical del carbono orgánico es una de las características que no está clara en la actualidad, junto con las relaciones con el clima y la vegetación (Jobbágy y Jackson, 2000).

En las últimas décadas, un número significativo de cultivos herbáceos se han transformado en cultivos de olivar y de viñedo en los terrenos de la Denominación de Origen Montilla-Moriles (Córdoba). Estos cambios de uso están motivados por subvenciones y mejores precios obtenidos en aceites de oliva y vinos.

1.11. Análisis descriptivo de la zona de estudio.

En este análisis del territorio sometido a estudio se diferencian dos partes, el estudio del medio físico y del medio biótico. En ambas es necesario conocer sus características para valorar los recursos naturales con el fin de poder ordenar los usos del territorio, estableciendo restricciones o prioridades, de modo que el uso sea el más adecuado a sus características y permita la

conservación de los mismos, mejorando su capacidad productiva mediante la búsqueda del mejor aprovechamiento posible y manteniéndolos en un nivel en el que la degradación se mantenga a niveles mínimos y sostenibles.

1.11.1. Medio físico.

La necesidad del estudio del medio físico está motivada por cumplir condiciones como:

- Poseer valores merecedores de especial protección.
- Encontrarse degradado y ser necesaria su recuperación.
- Aportar información relevante para el desarrollo de actividades.
- Sufrir modificaciones derivadas del desarrollo de actividades.

1.11.1.1. Localización y delimitación del área de estudio.

La zona de estudio se encuentra en el borde SE de la Depresión del Guadalquivir, en la zona de contacto de dicha depresión con la zona noroccidental de las Cordilleras Béticas (Fig. 1.11).

Quedando delimitada entre las coordenadas geográficas $4^{\circ} 45' 38'' - 31' 10''$ de Longitud oeste y $37^{\circ} 38' 38'' - 29' 54''$ de Latitud norte, está situada al sureste de la provincia de Córdoba y queda comprendida dentro de la Comarca de la Campiña, entre la Campiña Alta y la Campiña Baja. Tiene una superficie total de 33607 ha y la constituyen diez municipios: Aguilar de la Frontera, Cabra, Castro del Río, Espejo, Montalbán de Córdoba, Montemayor, Montilla, Monturque, La Rambla y Santaella, de los cuales sólo Montilla tiene incluido totalmente su término municipal dentro dicha zona (Tabla 1.4).

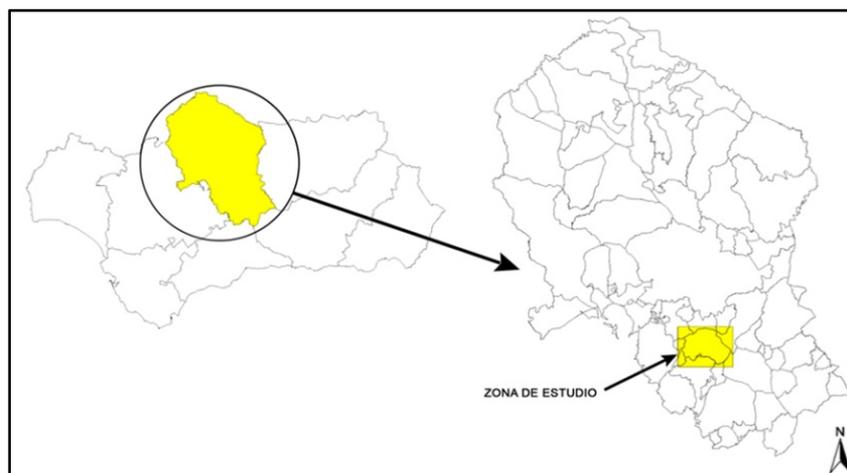


Fig. 1.11: Localización de la zona de estudio.

El término municipal de Montilla limita al norte con los municipios de La Rambla, Montemayor y Espejo; al este con Castro del Río y Cabra; al oeste

con Montalbán de Córdoba y al sur con Aguilar de la Frontera y Monturque (Fig. 1.12).

Municipio	Superficie total (ha)	Superficie del municipio en el área de estudio (ha)	Superficie del municipio en el área de estudio (%)	Superficie de cada municipio en el área de estudio (%)
Aguilar de la Frontera	16766.7	4319.7	25.8	12.8
Cabra	22872.5	1504.0	6.58	4.48
Castro del Río	21801.6	3390.4	15.5	10.1
Espejo	5729.9	1106.9	19.3	3.29
Montalbán de Córdoba	3396.7	2449.7	72.1	7.29
Montemayor	5782.1	1232.6	21.3	3.67
Montilla	16811.9	16811.9	100	50.1
Monturque	3298.3	532.9	16.2	1.59
Rambla (La)	13703.2	2077.8	15.2	6.18
Santaella	27203.4	181.3	0.67	0.54
Total	137366.3	33607.2	-	100

Tabla 1.4: Superficies de los términos municipales que se encuentran, total o parcialmente, dentro de la zona de estudio expresado en ha y % del total del municipio. También se expresa el porcentaje con el que contribuye cada uno a la zona de estudio.

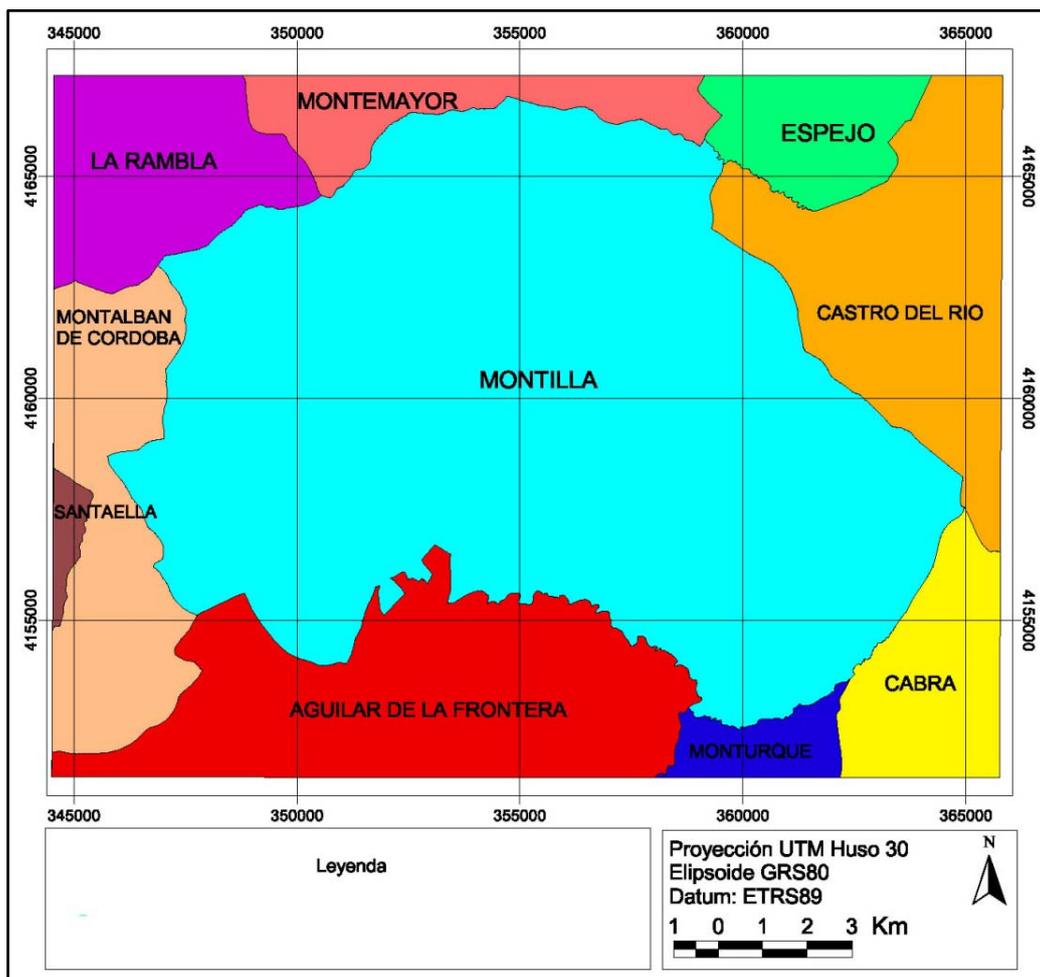


Fig. 1.12: Términos municipales del área de estudio.

1.11.1.2. Relieve y Fisiografía.

El relieve de Montilla y su entorno se caracteriza por la suavidad de sus formas alomadas en líneas generales (Fig. 1.13), encontrándose alturas que van desde los 180 m, en la zona oriental, hasta los 684 m, en la zona más occidental, lo que supone un rango altitudinal de 505 m.



Fig. 1.13: Formas alomadas del relieve de Montilla, al fondo el Picacho de la Virgen de la Sierra de Cabra y la Sierra de Horconera.

Si se exceptúan los modestos relieves Subbéticos del sector sureste, (682 m Cerro del Macho, mayor altura del área estudiada (Fig. 1.14), 645 m Cerro de los Leones, etc.) el resto del territorio está representado por formas suaves monótonas, donde además las vaguadas aluvio-coluviales cobran notable extensión, formando colinas y mesas de relieve poco acusado, a modo de ejemplo cabe destacar las superficies estructurales sobre las que se implantan las localidades de: Montilla (400 m), Aguilar de la Frontera (391 m), La Rambla (327 m) y Montemayor (392 m) (IGME, 1988).



Fig. 1.14: Los relieves más acusados se presentan en el este de la zona de estudio. En la foto se muestra la cara oriental del "Cerro del Macho" (682 m).

Las pendientes existentes en la zona de estudio tienen valores que oscilan entre 0-76%, siendo mayoritarias las zonas con pendiente entre el 3-8% que representa el 49,81% de la superficie estudiada. Los intervalos de pendiente de la zona de estudio son los que aparecen en la tabla 1.5.

Pendiente (%)	Área ocupada en la zona de estudio (ha)	Área ocupada en la zona de estudio (%)
0-3	8474.8	25.2
3-8	16739.7	49.8
8-16	7602.5	22.6
16-21	524.6	1,56
21-31	240.9	0.71
31-46	24.45	0.07
46-76	0.11	0.01
Total	33607.2	100

Tabla 1.5: Intervalos de pendiente de la zona de estudio y superficie que ocupan.

1.11.1.3. Litología.

La zona de estudio incluye materiales de la Subbética desde el Mioceno hasta el Cuaternario reciente. Los tipos de materiales que se encuentran son (IGME, 1988):

- Calizas y dolomías, de color marrón rojizo, que afloran localmente, son de tamaño reducido, se localizan buenos ejemplos al norte del Arroyo Benavente (calizas grises con sílex) y en el paraje Piedra Luenga.
- Margas yesíferas, de colores variables oscilando entre rojo intenso y amarillo, con depósitos de sal.
- En el sector oriental se encuentran materiales calizos margosos, (margocalizas) como las del Cerro de Buenavista y Cerro Macho (Fig. 1.15), margas con ammonites y margas de color blanco o crema, que ocupan gran parte de la superficie de la Sierra de Montilla.



Fig. 1.15: Olivares y viñedos sobre margocalizas. Vista oriental del Cerro del Macho.

- Margas blancas arenosas, denominadas localmente “albarizas” de color blanquecino, ocupan gran parte del territorio estudiado, con intercalaciones de calcarenitas (Fig. 1.16).

- Finalmente y también muy destacables, los materiales aluviales recientes, con arenas limos y arcillas y en las inmediaciones de las vegas actuales conglomerados, arenas y arcillas, que constituyen los fondos de valle.



Fig. 1.16: Cultivos herbáceos con encinas de Cerro Navarro, sobre materiales margosos.

1.11.1.4. Estratigrafía.

En la zona de estudio se pueden diferenciar tres grupos de materiales (IGME, 1988), los involucrados dentro de la paleogeografía de la Zona Subbética, aquellos que pertenecen probablemente a la Zona Circumbética y son de afinidad alóctona y los materiales depositados en el marco de la Depresión del Guadalquivir (autóctonos) (Fig. 1.18).

Zona Subbética. En función de la edad de los materiales, en la Zona Subbética se diferencian:

Triásico. Calizas y Dolomías de facies Muschelkalk. Arcillas abigarradas, areniscas y yesos de facies Keuper.

Jurásico. Calizas y calizas margosas nodulosas, de facies asimilables al “ammonítico rosso”.

Cretácico. Margas y margocalizas del Cretácico Inferior. Margas y margocalizas (capas rojas) del Cretácico Superior. Calizas grises con sílex con microfacies de biomicritas (Fig. 1.17).

Paleógeno. Margas y margocalizas con arcillas verdes y areniscas del Paleoceno-Eoceno. Margas y margocalizas blancas, con calizas bioclásticas del Oligoceno-Aquitaniense inferior. Margas blancas arenosas (denominadas localmente “albarizas”) del Aquitaniense-Serravaliense. Margas y margo-calizas bioclásticas.

Formaciones alóctonas. Arcillas, areniscas y brechas de componente triásica.



Fig. 1.17: Afloramiento de calizas grises con sílex, junto al Arroyo Benavente. Se observan bancos de 30 a 50 cm de potencia, interrumpidas por pasadas margosas de espesor milimétrico. El buzamiento de los estratos es de 45°.

Formaciones autóctonas.

Mioceno Superior. Margas gris-azuladas, que al alterarse se vuelven ocre anaranjado-amarillento en alteración. Arenas, limos y margas amarillas con intercalaciones de calcarenitas del Messiniense. Calcarenitas del Messiniense, con un aspecto masivo, sin estratificación. Conglomerados y arenas con pasadas de margas y limos del Mioceno Terminal-Plioceno Basal. Margas y calizas laminadas del Plioceno.

Pleistoceno. Limos calcáreos con cantos de calizas y margo-calizas, se presentan como Abanicos aluviales. Arcillas arenosas con cantos de calizas situado al norte del río Carchena. Costra calcárea hojosa y masiva “dalle”. Arcillas Rojas (superficie). Conglomerados, cantos de caliza y cuarzo, matriz arenosa. Terrazas altas del Río Cabra y del Carchena.

Holoceno. Arcillas arenosas con cantos de caliza y arenisca, formando conos de deyección. Arenas arcillosas con cantos de caliza y arenisca (coluvión). Conglomerado de cantos de calizas y cuarzo, con matriz areno-arcillosa, terraza baja del río Cabra. Arcillas y fangos oscuros. Limos y evaporitas y arenas arcillas y cantos de los fondos de valle.

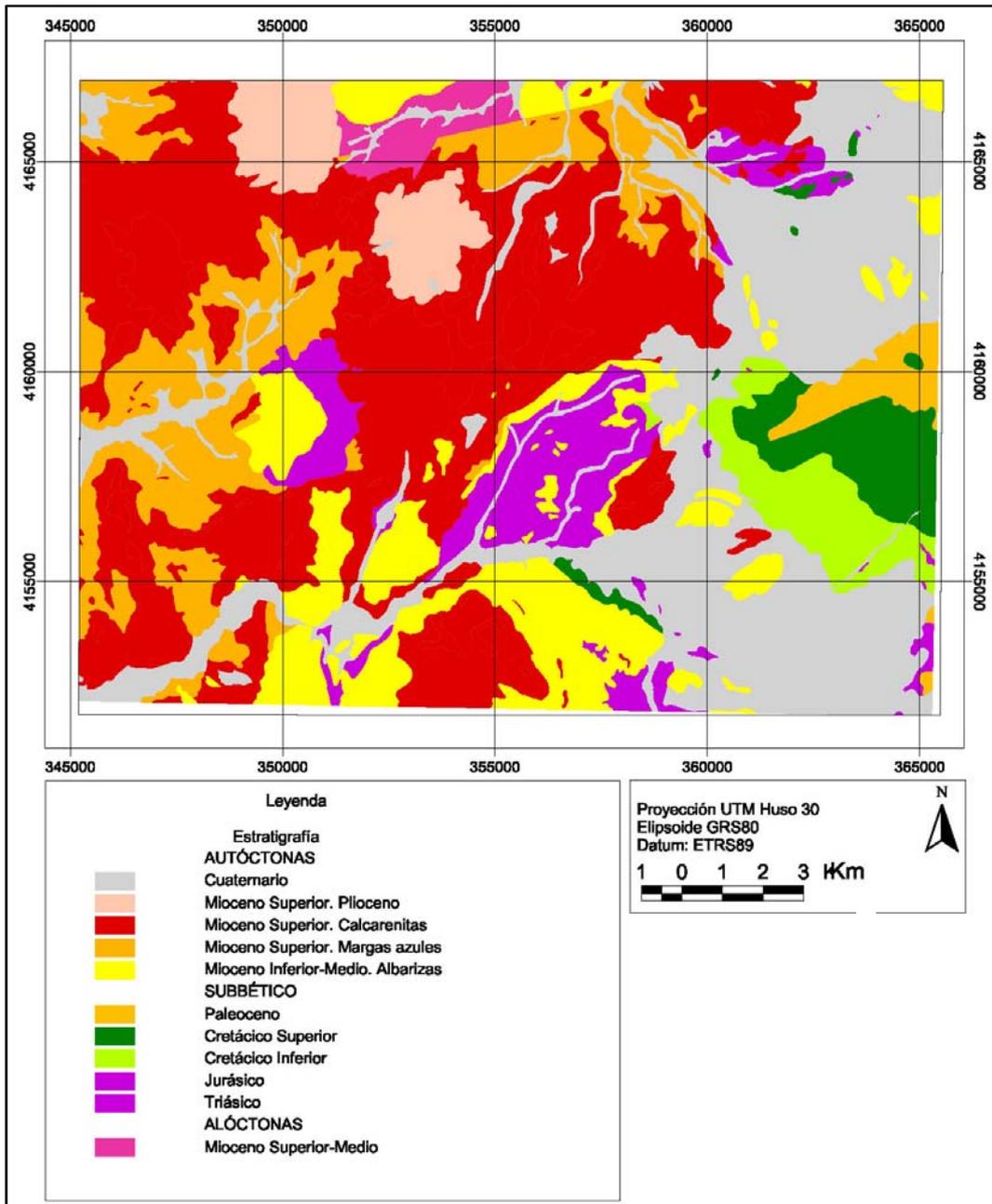


Fig. 1.18: Estratigrafía de la zona de estudio, agrupados según la paleografía a la que pertenece (IGME, 1988).

1.11.1.5. Edafología.

En la zona de estudio existen una serie de asociaciones de suelos (Fig. 1.19), que aparecen en distintas unidades cartográficas agrupadas a nivel de segundo orden de los criterios de clasificación de la FAO (FAO-UNESCO, 1974) y el Mapa de Suelos de la Unión Europea (CEC, 1985), según se desprende del Mapa de Suelos 1:400000 (Paneque *et al.*, 2005) diferenciándose:

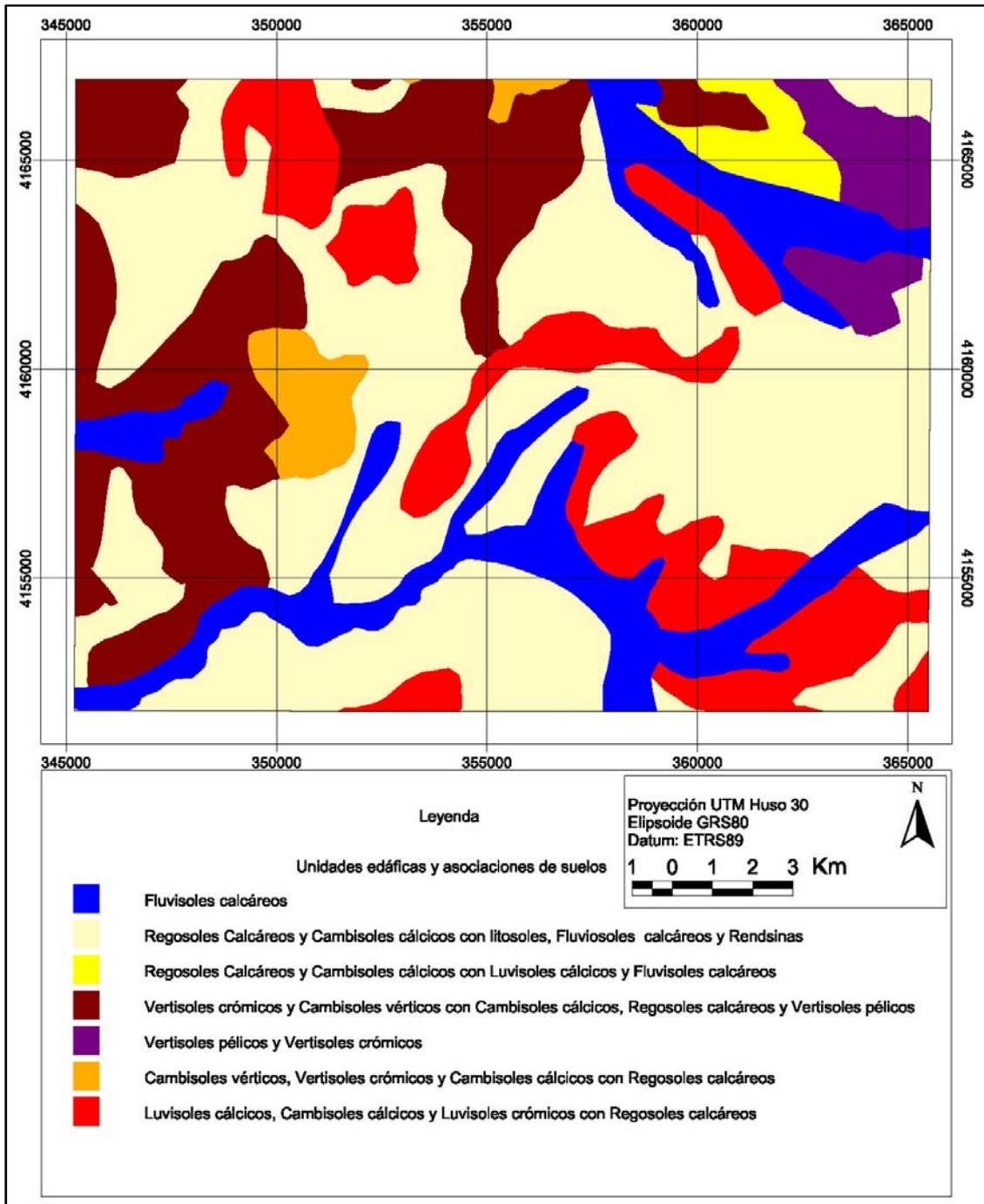


Fig. 1.19: Mapa de suelos (CMA, 2009c).

- Fluvisoles calcáreos.
- Regosoles calcáreos y Cambisoles cálcicos con Litosoles, Fluvisoles calcáreos y Rendsinas.
- Vertisoles crómicos y Cambisoles vérticos con Cambisoles cálcicos, Regosoles calcáreos y Vertisoles pélicos.
- Cambisoles vérticos, Vertisoles crómicos y Cambisoles cálcicos con Regosoles calcáreos.
- Luvisoles cálcicos, Cambisoles cálcicos y Luvisoles crómicos con Regosoles calcáreos.

a) Fluvisoles: son suelos aluviales, que dentro de los 25 cm desde la superficie y por lo menos hasta los 50 cm de profundidad están constituidos por un sedimento que muestra estratificación (material flúvico). Tienen perfil AC de escaso desarrollo y se diferencian de los Cambisoles (suelos aluviales que presentan un perfil diferenciado desarrollándose sobre sedimentos aluviales más antiguos, y sin aportes aluviales recientes). Los Fluvisoles calcáreos constituyen extensas vegas dedicadas preferentemente a regadíos (Fig. 1.20).



Fig. 1.20: Arroyo del Salado, en el límite oeste de la zona de estudio. Los suelos desarrollados en su llanura de inundación son Fluvisoles calcáreos.

b) Regosoles: son suelos minerales sobre materiales no consolidados (excepto los flúvicos) de textura media, bien drenados, de perfil no diferenciado, en los que sólo puede apreciarse una mínima expresión de horizontes de diagnóstico, excepto las características del ócrico o las propiedades de una superficie yérmica. Entre los Regosoles se encuentran los calcáreos, eútricos y dístricos, siendo los primeros los más representados.

c) Vertisoles: suelos con elevado contenido en arcilla, con esmectitas (principalmente montmorillonitas) como minerales dominantes, cuya propiedad de ser expansible les proporciona capacidad para desarrollar grietas desde la superficie hasta abajo, de 1 cm de ancho, al menos en algún periodo del año. Morfológicamente se caracterizan por el desarrollo, la forma y la orientación de agregados estructurales, prismáticos o en cuñas que se intersectan en caras curvas pulidas y brillantes por deslizamiento. Tienen color oscuro debido a la materia orgánica que, si bien en contenidos relativamente bajos ($<25 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), está muy humificada e incorporada íntimamente a la materia mineral (arcillas) del perfil. Son de pH neutro o ligeramente alcalino y muchos de ellos dan reacción al ácido clorhídrico. Tiene perfil del tipo A-Bw-C cuya principal característica es la presencia de un horizonte (Bw) subsuperficial vértico. Las limitaciones más importantes de estos suelos radican en el drenaje (medio o impedido), en la consistencia (firme en seco plástica en mojado) y en otras propiedades físicas relacionadas con la textura arcillosa.

d) Cambisoles: son suelos que tienen un horizonte B subsuperficial con evidencia de alteración (horizonte cámbico) respecto a los horizontes situados por debajo. También se consideran Cambisoles los suelos que tienen un horizonte mólico que cubre un subsuelo con saturación de bases menor del 50% en alguna parte dentro de los 100 cm desde la superficie; los que tienen un horizonte ándico, vértico o vítrico entre 25 y 100 cm y los suelos que poseen un horizonte plíntico, petroplíntico o sálico que comienza entre 50 y 100 cm, en ausencia de texturas arenolimosas o más gruesas por debajo de estos últimos horizontes. Los Cambisoles vérticos tienen un horizonte A ócrico y grietas de 1 cm o más de ancho en el horizonte B que se continúan hasta la superficie.

e) Luvisoles: son aquellos suelos que tienen un horizonte árgico normalmente subsuperficial con un grado de saturación en bases del 50% o más y con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) al menos de 24 $\text{cmol(c)}\cdot\text{kg}^{-1}$ de arcilla. Tienen perfil de tipo A-Bt-C o A-Bt-R, con un horizonte árgico (horizonte Bt) de color pardo, pardo rojizo o rojo, textura de arcillosa a franco arcillosa y reacción ligeramente ácida, neutra o ligeramente alcalina. Son de profundidad variable según su situación topográfica en los terrenos en que se encuentran, según la naturaleza geológica de estos, la vegetación que sustentan, y los manejos y usos recibidos.

1.11.1.6. Fisiografía y dinámica geomorfológica.

Con relación a las diferentes características de relieve y suelo (Fig. 1.25), se encuentran las siguientes (CMA, 2009):

- **Vegas aluviales y llanuras de inundación.** Incluye las zonas aledañas a los principales cursos fluviales diferenciándose aquellas tierras en las que las actuaciones del hombre disminuyen los problemas de inundación fluvial. En la zona de estudio queda delimitada a las vegas de los ríos Cabra y Carchena en la zona sur y nororiental, respectivamente.

- **Terrazas.** Son formas generadas por los ríos, con el transcurrir del tiempo, sobre sus propios materiales de aporte y que suelen acompañar a los principales cursos fluviales. Aunque existen niveles de terrazas en prácticamente todos los cursos de agua, la escala de trabajo obliga a representar sólo aquellas zonas donde alcanzan un mayor desarrollo (río Guadalquivir sobre todo), mientras el resto ha tenido que ser englobado en las vegas aluviales.



Fig. 1.21: Vegas y llanuras de inundación (Arroyo de la Carchena).

- **Coberturas detríticas en general.** Se corresponden con aquellas formas que han sido generadas por aportes de tipo detrítico (excluyendo llanuras de inundación actuales y terrazas) y que, bien constituyen depósitos de gravedad o bien se unen a formas muy peculiares como son los glaciares y los conos de deyección (Fig. 1.22).



Fig. 1.22: Formas detríticas de acumulación (coluvión) al noreste de la zona de estudio.

- **Colinas con moderada influencia estructural: Medios estables.** Zonas de morfología colinar y pendientes entre 7 y 30% que presentan moderada influencia estructural y en las que predominando procesos de tipo denudativo no llegan a aparecer graves problemas de erosión. Se corresponden con materiales Mesozoicos (Cretácico), de naturaleza margosa y margo-caliza situados en la zona oriental de la zona de estudio.

- **Colinas con moderada influencia estructural: Medios inestables.** Sobre margas y arcillas, que han sido poco afectadas por movimientos orogénicos y que presentan pendientes moderadas se desarrollan formas acolinadas donde la dinámica erosiva es bastante fuerte. Este tipo de fisiografía suele ser frecuente sobre margas y arcillas Oligocenas o Miocenas.

- **Lomas y llanuras: Medios estables.** La existencia de materiales poco consolidados no afectados por orogenia alguna permite el desarrollo de una fisiografía en la que predominan las llanuras y lomas suaves generadas por procesos denudativos que actúan de forma moderada (Fig. 1.23).



Fig. 1. 23: Lomas y llanuras (Medios estables). Cerro Navarro y al fondo la localidad de Espejo.

- **Cerros con fuerte influencia estructural: Medios estables.** Zonas de relieve abrupto, en general con pendientes superiores al 30%, afectadas por la orogenia alpina y que presentan fuerte influencia de formas estructurales. Sin embargo, debido a los materiales constituyentes (margas y margocalizas) se han visto más afectadas por procesos de tipo denudativo (Fig. 1.24).



Fig. 1.24: Cerro con fuerte influencia estructural. Piedra Luenga.

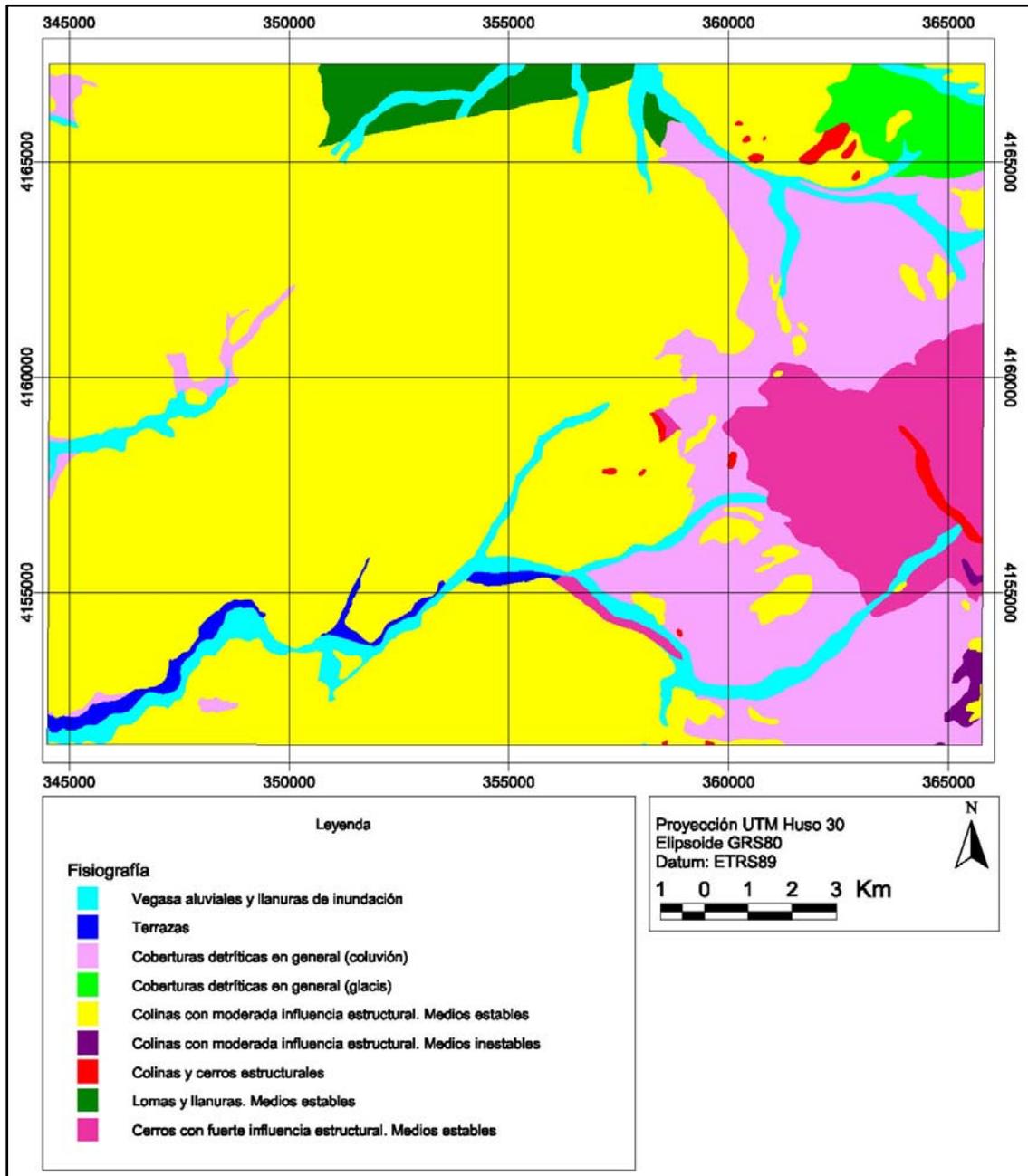


Fig. 1.25: Fisiografía de la zona de estudio (CMA, 2009).

1.11.1.7. Morfogénesis.

Bajo este epígrafe se recogen aquellos aspectos geomorfológicos que hacen alusión a la génesis dominante en las principales unidades morfogénéticas del área de estudio, agrupándose en (De la Rosa y Moreira, 1987):

a) Morfogénesis fluvio-coluvial. Reúne todas aquellas zonas donde los procesos de erosión-acumulación por la red hidrográfica superficial y por la arroyada en manto, dan lugar a formas muy características en las que predominan las llanuras y planos inclinados.

b) Morfogénesis denudativa. Las formas generadas a partir de los procesos denudativos actuantes como consecuencia de la acción de las aguas de escorrentía son importantes en el conjunto del territorio estudiado. El modelado tipo denudativo por las aguas está siempre presente en climas como el mediterráneo, si bien aparece mezclado con otros tipos de procesos morfogenéticos que pueden dominar sobre aquel. Es frecuente sobre aquellas formaciones litológicas que se podrían denominar blandas (margas y arcillas fundamentalmente. Fig. 1.26), en las que los procesos son más o menos dinámicos en función de factores como las pendientes y erosividad de las lluvias y usos.



Fig. 1.26: Morfogénesis denudativa sobre margas azuladas, al norte de la zona de estudio.

c) Morfogénesis estructural. En aquellas formaciones donde la importancia de los fenómenos tectónicos ha quedado marcada de modo que las formas que se observan sobre el terreno están condicionadas por aspectos de tipo estructural causadas por orogénesis (anticlinales, sinclinales,...) o por la estratificación originada de materiales consolidados (crestas, mesas,...), se puede hablar de dominancia de los fenómenos estructurales. Bajo esta nomenclatura han sido agrupadas todas las zonas que habiendo sido sometidas a fuertes procesos orogénicos y estando constituidas por materiales consolidados, conservan formas donde son reconocibles las estructuras orogénicas. También se incluyen aquellas formas donde son reconocibles las estructuras orogénicas y las causadas como consecuencia de la erosión diferencial de estratos más o menos consolidados, los cuales dan lugar a estructuras particulares condicionadas por la estratificación originaria de los materiales. En este último caso, si bien son los procesos denudativos los que generan las formas, la causa de esa morfología radica fundamentalmente en la estructura de la estratificación.

d) Morfogénesis kárstica. Se dan en litologías calizas y también en yesos (Fig.1.27), en los que los procesos de disolución característicos provocan formas de detalle que hacen que estos procesos puedan ser considerados aparte, por ser los que mejor definen estas formaciones.

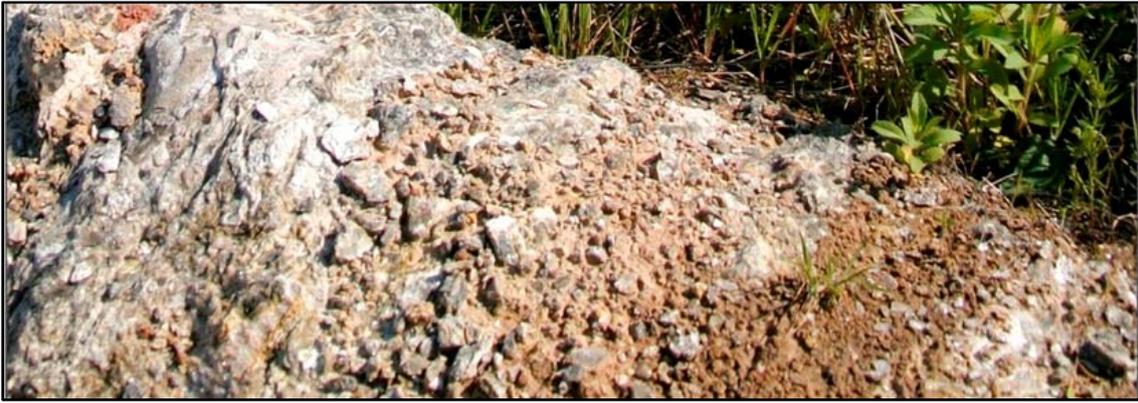


Fig. 1.27: Yesos del Keuper en las inmediaciones de Aguilar.

1.11.1.8. Hidrología superficial.

La red fluvial pertenece a la cuenca hidrográfica del Guadalquivir (Fig. 1.28), estando presentes la subcuenca del Guadajoz y la subcuenca del Bajo-Genil.

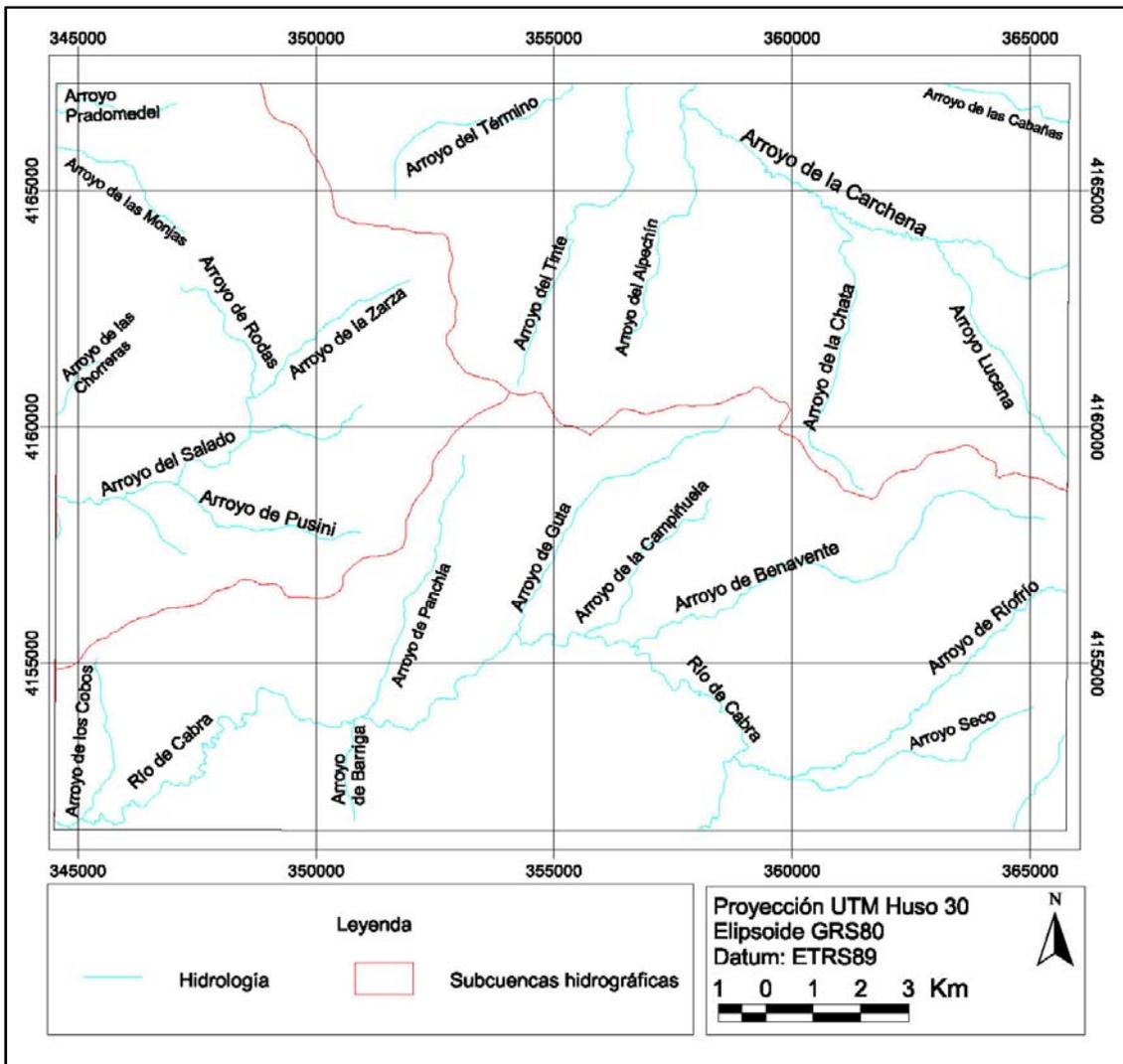


Fig. 1.28: Mapa de Hidrología superficial (CMA, 2009e).

El drenaje superficial se realiza en líneas generales hacia el O y NO por una red secundaria del Guadalquivir. Los cauces más importantes son el Río Cabra que discurre por el sur de la zona de estudio, rodeando Aguilar de la Frontera, el Arroyo Salado que nace en el centro y sale por el centro del margen occidental y el Arroyo Carchena que cruza en dirección SE-NO el ángulo nororiental (IGME, 1988).

a) Río Cabra.

Nace en el Término Municipal de Cabra y desemboca en el Río Genil a poco más de 1 km al suroeste de La Montiel (Santaella). La longitud en la zona de estudio es de 26 km discurrendo por el sur y constituyendo el límite de los términos municipales de Monturque y Montilla con Aguilar (Fig. 1.29).

Los afluentes por la margen derecha son el Arroyo Riofrío, tras unírsele el Arroyo Seco, el Arroyo Benavente (Fig. 1.30), Arroyo de la Campiñuela, Arroyo de Guta, Arroyo de Panchía y el Arroyo de los Cobos. Por la margen izquierda el Arroyo de Barriga.



Fig. 1.29: Vista del río Cabra, al Norte del Molino de Sotollón.

b) Arroyo del Salado.

Nace en el Cortijo de Malabrigo, en el término municipal de Montilla y desemboca en el Río Genil a unos 2.5 km al oeste de La Montiel (Santaella), haciendo límite provincial con Écija (Sevilla). Tiene una longitud en la zona de estudio de 6.2 km y discurre por el este de la misma por los términos de Montalbán y Montilla.

Los afluentes por la margen derecha son el Arroyo de las Chorreras y por la margen izquierda el Arroyo de Valdelasheras, Arroyo de Pusini, el Arroyo del Prado y el Arroyo de las Pechineras.

c) Arroyo Carchena.

Nace a 540 m en el término municipal de Nueva Carteya y desemboca en el Río Guadajoz en el término municipal de Córdoba. La longitud en la zona de estudio es de 11.6 km recorriendo en el ángulo noroeste los términos de Castro del Río, Espejo y Montemayor.

Tiene como afluente por la margen derecha el Arroyo de las Cabañas y por la margen izquierda el Arroyo Lucena, Arroyo de la Chata, el Arroyo del Alpechín y el Arroyo del Término junto con su tributario el Arroyo del Tinte.



Fig. 1.30: Arroyo Benavente.

1.11.1.9. Hidrología subterránea. Permeabilidad.

Estudios de escala muy grande, como el mapa de síntesis de los sistemas acuíferos a escala 1:1500000 del IGME (1971) caracteriza el área de estudio como zona prácticamente sin acuíferos. En el mapa de reconocimiento hidrogeológico del IGME (1971) a escala 1:1000000 se hace referencia a varios afloramientos de formaciones permeables por porosidad intergranular, generalmente no consolidada, con acuíferos de elevada transmisividad, en terrazas fluviales y acuíferos de arenas y conglomerados de transmisividad media. Se observa un mayor grado de detalle en la hoja 76 del mapa hidrogeológico de España a escala 1:200000, donde la zona de estudio la incluye en la Unidad 21, denominada Detrítico de Fernán Núñez-Montalbán-Montilla. Es un acuífero libre de 102 km² de extensión, constituido por diversos materiales (Tabla 1.6), de edad Andaluciense-Plioceno, con espesores que llegan a alcanzar los 70 m y permeabilidad media o localmente alta (Fig. 1.31). En cuanto a la calidad de las aguas es de facies bicarbonatada cálcica, con baja salinidad (<1 g·l⁻¹), con escasos análisis realizados (ITGE, 1995).

Formaciones autóctonas de la depresión del Guadalquivir	Periodo geológico	Permeabilidad
Terrazas fluviales: conglomerados, arenas, limos y arcillas.	Cuaternario	Permeable
Glacis y coluviones: conglomerados y arenas con limos y arcillas.	Cuaternario	Semipermeable
Arenas finas y areniscas con niveles margosos.	Plioceno	Semipermeable
Calcarenitas y arenas.	Andaluciense	Semipermeable
Margas azules con niveles esporádicos de areniscas o arenas.	Tortonense Superior	Impermeable
Formaciones de las Cordilleras Béticas	Periodo geológico	Permeabilidad
Margas, margocalizas, areniscas y olitostroma margoso.	Trías-Mioceno	Impermeable
Margas y arcillas con yesos	Trías	Impermeable

Tabla 1.6: Relación entre materiales y permeabilidad de las formaciones de la zona de estudio, según leyenda del mapa hidrogeológico 1:200000 (ITGE, 1995).

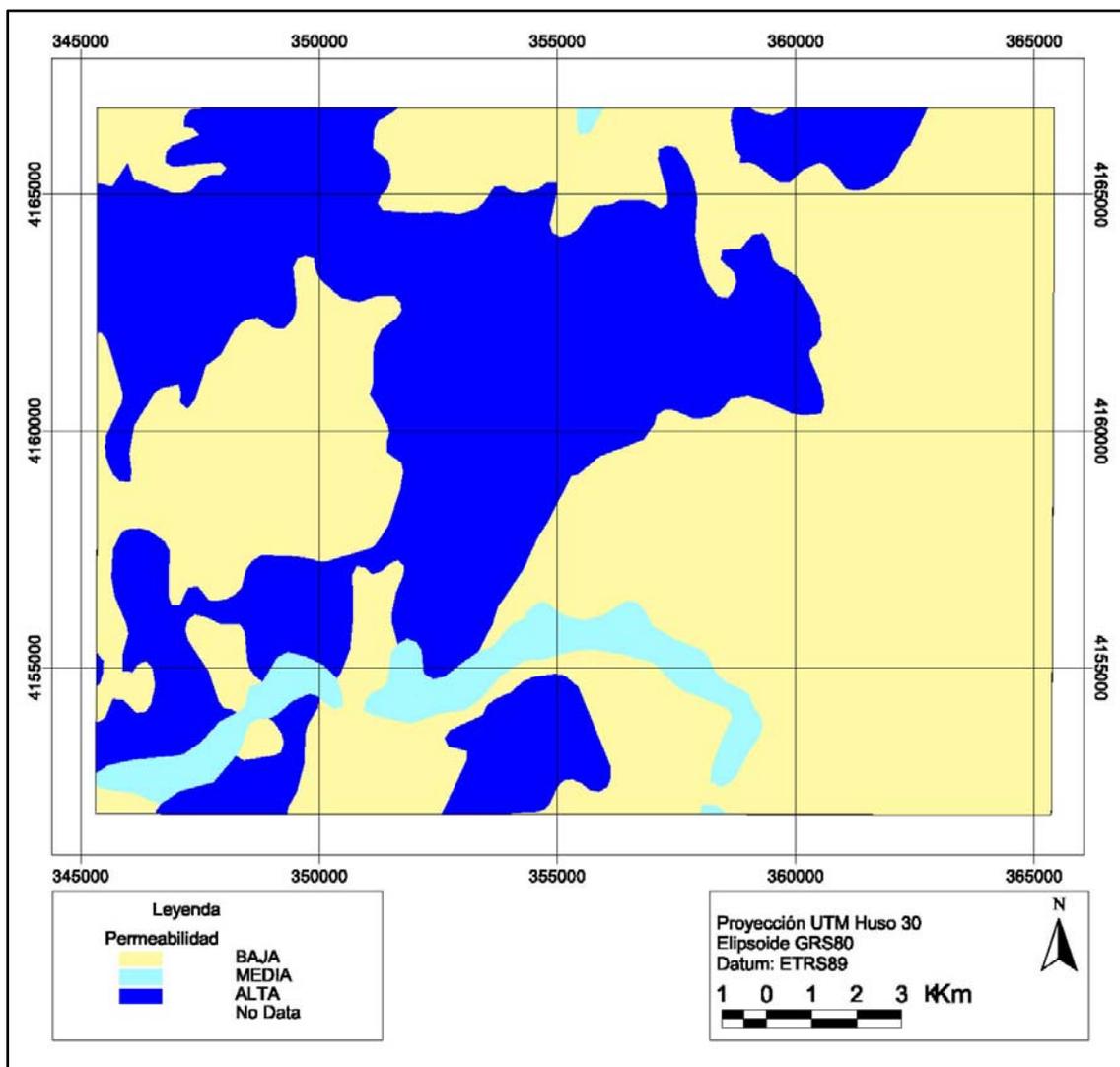


Fig. 1.31: Permeabilidad de los materiales de la zona de estudio (CMA, 2009b).

1.11.1.10. Climatología.

El clima es una síntesis de factores atmosféricos, determinados por la latitud, altitud, vientos dominantes e influencia marina. Es importante recordar la diferencia altimétrica existente en el territorio estudiado, que se manifiesta en forma de menores temperaturas y mayor precipitación a mayor altitud. Los valores obtenidos de aplicar el modelo termopluviométrico de regresión (Sánchez-Palomares *et al.*, 1999), se someten a un tratamiento y se obtienen las isolíneas.

a) **Precipitaciones.** El área de estudio se caracteriza por una distribución irregular de las precipitaciones, valores del índice de concentración de las precipitaciones entre 10 y 11, con máximos pluviométricos en los meses de noviembre a marzo y mínimos en los meses de verano. En el periodo de lluvias predominan los vientos del oeste procedentes del Atlántico, que traen masas de aire cargadas de humedad, lo que explica la mayor pluviometría. Esta influencia oceánica se hace patente al calcular el índice de Gorezynski (1920), con valores entre 15 y 17, lo que sitúa nuestra zona, según Font Tullot (1983), en una franja intermedia entre la clara oceanidad (valores <10) y la continentalidad extrema (valores >30).

Las precipitaciones anuales oscilan entre los 519 mm y los 707 mm, los valores mayores (a partir de 600 mm) se localizan en la Sierra de Montilla y noroeste del área de estudio (Fig. 1.32). El número anual de días de lluvia oscila entre 40-60 días en la zona noroeste y 60-70 días en el resto del área de estudio (CMA, 2009d).

b) **Temperatura.** En los meses más calurosos (julio y agosto) se superan los 28°C de temperatura media en las cotas más bajas, por el contrario en el mes más frío del invierno el termómetro ronda entre los 4-8°C en zonas de la Sierra de Montilla. Existe por tanto un contraste estacional importante del régimen térmico (CMA, 2009d).

La determinación del periodo frío se establece en base al criterio de Emberger (1932), que considera aquellos meses en los cuales la temperatura media de las mínimas es inferior a 7 °C. Según esto tenemos un periodo con riesgo de heladas o periodo frío desde noviembre hasta mayo, ambos inclusive. En el extremo opuesto se encuentra el periodo cálido que ocurre al subir por encima de los 30°C, en nuestro caso, de junio a septiembre.

c) **Evapotranspiración.** La evapotranspiración potencial se calcula mediante el método de Thornthwaite (1948), a partir de los datos de temperatura, resultando valores totales entre 814 mm y 931 mm.

Clasificación climática de Thornthwaite (1948).

Según los valores de evapotranspiración calculados y el índice hídrico (I_m) calculado a partir del índice de humedad (I_h) y el índice de aridez (I_a) (Fig. 1.33) y siguiendo los 4 criterios, la zona de estudio se caracteriza por:

- Índice hídrico (I_m), con valores comprendidos entre 5,2 y -30, lo que se traduce en 3 regiones: subhúmeda (C_2), para $I_m > 0$, seca subhúmeda (C_1) con $0 < I_m < -20$ y semiárida (D) para valores de $I_m < -20$ y -30 (Fig. 1.34).

- Según la eficacia térmica, en función de la evapotranspiración potencial, el régimen es Mesotérmico III (B'_3) (Fig. 1.34).

- En función de la variación estacional de la humedad: cuando $I_m > 0$, el $I_a > 33,3$, falta de agua grande en verano (s_2) y cuando $I_m < 0$, el exceso de agua según los valores de I_h puede ser pequeño (d), moderado en invierno (s) y grande en invierno (s_2).

- Según la concentración estival de la eficacia térmica, la evapotranspiración potencial de los meses de julio, agosto y septiembre, respecto del total del año tiene valores entre 50,2 y 50,65 (b'_4).

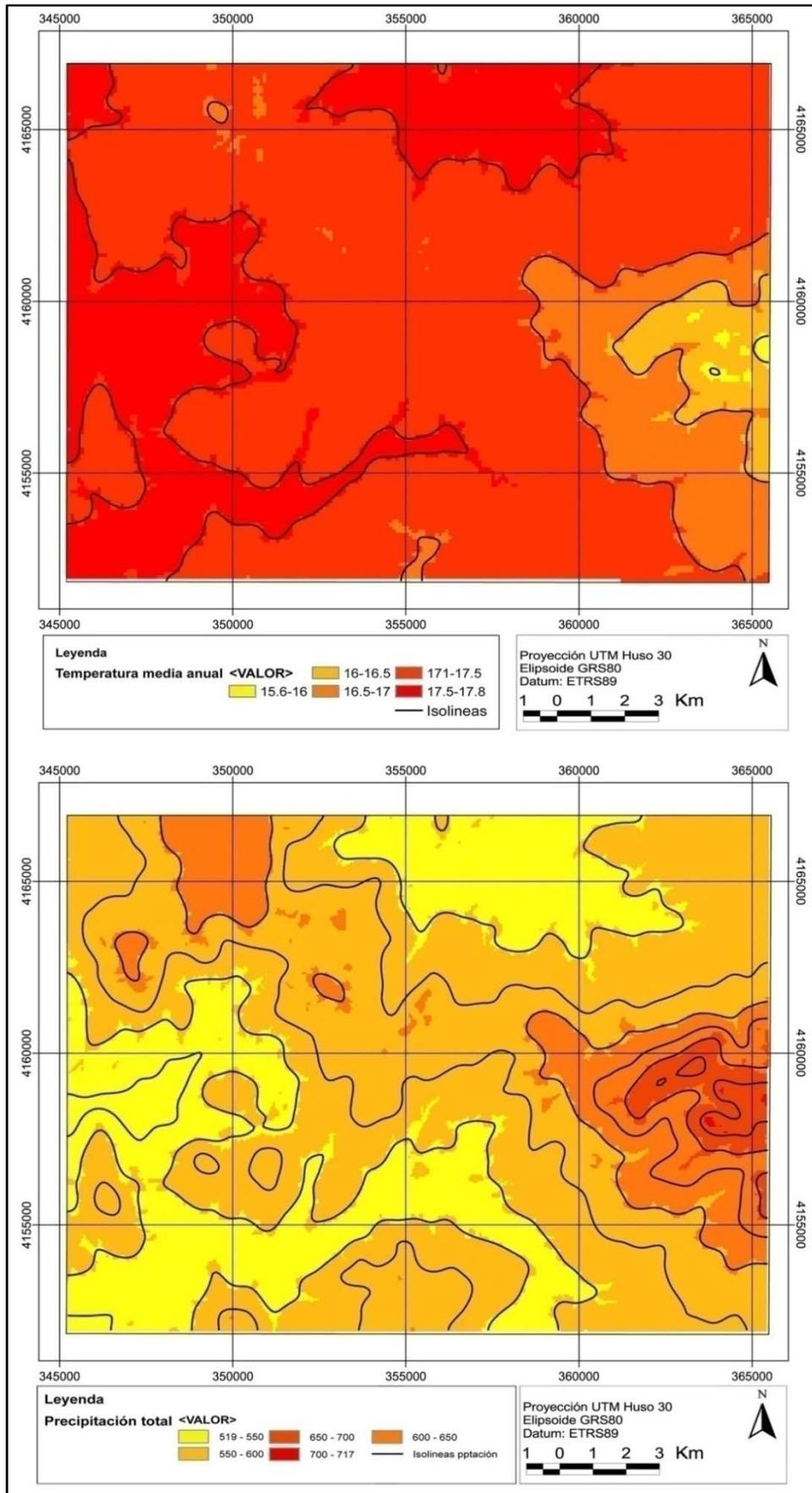


Fig. 1.32: Temperatura media anual y precipitaciones totales en el área de estudio.

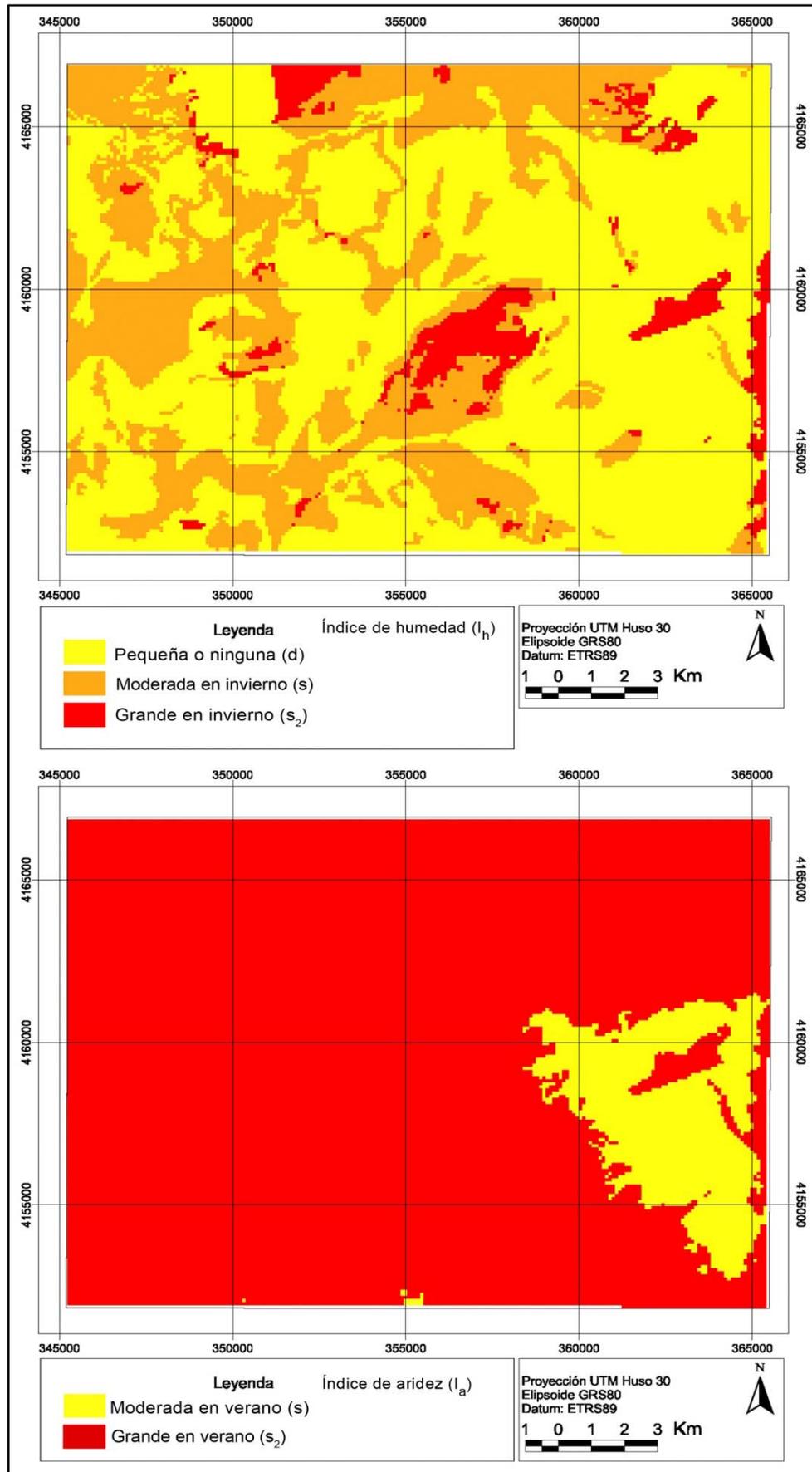


Figura 1.33: Índice de humedad (I_h) e índice de aridez (I_a), según Thornthwaite.

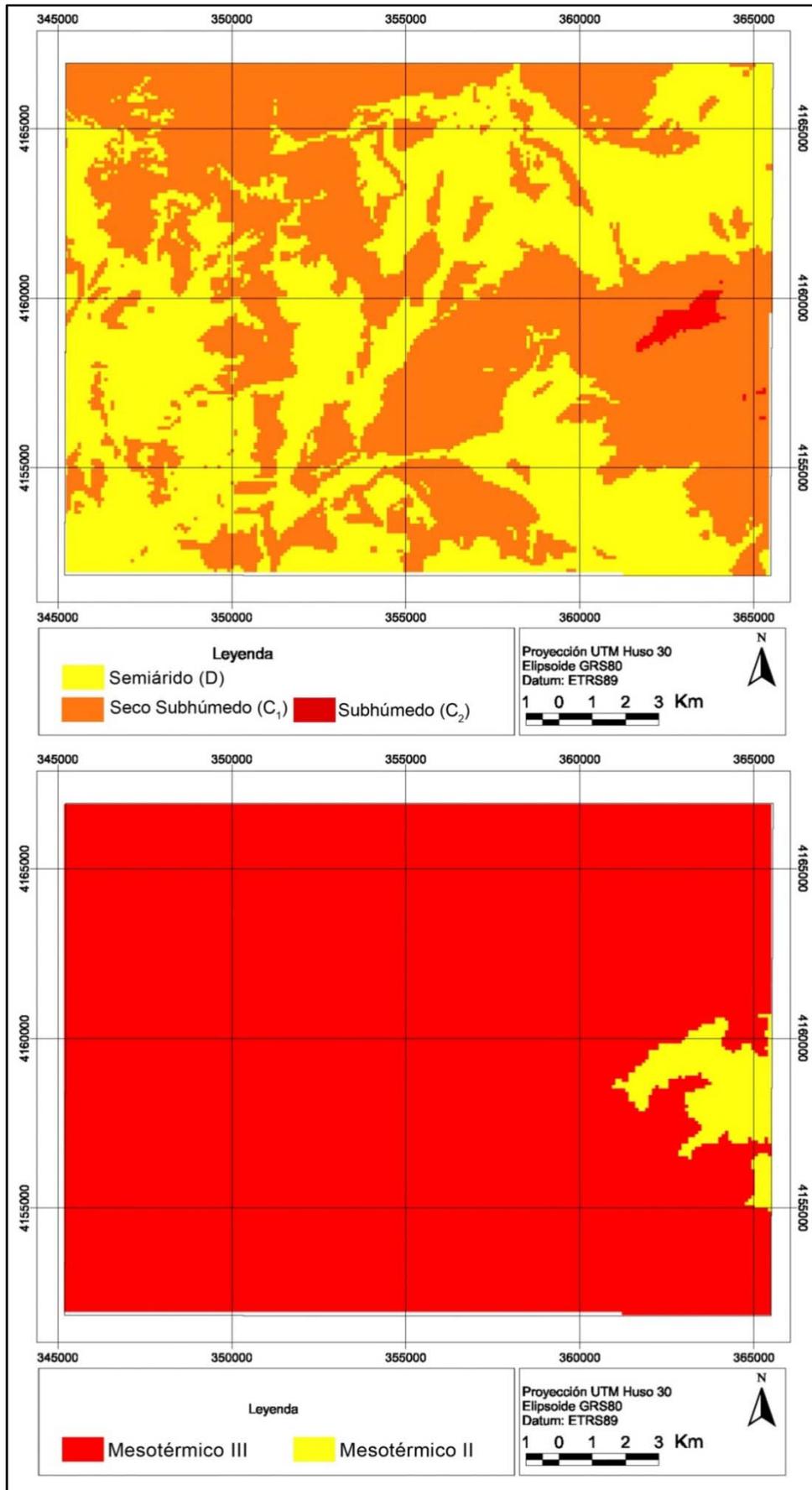


Fig. 1.34: Índice hídrico y clasificación climática de Thornthwaite según la eficacia térmica.

1.11.2. Medio biótico.

1.11.2.1. Vegetación.

La vegetación la podemos dividir en vegetación potencial y actual.

a) Vegetación potencial.

El área de estudio se encuentra incluida, según la tipología Biogeográfica, en la Región Mediterránea. Esta Región ocupa la mayoría de la Península Ibérica, con excepción de la franja Cantábrica, que constituye la Región Eurosiberiana (Fig. 1.35). Según Rivas-Martínez (1987), al margen de las diferencias florísticas evidentes, el mejor factor que las separa es el ombroclima, existiendo en la Región Mediterránea un periodo más o menos largo de aridez o sequía estival ($P < 2T$).

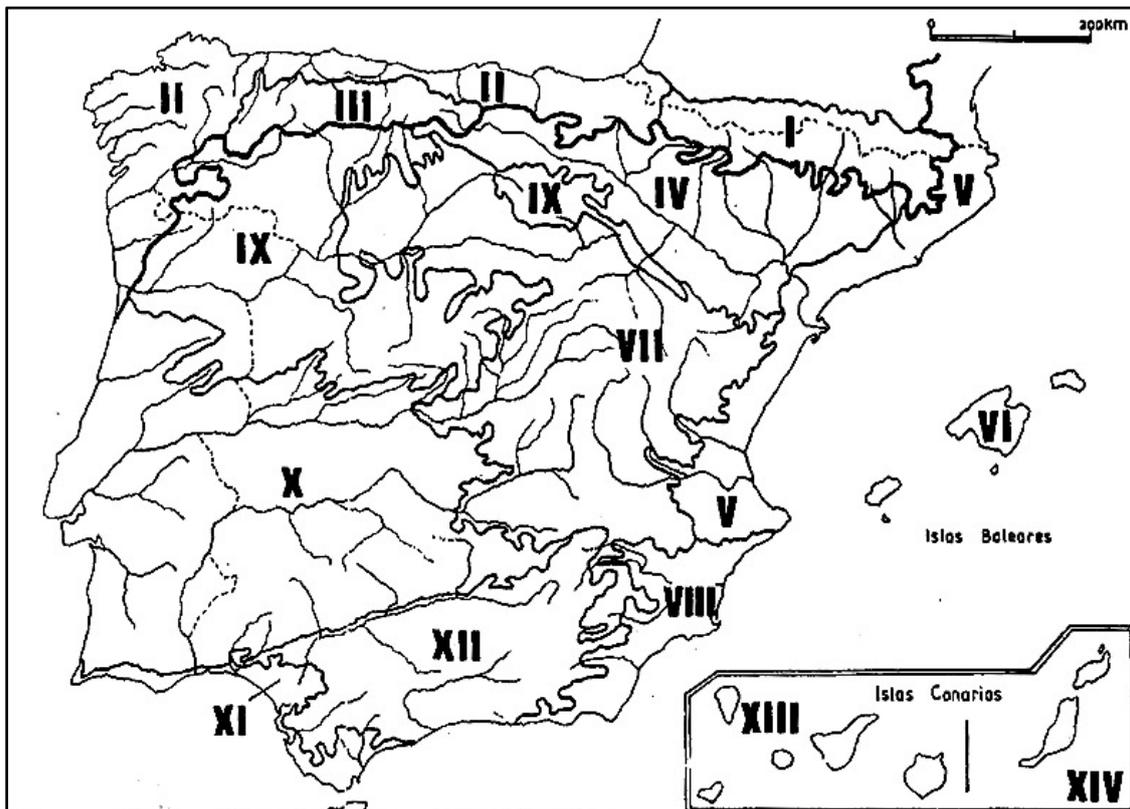


Fig. 1.35: Regiones Biogeográficas de España y Portugal (Península Ibérica, Baleares y Canarias). Región Eurosiberiana, I: Pirenaica. II: Cántabro-Atlántica. III: Orocantábrica. Región Mediterránea. IV: Aragonesa. V: Catalano-Valenciano-Provenzal. VI: Balear. VII: Castellano-Maestrazgo-Manchega. VIII: Murciano-Almeriense. IX: Carpetano-Ibérico-Leonesa. X: Luso-Extremadurensis. XI: Gaditano-Onubo-Algarviense. XII: Bética. Región Macaronésica. XIII: Canaria Occidental. XIV: Canaria Oriental (Rivas-Martínez, 1987).

Ahondando en la tipología Biogeográfica, la zona estudiada se encuentra en la Región Mediterránea, Subregión Mediterránea Occidental, Superprovincia Mediterraneo-Iberoatlántica, Provincia Bética, Sector Hispalense.

En la zona de estudio existen dos Pisos Bioclimáticos: Piso Mesomediterráneo y Piso Termomediterráneo, cuyas características se muestran en la tabla 1.7.

Piso Bioclimático	Características	Subpisos	It
Mesomediterráneo	T= 17-19 °C m= -1 a -4 °C M= 9-14 °C It= 210-350	Superior	211-260
		Medio	261-300
		Inferior	301-350
Termomediterráneo	T= 17-19 °C m= 4 a 10 °C M= 9-14 °C It= 210-350	Superior	351-410
		Inferior	411-470

Tabla 1.7: Pisos Bioclimáticos del área estudiada (Rivas-Martínez, 1985).

Se encuentran las siguientes series de vegetación potencial, siendo las dos primeras series climatófilas y la tercera edafófila:

- Serie mesomediterranea bética, marianense y araceno-pacense basófila de *Quercus rotundifolia* o encina (*Paeonio coriaceae-Querceto rotundifoliae sigmetum*). Faciación termófila bética con *Pistacia lentiscus*. Se corresponden en su etapa madura o clímax a un bosque denso y de talla elevada de encinas que en ocasiones puede albergar otros árboles, tales como quejigos (*Quercus faginea*) en zonas algo más húmedas o acebuches (*Olea europea subsp. sylvestris*) en zonas más cálidas. Posee un sotobosque arbustivo en general no muy denso con especies tales como lentisco (*Pistacia lentiscus*), cornicabra (*Pistacia terebinthus*), durillo (*Viburnum tinus*), coscoja (*Quercus coccifera*), matagallos (*Phlomis purpurea*), jara blanca (*Cistus albidus*), tomillo (*Thymus mastichina*) y otras (Fig. 1.36).

- Serie termomediterranea bético-algarviense seco-subhúmedo-húmeda basófila de *Quercus rotundifolia* o encina (*Smilaci mauritanicae-Querceto rotundifoliae sigmetum*). VP, encinares. Los bosques que representan la cabeza de serie o clímax de esta biogeocenosis tienen como árbol dominante la encina (*Quercus rotundifolia*), pero albergan un buen número de acebuches (*Olea europea subsp. sylvestris*), así como en biótotos rupestres algarrobos (*Ceratonia siliqua*) o en ciertas depresiones y umbrías frescas quejigos. De estas etapas maduras restan pocos vestigios, ya que el alto valor agrícola de los suelos ha supuesto casi su desaparición.

- Megageoseries riparias mediterráneas y regadíos. Se hallan en suelos con hidromorfía temporal o permanente debido a escorrentías o afloramientos y se corresponden con bosques de galería de fresnos, sauces, alisos, chopos y adelfares.



Fig. 1.36: Algunas de las especies vegetales existentes en el área estudiada: A: *Pistacia lentiscus*; B: *Quercus coccifera*; C: *Phlomis purpurea*; D: *Cistus albidus*; E: *Quercus rotundifolia*.

b) Vegetación actual.

La vegetación actual, dado el gran interés agronómico del territorio, queda relegada a pequeñas formaciones y muchas veces transformadas. En ocasiones se reducen a lindazos de vegetación relativamente densos y otras a pies aislados de encinas. La descripción de esta vegetación natural actual queda resumida en la tabla 1.8, señalándose los diferentes hábitats y el área que ocupan (MAGRAMA, 2005).

Según el RD 1997/1995, de 7 de diciembre (BOE, 1995), por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y la flora silvestres, que traspone al ordenamiento español la Directiva 92/43/CEE (DOCE, 1992), la relación de Hábitats de Interés Comunitario, presentes en la zona de estudio son:

9340: encinares de *Quercus rotundifolia* (Paeonio coriaceae-Quercetum rotundifoliae Rivas-Martínez, 1964), en los Cerros de Don Juan y Cerro Macho.

92A0: bosques de galería de *Salix alba* y *Populus alba*, con olmedas Opopanaco chironii-Ulmetum minoris, Bellot y Ron (Bellot *et al.*, 1979) y alamedas [Populion albae Br.-Bl. (Tchou, 1948)]. Se localizan en el Río Cabra, Arroyo Benavente, Arroyo de la Carchena, Arroyo Lucena, Arroyo Riofrío, Arroyo Lucena y Arroyo de la Chata.

92D0: Galerías y matorrales ribereños termomediterráneos (Nerio-Tamaricetea y Securinegion tinctoriae), en el Río Cabra y Arroyo Benavente.

5330: Matorrales termomediterráneos y preestépicos. Tomillares [Eryngio-Ulicion erinacei (Rothmaler, 1943)] y coscojales [Asparago albi-Rhamnetum oleoidis Rivas Goday, (Rivas Goday *et al.*, 1960) y Bupleuro gibraltarici-Pistacietum lentisci (Martínez-Parras *et al.*, 1986)], que se localizan en Cerro de Don Juan y Cerro Macho, Lagar Blanco y Molino de Jorgillo.

Ninguno de los hábitats anteriores son prioritarios, no están incluidos en los LIC (Lugares de Interés Comunitario) ni ZEC (Zonas de Especial Conservación) de la Red Natura 2000.

Nombre Hábitat	Nombre Común	Código	Descripción	Área (ha)
Populion albae (Tchou, 1948) (saucedas y choperas)	Alamedas albares	92A0	Bosques galería de <i>Salix alba</i> y <i>Populus alba</i>	1.36
Artemisio glutinosae-Santolininetum canescentis (Peinado y Martínez-Parras, 1984)	Bolinares malacitano-almijarenses y subbéticos			47.92
Typho-Schoenoplectetum glauci (Braun-Blanquet y Bolòs, 1958)	Carrizales con cirpo lacustre			37.66
Asparago albi-Rhamnetum oleoidis Rivas Goday (Rivas Goday <i>et al.</i> , 1960)	Coscojares o lentiscares acidófilos ibéricos suroccidentales	5330	Matorrales termomediterráneos y pre-estépicos	0.55
Paeonio coriaceae-Quercetum rotundifoliae (Rivas-Martínez 1965)	Encinares basófilos béticos con peonías	9340	Encinares de <i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus rotundifolia</i>	8.95
Opanaco chironii-Ulmetum minoris (Bellot <i>et al.</i> , 1979)	Olmedas ibéricas orientales	92A0	Bosques galería de <i>Salix alba</i> y <i>Populus alba</i>	0.39
Lonicero hispanicae-Rubetum ulmifolii (Rivas-Martínez <i>et al.</i> , 1980)	Zarzales con madreelvas termo- mesomediterráneos lusitano-andaluces litorales y luso-extremadurenses			18.22
Comunidad de Tamarix africana	Tarayales de <i>Tamarix africana</i>	92D0	Galerías y matorrales ribereños termomediterráneos (<i>Nerio- Tamaricetea</i> y <i>Securinegion tinctoriae</i>)	1.16
Teucro lusitanici-Coridothymetum capitati (Asensi y Díez-Garretas, 1989)	Tomillares termo-mediterráneos secos hispalenses de <i>Thymbra capitata</i>	5330	Matorrales termomediterráneos y pre-estépicos	0.01
	Total		Total	116.22

Tabla 1.8: Hábitats presentes en la zona de estudio (MAGRAMA, 2005)

1.11.2.2. Fauna.

La Fauna forma parte del patrimonio natural de cualquier región, y su conservación es pieza clave, junto con la flora, de las políticas de planificación y ordenación territorial.

Zoogeográficamente, la fauna de la zona de estudio pertenece a la región Mediterránea. Los usos del territorio, sobre todo los cultivos, por encima de la geomorfología, hidrología y vegetación, son el principal elemento que determina la presencia de una u otra especie. De forma que se pueden diferenciar: fauna de los terrenos forestales, fauna de los campos de cultivos y fauna de los cursos fluviales.

Fauna de los terrenos forestales, se localiza en el Cerro Don Juan y El Macho. En estos hábitats, la presencia del estrato arbóreo y arbustivo mantiene elevadas densidades de aves insectívoras en mayor número que granívoras. Destacan la presencia de especies como la oropéndola (*Oriolus oriolus*), picogordo (*Coccothraustes coccothraustes*), petirrojo (*Erithacus rubecula*), curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*), pinzón común (*Fringilla coelebs*), mosquitero común (*Phylloscopus collybita*), arrendajo (*Garrulus glandarius*), carbonero común (*Parus major*), mito (*Aegithalos caudatus*) y herrerillo común (*P. caeruleus*). En matorrales de lentiscos, acebuches y mirtos destaca a curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*), curruca cabecinegra (*Sylvia melanocephala*), mirlo (*Turdus merula*) y zorzales (*Turdus philomelos*), debido a la gran disponibilidad de frutos carnosos. En cuanto a las rapaces destacan, águila calzada (*Hieraetus pennatus*), ratonero común (*Buteo buteo*), búho chico (*Asio otus*) (Fig. 1.37.B), mochuelo europeo (*Athene noctua*) (Fig. 1.37.C) y águila culebrera (*Circaetus gallicus*). Los mamíferos presentes van desde el zorro (*Vulpes vulpes*) hasta el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*) y otros como el murciélago común (*Pipistrelus pipistrelus*), musaraña común (*Crocidura russula*), topillo (*Pytimis duodecimcostatus*), erizo (*Erinaceus europaeus*) y conejo (*Oryctolagus cuniculus*), que encuentra además refugio en estos lugares. Los reptiles destacables son el lagarto ocelado (*Lacerta lepida*) y la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*).

Fauna de los terrenos cultivados, debido a la escasa complejidad estructural de este medio, resulta comparativamente simple, con grandes diferencias de número de especies entre estaciones, destacando la presencia de jilgeros (*Carduelis carduelis*) y bisbitas (*Anthus pratensis*), como especies dominantes en invierno, acompañadas en menor medida por verdecillos (*Serinus serinus*), pardillos (*Carduelis cannabina*) y verderones (*Carduelis chloris*), lavanderas blancas (*Motacilla alba*), zorzales (*Turdus philomelus*) y estorninos (*Sturnus vulgaris*). Especies menos frecuentes son el alcaraván (*Buhinus oedictemus*), críalo (*Clamator glandarius*), carraca (*Coracias garrulus*), abubilla (*Upupa*

epops) y abejaruco (*Merops apiaster*). En la época reproductiva y verano hay que señalar a cogujadas (*Galerida cristata*), trigueros (*Miliaria calandra*) y perdiz roja (*Alectoris rufa*) (Fig. 1.37.D) como especies sobresalientes. Las rapaces ligadas a cultivos herbáceos de secano son el cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*) y aguilucho cenizo (*Circus pygargus*), anidando el primero en postes eléctricos de manera frecuente y el segundo en el suelo en pastizales o campos de cereal. En cuanto a los mamíferos son especies muy importantes el conejo (*Oryctolagus cuniculus*) y la liebre (*Lepus capensis*), desde un punto de vista cinegético y como causantes de daños a la agricultura debido a grandes densidades en ciertas zonas hace unos años. Estas poblaciones han disminuido significativamente debido a una nueva cepa del virus causante de la hemorragia vírica (Fig. 1.37.E). Otras minoritarias como el topillo (*Pitymys duodecimuscostatus*) y el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*) son especies muy adaptables en parte por su alimentación poco específica. Es relativamente frecuente observar en cultivos de olivar reptiles tales como el lagarto ocelado (*Lacerta lepida*), algunos de tamaño considerable y la culebra de escalera (*Rhinechis scalaris*).

Fauna asociada a cauces fluviales. Hay de señalar que el río Cabra es el único que mantiene un caudal permanente de cierta importancia durante todo el año, los demás, prácticamente se quedan sin agua en verano. Así pues la ictiofauna sólo está presente en este río, estando representada por el barbo (*Barbus bocagei*) y en menor medida el cachuelo (*Squalius pyrenaicus*) y la colmilleja (*Cobitis palúdica*), que prefiere sustratos arenosos. Los bosques de galería de olmos y álamos albergan gran cantidad de paseriformes y otras aves que encuentran aquí un buen lugar para la reproducción o alimentación, como es el caso de ánade real (*Anas platyrhynchos*), avefría (*Vanellus vanellus*), cigüeñuela (*Himantopus himantopus*), garza real (*Ardea cinerea*) y garcilla bueyera (*Bubulcus ibis*) en orillas arenosas del arroyo del Salado. Anfibios como el sapo común (*Bufo bufo*) (Fig. 1.37.A), culebra de escalera (*Rhinechis scalaris*) y galápago leproso (*Mauremys caspica*) frecuentan este hábitat.

Hay que destacar la presencia de otras especies de aves como el cuervo (*Corvus corax*), grajilla (*Corvus monedula*), cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*), gaviota sombría (*Larus fuscus*), milano negro (*Milvus migrans*) y busardo ratonero (*Buteo buteo*) que frecuentan las inmediaciones del vertedero de residuos sólidos urbanos de Montalbán, algunos de ellos en un número muy considerable, especialmente en verano.

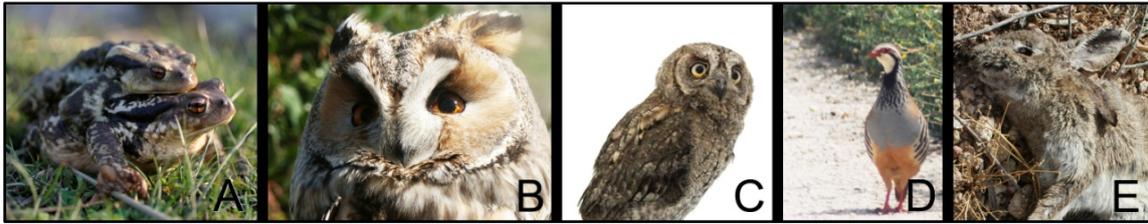


Fig. 1.37: Ejemplares de especies de fauna presentes en el área estudiada. A: Sapo común (*Bufo bufo*), B: Búho chico (*Asio otus*), C: Mochuelo europeo (*Athene noctua*), D: Perdiz roja (*Alectoris rufa*) y E: Conejo afectado por hemorragia vírica (*Oryctolagus cuniculus*).

1.11.3. El paisaje rural y los usos del suelo.

Los paisajes rurales pueden ser muy distintos según las características físicas o abióticas del territorio (relieve y fisiografía, suelos, etc.), climatología, técnicas de cultivo empleadas, el régimen de propiedad, (latifundios, minifundios, propiedades colectivas) y la propia orientación económica, que determina el tipo de agricultura desarrollada, diferenciándose una agricultura de subsistencia, extensiva, intensiva, etc.

Hay que tener en cuenta también que una zona rural incluye, no sólo el área puramente agrícola, sino también las pequeñas poblaciones y las áreas de explotación forestal (De Bolós, 1992).

La clasificación de los paisajes rurales puede ser extensa y detallada, pero centrándonos en la zona que nos ocupa debemos definirla, según De Bolós (1992) como un paisaje rural mediterráneo (Fig. 1.38), caracterizado por un clima con marcada irregularidad en las lluvias y respecto a las formas de cultivo con una presencia de policultivos de secano, algunas zonas de monocultivo de secano y en menor medida, zonas de regadío.



Fig. 1.38: Paisaje rural Mediterráneo. Panorámica de los cultivos de secano del sureste de la zona de estudio, en primer plano viñedos y al fondo la Sierra de Montilla.

En cuanto a los usos del suelo actuales (2005), según Martín-Carrillo (2009), la zona estudiada es agrícola en su mayoría (un 93% de la superficie en 2005), en el que el olivar es el cultivo principal (56%), seguido de herbáceos

(21%) y viñedo (16%). Estos usos han ido cambiando en superficie total y localización desde 1956 y han continuado en 1984 y 2005 (Tabla 1.9).

Las superficies edificadas y/o alteradas han ido aumentando en estos años, como consecuencia de la mejora de las infraestructuras y redes de comunicación, el aumento del tejido industrial y la mecanización agrícola, que conlleva la construcción de naves y residencias de tipo agrícola.

Los terrenos forestales, en los años considerados, disminuyen en el periodo 1956-1984 en un 14% y en el periodo 1984-2005 aumentan en un 5%. Las causas son la sustitución de dichos terrenos por cultivos agrícolas y el abandono de algunos de ellos sumado al incremento en la superficie de los existentes, respectivamente.

En cuanto a los terrenos agrícolas, destacar que el viñedo en el año 1956 ocupaba una superficie de 5500 ha, aumenta hasta los 8811 ha en 1984 y disminuya en 2005 hasta los 5550 ha. Este aumento en el periodo 1956-1984 tiene como efecto no deseable que los viñedos se ubicaban en lugares poco idóneos y dado que ese fenómeno se había detectado años atrás, el Ministerio de Agricultura publica la cartografía de los municipios de la Denominación de Origen Montilla-Moriles, en donde se describe el clima, los suelos y se delimitan los mejores terrenos y dónde no se deben plantar los viñedos bajo ningún concepto, definiéndose para ello 5 clases de suelos: de 1ª y 2ª clase (viñedos de calidad), 3ª clase (suelos vulgares para viñedo), 4ª clase (no se deben poner viñedos) y 5ª clase (no se pueden poner viñedos). Esta información gráfica ayuda a la plantación en lugares adecuados de viñedos (García del Barrio *et al.*, 1980). En la actualidad algunos términos municipales (como el de Monturque) recogen esta división de calidades de suelo agrícola y así lo reflejan en sus Planes Generales de Ordenación Urbana (BOJA, 2008).

La localización se los distintos usos del suelo de los años 1956, 1984 y 2005 pueden verse a continuación (Fig. 1.39, 1.40 y 1.41).

Usos del suelo (1956)	Área (ha)	Área (%)
Superficies edificadas y/o alteradas	418.91	1.25
Zonas húmedas y superficies de agua continental	196.08	0.58
Terrenos agrícolas: herbáceos	10257.18	30.52
Terrenos agrícolas: olivar	16924.42	50.36
Terrenos agrícolas: viñedo	5506.22	16.38
Terrenos forestales y/o naturales	304.41	0.91
Total	33607.21	100.00
Usos del suelo (1984)	Área (ha)	Área (%)
Superficies edificadas y/o alteradas	854.96	2.54
Zonas húmedas y superficies de agua continental	292.72	0.87
Terrenos agrícolas: herbáceos	11497.42	34.21
Terrenos agrícolas: olivar	11889.85	35.38
Terrenos agrícolas: viñedo	8811.84	26.22
Terrenos forestales y/o naturales	260.41	0.77
Total	33607.21	100.00
Usos del suelo (2005)	Área (ha)	Área (%)
Superficies edificadas y/o alteradas	1570.98	4.67
Zonas húmedas y superficies de agua continental	336.24	1.00
Terrenos agrícolas: herbáceos	7113.71	21.17
Terrenos agrícolas: olivar	18746.76	55.78
Terrenos agrícolas: viñedo	5550.98	16.52
Terrenos forestales y/o naturales	288.55	0.86
Total	33607.21	100.00

Tabla 1.9: Usos del suelo de la zona estudiada para los años 1956, 1984 y 2005 (Martín-Carrillo, 2009).

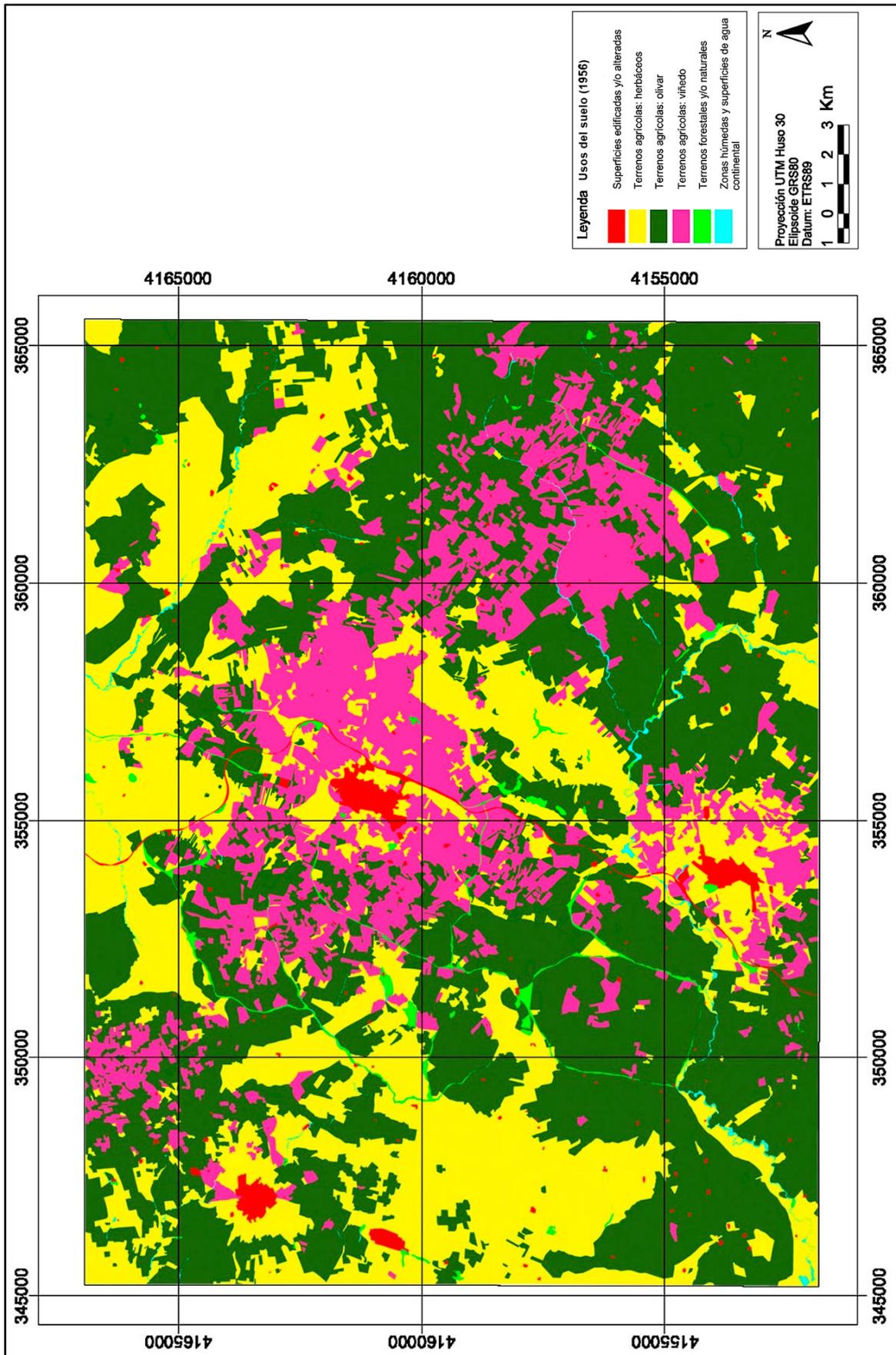


Fig. 1.39: Usos del suelo de la zona de estudio en el año 1956 (Martín-Carrillo, 2009).

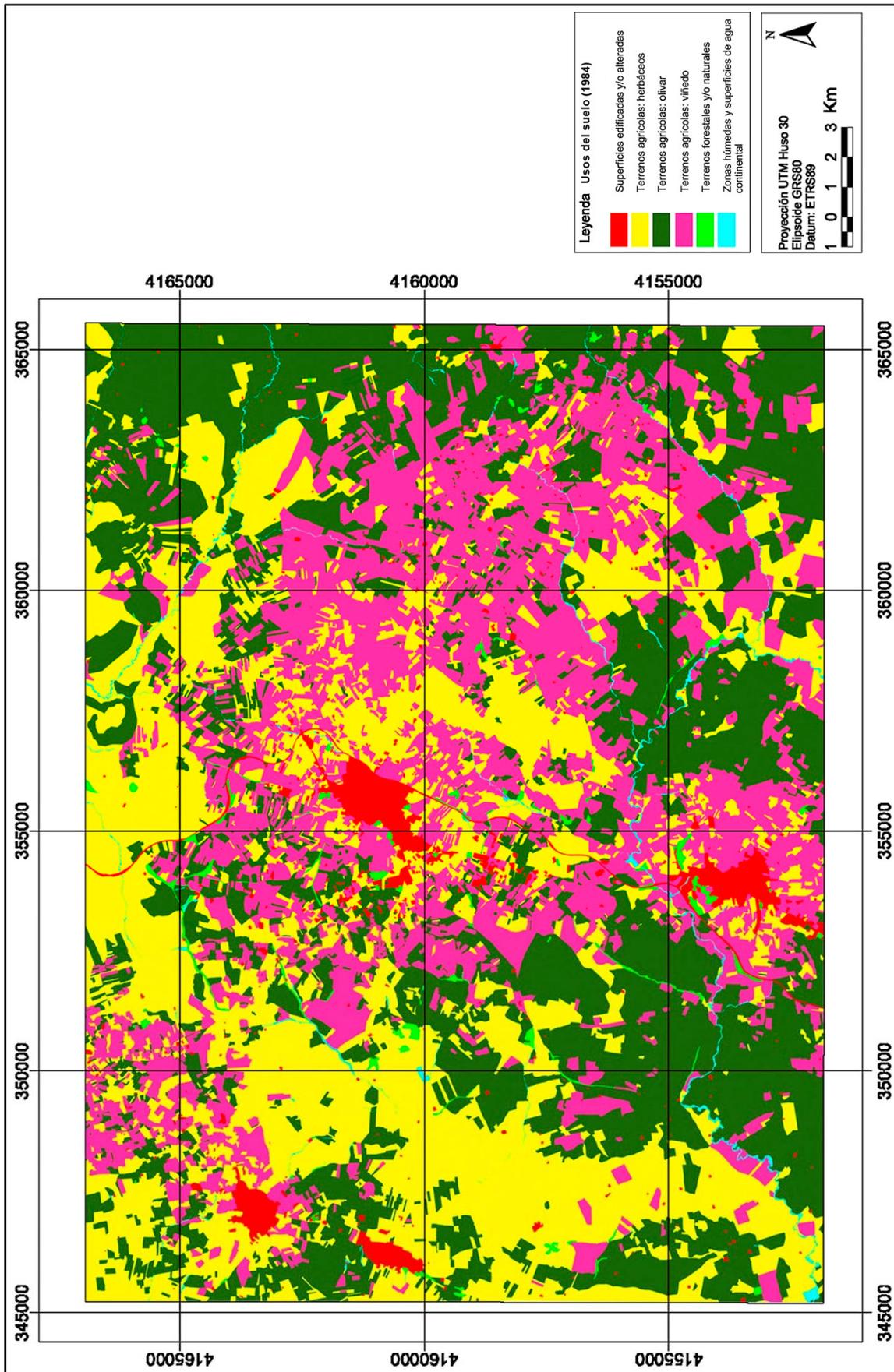


Fig. 1.40: Usos del suelo de la zona de estudio en el año 1984.

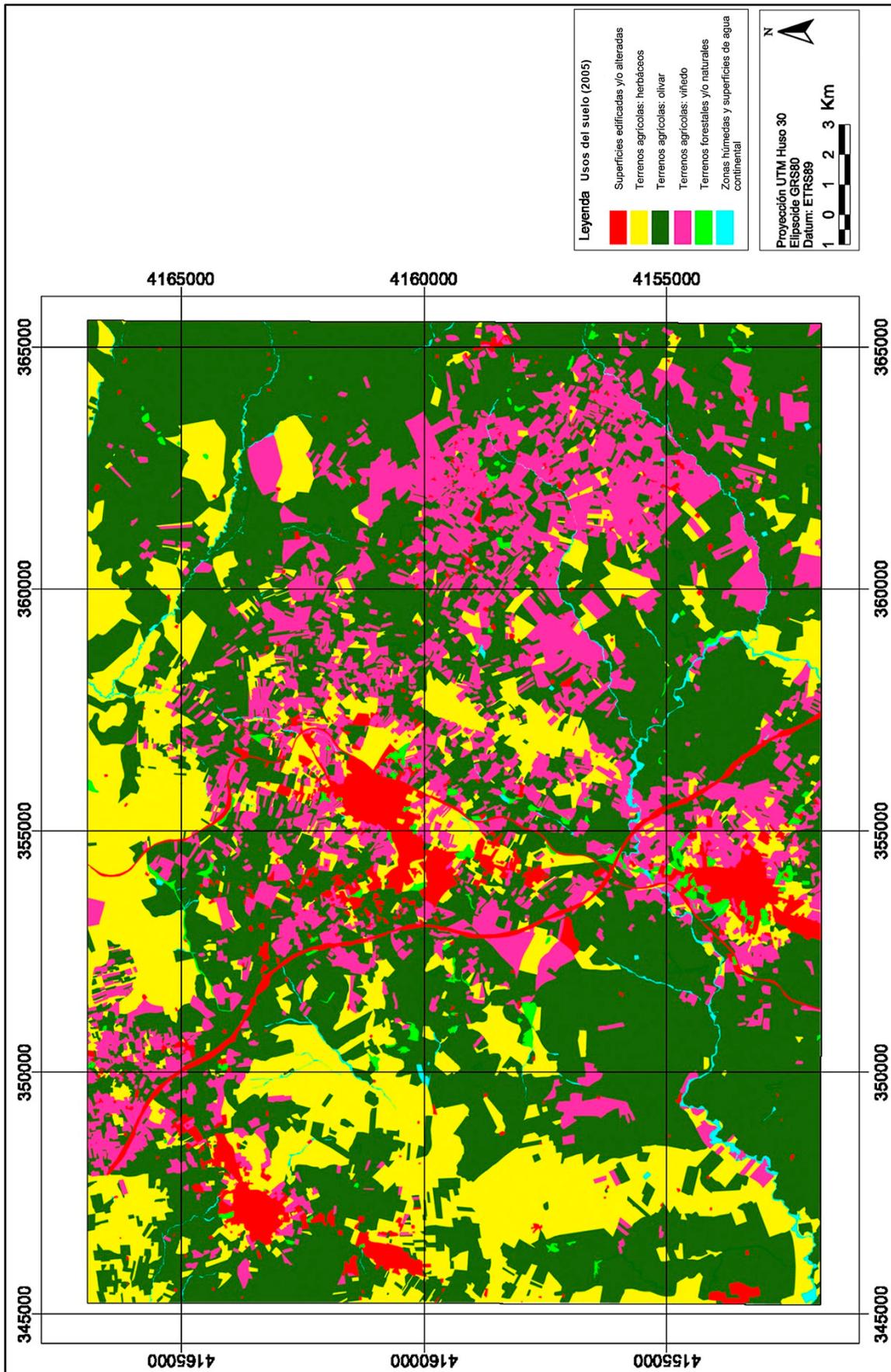


Fig. 1.41: Usos del suelo de la zona de estudio en el año 2005 (Martín-Carrillo, 2009).

2. Material y métodos.

2.1. Cartografía geocientífica.

La elaboración de la cartografía geocientífica conlleva la delimitación de unidades homogéneas, con características similares, para poder reseñar la información inventariada. Para ello en la totalidad de la superficie de estudio se realiza una división progresiva del territorio en ámbitos de menor extensión y definidos cada vez con mayor precisión en función de los factores implicados. Estos factores diferenciadores son el clima, la litología, la morfogénesis del relieve, los procesos erosivos, la vegetación, los suelos y los usos antrópicos. Este método representa una clasificación geocientífica del territorio donde se integran los diferentes parámetros que condicionan su estructura y dinámica (Parras *et al.*, 2000). Por lo que respecta a la denominación de las distintas categorías taxonómicas se ha adoptado la de Ambientes y Sistemas (Díaz de Terán, 1985), añadiéndole los rangos de Subsistemas Fisiográficos y Unidades Ambientales debido a la escala de trabajo (Tabla 2.1).

Christian y Steward (1968)	Land System	Land Unit	Land Facet	
González-Bernáldez y Díaz-Pineda (1973)		Unidad Ambiental		
Van Zuidam (1976)	Sistema de Tierra	Unidad de Tierra	Componente de Tierra	
De la Rosa y Moreira (1987); Moreira (1991)	Sistema de Tierra	Unidad Geomorfoedáfica		
Ibarra (1991)	Unidad de Paisaje	Unidad Ambiental		
Núñez (1998)	Conjunto Ambiental	Unidad Ambiental		
Parras (2000)	Ambiente	Sistema	Subsistema Fisiográfico	Unidad Ambiental

Tabla 2.1: Esquema general de la equivalencia entre los diversos sistemas de clasificación empleados por distintos autores.

La delimitación de las unidades homogéneas es el último paso de la Cartografía Temática-Geocientífica, siguiendo de manera progresiva distintas subdivisiones desde los Ambientes, pasando por Sistemas, Subsistemas Fisiográficos y llegando finalmente a las Unidades (Fig. 2.1).

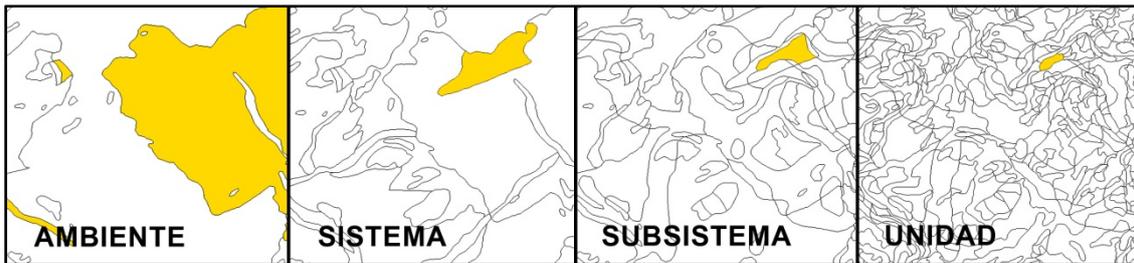


Fig. 2.1: Relación escalar entre Ambiente (Conjunto alóctono de la cuenca del Guadalquivir), Sistema (Cerros estructurales), Subsistema (Ladera de fuerte pendiente) y Unidad (Olivar).

Ambiente: constituye el rango taxonómico de primer orden. Los criterios que se utilizan son la variación de la altitud, que determina la existencia de diferentes pisos bioclimáticos y ombroclimas que condicionan los procesos de edafogénesis, distribución de la vegetación y los usos del suelo.

Sistema: constituye la subdivisión de segundo orden que representa los diferentes sectores en los que se dividen los Ambientes. Se define como el ámbito litológico y geomorfológico cartografiable a escala 1:50000 y comparten rasgos topográficos, morfoestructurales o morfodinámicos similares destacando aquellos aspectos que más inciden en la Capacidad de Uso del suelo y en la calidad para la conservación. En el contexto de la secuencia cartográfica, el mapa de Sistemas tiene la finalidad de destacar los aspectos topográficos, geológicos y geomorfológicos que presentan una contribución mayor en las limitaciones y potencialidades de uso del territorio.

Subsistemas Fisiográficos: constituyen el rango taxonómico de tercer orden y son subdivisiones de los Sistemas, en este nivel se trata de aumentar la precisión atendiendo a los criterios señalados anteriormente (Sistemas) y a la misma escala (1:50000). Constituyen la fase de reconocimiento en la que se trata de evaluar el suelo, no como un ente aislado, sino reflejando las características morfológicas, físicas y químicas, relacionadas con el clima, el material geológico, la vegetación y la topografía (Sánchez *et al.*, 1984).

Unidades: constituyen divisiones del territorio a escala 1:25000 y mayores, con un mismo comportamiento ecoantrópico. Para su delimitación, los criterios utilizados son abióticos (sustrato, geomorfología, pendiente, altitud, exposición y clima), bióticos (suelo, vegetación y fauna) y antrópicos (usos del suelo).

2.2. Capacidad de Uso.

El método utilizado para el cálculo de la Capacidad de Uso de los suelos del área de estudio ha sido la adaptación del sistema de las clases agrológicas de Klingebiel y Montgomery (1961) realizada por Azevedo y Cardoso (1962), basada en la reducción del número de clases (de ocho a cinco) y en su

denominación (de números romanos a letras). Esta metodología se ha usado con éxito en el Plan de la *Comisión de Planificación y Coordinación el Área Metropolitana* (COPLACO) (González-Bernáldez y Díaz-Pineda, 1973) abarcando la provincia de Madrid y parte de las provincias circundantes; en la ordenación del Parque Natural de Despeñaperros (Parras *et al.*, 2000) y en el Parque Natural Sierras de Cardeña y Montoro (Lozano *et al.*, 2005) entre otros.

La relación entre la clasificación agrológica de Klingebel y Montgomery (1961) y la portuguesa de Azevedo y Cardoso (1962), se muestra en la tabla 2.2.

Clases portuguesas	Clases portuguesas: definición y características	Clases Americanas
A	Pocas o ninguna limitación: sin riesgo de riesgo o con riesgos ligeros; susceptibles de utilización agrícola intensa.	I
B	Moderadas limitaciones: riesgo de erosión moderado; susceptible de utilización agrícola moderadamente intensiva.	II
C	Limitaciones acentuadas: riesgo de erosión elevado; susceptible de utilización agrícola poco intensiva.	III IV
D	Limitaciones severas: riesgo de erosión elevado o muy elevado; no susceptible de utilización agrícola, salvo casos muy especiales; pocas o moderadas limitaciones para pastos, explotación de monte bajo o explotación forestal.	V VI
E	Limitaciones muy severas: riesgo muy elevado; no susceptible de utilización agrícola; severas o muy severas limitaciones para pastos, monte bajo y explotaciones forestales y sirviendo apenas para vegetación para vegetación natural o bosque de protección o regeneración, o no susceptible a cualquier uso.	VII VIII

Tabla 2.2: Comparación entre la clasificación agrológica y la adaptación portuguesa (Sánchez, 1995).

La Capacidad de Uso de cada Unidad Ambiental se ha establecido utilizando la metodología propuesta por Sánchez *et al.* (1995), modificada en algunos aspectos y adaptada al área de estudio. Contempla Clases decrecientes de capacidad desde la Clase A hasta la Clase E, Subclases y Unidades producto de la valoración de los factores limitantes considerados: erosión (e), pendiente (p), espesor efectivo del suelo (x), afloramientos rocosos (r), pedregosidad (g), salinidad (s), alcalinidad (n), propiedades físicas (f), propiedades químicas (q), exceso de agua (h), falta de agua (a), y limitaciones térmicas (c). Estableciéndose en orden jerárquico decreciente las Clases, las Subclases y las Unidades de Capacidad de Uso.

2.2.1. Clases de Capacidad de Uso.

Se define “Clases de Capacidad de Uso” como el conjunto de suelos que poseen las mismas “características primarias” o presentan el mismo grado de limitación y/o riesgos de destrucción semejantes, que pudiera afectar a su uso durante un largo periodo de tiempo. Existen cinco Clases definidas por las letras (en mayúsculas) A, B, C, D y E.

Se denomina “características primarias” a las propiedades del suelo y su entorno favorables para cualquier uso, y son las siguientes: erosión, pendiente, espesor efectivo del suelo, afloramientos rocosos, pedregosidad, salinidad, alcalinidad, propiedades físicas, propiedades químicas, exceso de agua, falta de agua, y limitaciones térmicas.

Las características más importantes de las Clases de Capacidad de Uso son:

- Clase A: son suelos con Capacidad de Uso muy elevada, con pocas o ningunas limitaciones y sin riesgo de erosión o con riesgos ligeros. Son suelos idóneos para la utilización agrícola intensiva y otros usos.

- Clase B: son suelos con Capacidad de Uso elevada y con limitaciones moderadas, caracterizados por tener riesgo de erosión moderado. Son susceptibles de utilización agrícola moderadamente intensa y de otras utilidades. Presenta mayor número de limitaciones y restricciones que los suelos de la Clase A y necesitan una explotación más cuidadosa incluyendo prácticas de conservación más intensivas.

- Clase C: son suelos con Capacidad de Uso media. Presentan limitaciones acentuadas y un riesgo de erosión elevado. Son suelos aptos para ser utilizados desde el punto agrícola poco intensivo además de otros usos. El número de limitaciones y restricciones de uso es mayor que en la clase B, necesitando una explotación más cuidadosa y unas prácticas de conservación más complejas. El número de cultivos y de rotaciones es también más reducido.

- Clase D: son suelos con Capacidad de Uso baja y tienen limitaciones severas, con riesgo de erosión elevado a muy elevado, no siendo susceptibles de utilización agrícola, salvo casos muy especiales. Sin embargo se caracterizan por tener pocas o moderadas limitaciones para pastos, explotación de monte bajo y explotación forestal. Las limitaciones que presenta restringen el número de cultivos, no siendo viable la agricultura y sólo en casos muy excepcionales y en condiciones especiales pueden ser cultivadas durante periodos no muy largos, pero siempre sujetos a grandes restricciones.

- Clase E: son suelos con Capacidad de Uso muy baja, presentan limitaciones muy severas y riesgo de erosión muy elevado. No son aptos para el uso agrícola, además de manifestar severas o muy severas limitaciones para pastos, explotación de monte bajo y explotación forestal. En muchos casos el

suelo no es susceptible de ninguna utilización económica; en estos casos puede destinarse a vegetación natural, bosque de protección o a bosque de recuperación.

2.2.2. Subclases de Capacidad de Uso.

La “Subclase de Capacidad de Uso” se define como el conjunto de suelos que presentan la misma Limitación Mayor. Se representa por dos letras, la mayúscula define la clase y la minúscula expresa la Limitación Mayor.

Se define “Limitación Mayor” como la propiedad del suelo y/o su entorno, desfavorable para un uso determinado, siendo su orden de prelación: erosión (e), pendiente (p), espesor efectivo del suelo (x), afloramientos rocosos (r), pedregosidad (g), salinidad (s), alcalinidad (n), propiedades físicas (f), propiedades químicas (q), exceso de agua (h), falta de agua (a) y limitaciones térmicas (c).

2.2.2.1. Subclase erosión hídrica.

Bajo el concepto de erosión hídrica (e) se engloban una serie de procesos que conducen a la degradación del suelo. Con la metodología propuesta se calcula la predicción de pérdida de suelo para cada unidad cartográfica, estableciéndose cinco intervalos, que oscilan desde muy baja hasta muy alta, en función del resultado obtenido en el cálculo de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978) (Tabla 2.3). Estos cinco intervalos constituyen una adaptación de ICONA (1987) que establecía siete intervalos que oscilaban entre inapreciable e irreversible (fase lítica), integrándose en el nivel de erosión Muy bajo los grados erosivos Inapreciable ($<5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y Muy bajo ($5\text{-}12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), y en el grado de erosión Muy Alto se incluye también el grado Irreversible.

Subclase	Erosión ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)	Grado de erosión
Ae	<12	Muy bajo
Be	12-25	Bajo
Ce	25-50	Moderado
De	50-100	Alto
Ee	>100	Muy alto

Tabla 2.3: Subclases de Capacidad de Uso. Erosión hídrica (e).

2.2.2.2. Subclase pendiente.

La pendiente (p) se distribuye en cinco rangos, expresados en porcentaje, estableciéndose las siguientes Subclases de Capacidad de Uso (Tabla 2.4).

Subclase	Pendiente (%)
Ap	<8
Bp	8-16
Cp	16-21
Dp	21-31
Ep	>31

Tabla 2.4: Subclases de Capacidad de Uso. Pendiente (p).

El valor del ángulo de pendiente que determina la Subclase “p” sirve además para el cálculo del grado de erosión (Wischmeier y Smith, 1978).

2.2.2.3. Subclase espesor efectivo.

El espesor efectivo (x) se define como la profundidad del suelo que puede proporcionar un medio adecuado para el desarrollo de raíces, agua disponible y suministro de nutrientes (Hudson, 1982), considerándose varios casos:

- Cuando el espesor efectivo es menor que la profundidad del suelo, debido a la presencia de horizontes que impiden o dificultan el desarrollo radicular (argílico, petrocálcico, etc.).
- Cuando coincide con la profundidad del suelo.

La correspondencia entre espesor efectivo y las Subclases son (Tabla 2.5).

Subclase	Espesor efectivo (cm)
Ax	>80
Bx	80-60
Cx	60-40
Dx	40-25 (y variable)
Ex	<25 (y variable)

Tabla 2.5: Subclases de Capacidad de Uso. Espesor efectivo (x).

El concepto de espesor variable, hace referencia a límites no planos-no netos.

2.2.2.4. Subclase afloramientos rocosos.

En los afloramientos rocosos (r), se delimitan los siguientes rangos de las Subclases (Tabla 2.6).

Subclase	Afloramientos rocosos (%)
Ar	<2
Br	2-10
Cr	10-25
Dr	25-50
Er	>50

Tabla 2.6: Subclases de Capacidad de Uso. Afloramientos rocosos (r).

2.2.2.5. Subclase pedregosidad.

Los rangos de pedregosidad (g) establecidos como el porcentaje de gravas (diámetro entre 7,5 y 2 cm) son los siguientes (Tabla 2.7):

Subclase	Pedregosidad (%)
Ag	<40
Bg	40-60
Cg	60-80
Dg	80-90
Eg	>90

Tabla 2.7: Subclases de Capacidad de Uso. Pedregosidad (g).

2.2.2.6. Subclase salinidad.

La salinidad (s) es la presencia de sales solubles que puede constituir, a partir de determinados límites un factor limitante de uso en una unidad cartográfica, siendo los rangos los siguientes (Tabla 2.8). Se determina mediante la medida de la conductividad eléctrica en el extracto de pasta saturada del suelo.

Subclase	Salinidad ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)
As	<2
Bs	2-4
Cs	4-8
Ds	8-16
Es	>16

Tabla 2.8: Subclases de Capacidad de Uso. Salinidad (s).

2.2.2.7. Subclase alcalinidad.

La alcalinidad (n) se refiere al porcentaje de sodio intercambiable que da al suelo unas propiedades físico-químicas muy particulares, como la degradación de la estructura, conductividad hidráulica baja, mala aireación...etc. La medida es la razón de adsorción de sodio (RAS), siendo limitación a partir de los siguientes valores (Tabla 2.9)

Subclase	RAS
As	<2
Bs	2-4
Cs	4-8
Ds	8-16
Es	>16

Tabla 2.9: Subclases de Capacidad de Uso. Alcalinidad (n).

2.2.2.8. Subclase propiedades físicas.

Bajo el término propiedades físicas (f) se designan diferentes características de dicha naturaleza, siendo las más importantes la textura del suelo, la permeabilidad y la estabilidad estructural. Su correspondencia con las Subclases es la que muestra la tabla 2.10.

Subclase	Textura	Permeabilidad	Est. estructural (%)
Af	Equilibrada	Buena	>15
Bf	Poco equilibrada	Moderada	5-15
Cf	Una fracción (arena)	Moderada	<5
Df	Una fracción (limo)	Deficiente	<5
Ef	Una fracción (arcilla)	Deficiente	<5

Tabla 2.10: Subclases de Capacidad de Uso. Propiedades químicas (q).

2.2.2.9. Subclase propiedades químicas.

Las propiedades químicas (q) que se tienen en cuenta son el contenido en materia orgánica, carbonatos, caliza activa y la capacidad de intercambio catiónico. Sólo se considera limitación mayor cuando todas las propiedades están dentro de los rangos establecidos (Tabla 2.11).

Subclase	MO (%)	Carbonatos (%)	Caliza activa (%)	CIC (meq·100 g ⁻¹)
Aq	>2	<10	<7	> 20
Bq	1-2	10-30	7-15	10-20
Cq	<1	30-50	15-25	10-5
Dq	<1	>50	25-35	5-2.5
Eq	<1	>50	>35	<2.5

Tabla 2.11: Subclases de Capacidad de Uso. Propiedades físicas (f).

2.2.2.10. Subclase exceso de agua.

El exceso de agua (h) se obtiene a partir de la fórmula climática de Thornthwaite (1948), teniendo en cuenta la textura y la permeabilidad del suelo (Tabla 2.12).

Subclase	Exceso de agua (mm)
Ah	0
Bh	<300
Ch	300-400
Dh	400-600
Eh	>600

Tabla 2.12: Subclases de Capacidad de Uso. Exceso de agua (h).

La subclase Ah está bien provista de agua durante todo el año, siendo deficiente el aporte de agua en la estación seca, aunque no en exceso en la época de lluvias.

2.2.2.11. Subclase déficit de agua.

La falta de agua (a) se considera limitación mayor cuando alcanza los siguientes valores (Tabla 2.13).

Subclase	Déficit de agua (mm)
Aa	0
Ba	<300
Ca	300-400
Da	400-600
Ea	>600

Tabla 2.13: Subclases de Capacidad de Uso. Déficit de agua (a).

2.2.2.12. Subclase limitaciones térmicas.

Las limitaciones térmicas (c) aparecen como limitación mayor cuando las temperaturas medias, precipitaciones totales y periodo máximo de heladas son (Tabla 2.14).

Subclase	Tª media (°C)	P (mm)	Periodo máx. heladas
Ac	<12	>600	Dic. - Feb.
Bc	12-26	600-400	Nov. - Abr.
Cc	>26	400-300	Oct. -May.
Dc	>26	<300	Sep. - May.
Ec	>26	<300	Ago. - Jul.

Tabla 2.14: Subclases de Capacidad de Uso. Limitaciones térmicas (c).

2.2.3. Unidades de Capacidad de Uso.

La “Unidad de Capacidad de Uso” define al conjunto de suelos pertenecientes a una clase o subclase con idéntica limitación menor. Se representan por tres letras, las correspondientes a la clase, subclase y limitación menor.

Se define “Limitación Menor” como la propiedad desfavorable del suelo y de su entorno potencialmente modificable (mejorable con ciertas prácticas en el caso de las Clases A, B y C), o que no constituye la limitación más importante aunque sea de carácter permanente. Se dividen en:

- Limitación Menor Mejorable: coinciden en su mayoría con las características primarias, a excepción de la erosión y el clima, cuyos valores no están sujetos a cambios con la realización de prácticas agrícolas usuales.

- Limitación Menor Permanente: se aplica a la segunda limitación que aparece siguiendo el orden de prioridades establecido en las limitaciones mayores.

La construcción del código de Capacidad de Uso para cada unidad se realiza colocando en mayúscula la clase a la que pertenece. A continuación, en minúscula se toma la limitación mayor (que constituye la Subclase) y por último, la segunda limitación (limitación menor) que forma la unidad, respetando el orden que constituye limitación.

2.3. Capacidad de Uso adaptada a la zona de estudio.

El método de Capacidad de Uso utilizado, (descrito anteriormente) constituye en esencia una metodología sintética y por lo tanto, es susceptible de adaptación, en función de las características intrínsecas de la zona de estudio.

La adaptación que se ha hecho para el área de estudio ha consistido en:

Desestimación del factor falta de agua (a), debido a que puede ser corregida con riegos puntuales que hagan disminuir el déficit hídrico y por lo tanto los niveles de humedad de la reserva del suelo sean mayores. A continuación, no se han tenido en cuenta los factores relacionados con el clima, es decir, exceso de agua (h) y limitaciones térmicas (c). Lo que nos da una cartografía de Clases, Subclases y Unidades en función de 11 factores (excluyendo "a", "h" y "c"), en vez de los 12 estimados "sin ninguna exclusión".

2.4. Erosión hídrica.

El estudio de la erosión hídrica en el área de estudio se ha realizado a partir de:

- Datos de temperatura y precipitación obtenidos a partir de los modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España peninsular (Sánchez-Palomares *et al.*, 1999).
- Mapas topográficos, Hojas 966, 967 y 988 (SGE, 1997; IGN, 2001).
- Mapa de usos del suelo (Martín-Carrillo, 2009).
- Modelo Digital del Terreno (COPT, 2005).
- Datos analíticos de los perfiles (CMA, 2007).

La estimación de la erosión de la zona de estudio se ha llevado a cabo de acuerdo con los criterios de Wischmeier y Smith (1965), expresados en la ecuación USLE (Wischmeier y Smith, 1978), ya que permite determinar las pérdidas que se ocasionan en el suelo de una manera objetiva.

Constituye el método más riguroso, práctico y sencillo para predecir la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial aunque presenta ciertas limitaciones, tal y como aprecian diversos autores (Kirkby y Morgan, 1984; Morgan, 1997; Hudson, 1982; Albadalejo y Stocking, 1989) y que son:

- No predice con exactitud la pérdida de suelo para una tormenta específica, estación o año.
- No estima la erosión por la concentración de flujo ni de movimiento en masa.
- No estima la sedimentación del suelo ni tiene en cuenta la escorrentía ni la concentración de sedimentos que tiene lugar a lo largo de la pendiente.
- No aporta información acerca de la clase textural, densidad y otras características de los sedimentos, necesaria para la estimación de la deposición, absorción y transporte de elementos químicos, etc.

La ecuación de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978) se define por la siguiente fórmula, que permite evaluar la pérdida de suelo por erosión laminar y en surcos.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

en la que:

A = Pérdida de suelo por unidad de superficie, obtenida por el producto del resto de los factores. Se expresa en $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$.

R = Índice de erosividad de la lluvia. Se expresa en: $J \cdot m^{-2} \cdot cm \cdot h^{-1}$

K = Índice de erosionabilidad del suelo. Se expresa en: $t \cdot m^2 \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot J^{-1} \cdot cm^{-1}$

LS = Factor pendiente, considera de manera conjunta la longitud (m) y la inclinación (%) de la misma.

C = Factor cultivo. Es un factor adimensional.

P = Factor prácticas de cultivo. Es un factor adimensional.

2.4.1. Factor R.

Debido a la falta de estaciones dotadas con un pluviógrafo en el área de estudio, necesario para el cálculo de R y a que los estudios realizados no coinciden con la escala de trabajo del presente estudio, se ha optado por utilizar el Índice de Fournier (1960), el cual muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía, según la ecuación:

$$IF = \left(\frac{P_{máx}^2}{P} \right)$$

donde:

$P_{máx}^2$: Precipitación mensual.

P: Precipitación anual.

Finalmente se correlaciona el anterior índice con R, según ICONA (1987):

$$R = 2.56 \cdot (IF)^{1.056}$$

Para el cálculo del Índice de Fournier (1960) y el valor de R (ICONA, 1987) se ha aplicado el modelo matemático de estimaciones climáticas termo-pluviométricas para la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir publicado por el Ministerio de Medio Ambiente (Sánchez-Palomares *et al.*, 1999) mediante su implementación en un entorno SIG. Posteriormente, a las distintas unidades se les asigna el valor medio tras procesar mediante SIG los datos ráster obtenidos del modelo.

Desde el punto de vista metodológico, es importante resaltar que no son necesarios los datos termo-pluviométricos de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio y alrededores, nos basta con saber la ecuación de regresión a utilizar (Tabla 2.20 y 2.21) para calcular en cada punto el índice de Fournier (1960) y el valor de R (ICONA, 1987) y luego trazar las isohipsas correspondientes. De esta forma se asigna de manera más objetiva el valor a la Unidad Ambiental, eliminando la subjetividad asociada a la proximidad de la estación climatológica. En su defecto, lo que se hace es aplicar el modelo de regresión que tiene en cuenta latitud, longitud, orientación, altura y vientos dominantes. Además se evita hacer interpolaciones espaciales a partir de los puntos con valores conocidos (datos de las estaciones) mediante técnicas geoestadísticas (*Inverse Distance Weighted-IDW*, *Spline* o *kriging*), que no tienen en cuenta el relieve. Esta metodología mejora la calidad de los datos empleados en la estimación del factor R.

2.4.2. Factor K.

Para el cálculo del factor K (erosionabilidad del suelo) se ha empleado la ecuación:

$$K = \frac{[10^{-4} \cdot 2,71 M^{1,14} \cdot (12 - a)] + 4,20 (b - 2) + (c - 3)}{100}$$

adaptada por ICONA (1987) para la cuenca del Guadalquivir de acuerdo con el método de Wischmeier y Smith (1978), en la que:

M = (100 - % arcilla) · (% limo+ arena fina)

a = % materia orgánica.

b = nº correspondiente a la estructura del suelo según la siguiente codificación:

1. Granular muy fina y grumosa (<1 mm).
2. Granular muy fina y grumosa fina (1-2 mm).
3. Granular y grumosa media (2-5 mm) y granular gruesa (5-10 mm).
4. Granular lisa, prismática, columnar y muy gruesa (>10 mm).

c = clase de permeabilidad del suelo según la codificación del USDA (1979):

1. Rápida a muy rápida.
2. Moderadamente rápida.
3. Moderada.
4. Moderadamente lenta.
5. Lenta.
6. Muy lenta.

Los valores de M, a y b se refieren a los primeros 10-15 cm superficiales del suelo y c se refiere a todo el perfil. En las asociaciones de suelos se han considerado los valores de textura, materia orgánica y estructura del suelo dominante en las mismas.

Los valores del código USDA (1979) para la estructura del perfil se muestran a continuación (Tabla 2.15).

Grado	Estructura		Código b
	Forma	Tamaño	
Sin estructura		Muy fina	4
Débil	Granular	Media	3
	Bloqueangular	Media	3
Moderada		Muy fina	1
		Fina	2
		Mediana	2
		Muy fina	2
	Bloquesubangular	Mediana	2
	Bloqueangular		2
Fuerte	Angular		2
	Bloqueangular		2

Tabla 2.15: Código USDA para la estructura del perfil.

Los valores del código USDA (1979) para la permeabilidad del perfil son los de la tabla 2.16.

Textura	Clase de permeabilidad	Valor c
Franco-arenosa	Moderadamente rápida	2
Franca		
Franca-limosa	Moderada	3
Franco-arcillo-limosa		
Franco-arcillo-arenosa		
Franco-arcillosa	Moderadamente lenta	4
Arcillosa	Lenta	5

Tabla 2.16: Código USDA para la permeabilidad del perfil.

Estos valores se han establecido cuantitativamente a partir de la descripción de campo y el análisis de laboratorio.

2.4.3. Factor LS.

La evaluación del factor combinado (LS) se ha calculado según McCool *et al.* (1982), con el fin de considerar pendientes acusadas, para lo cual se modificó la expresión inicial de Wischmeier y Smith (1978), mediante las siguientes ecuaciones:

Para pendientes menores del 9 %:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.3} \cdot \left(\frac{0.43 + 0.3 s + 0.043 s^2}{6.613} \right)$$

donde:

λ = longitud de la pendiente, expresada en m.

S = pendiente, expresada en %.

Para pendientes mayores del 9%:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.3} \cdot \left(\frac{s}{9} \right)^{1.3}$$

2.4.4. Factor C.

El factor C se ha definido como la relación entre las pérdidas que se producen bajo una alternativa y con unas determinadas técnicas de cultivo. Su evaluación se ha llevado a cabo a partir de los Mapas de Sistemas y Subsistemas Fisiográficos y su división posterior según la pendiente real del terreno.

Su cuantificación se hizo relacionando los valores expuestos por ICONA (1987) que se señalan a continuación (Tabla 2.17).

Usos del suelo	Factor C
Improductivo.	1
Cultivo de regadío.	0.547
Cultivos arbóreos y cultivos de secano.	0.428
Cultivos herbáceos de secano.	0.466
Erial a pastos, matorral disperso y arbolado con cabida cubierta <0.2.	0.185
Pastizales permanentes.	0.150
Arbustos y matorral.	0.110
Arbolado con cabida cubierta entre 0.2 y 0.7.	0.070
Arbolado con cabida cubierta >0.7	0.025

Tabla 2.17: Valores del factor C (ICONA, 1987).

2.4.5. Factor P.

El factor P se ha definido como la relación entre las pérdidas de suelo que se producen bajo unas prácticas de conservación determinadas. Se han empleado los valores de la siguiente tabla, tomadas de Wischmeier y Smith (1978).

Pendiente (%)	Cultivo a nivel	Cultivo a nivel y franjas	Cultivo en terrazas
1-2	0.60	0.30	0.12
3-8	0.50	0.25	0.10
9-12	0.60	0.30	0.12
13-16	0.70	0.35	0.14
17-20	0.80	0.40	0.16
21-25	0.90	0.45	0.18

Tabla 2.18: Valores del factor P, según Wischmeier y Smith (1978).

La evaluación de la erosión hídrica se ha llevado a cabo a partir de los datos de R, K, LS, C y P, obtenidos para cada uno de las distintas Unidades Ambientales. Al realizar el producto de todos ellos se obtiene A, es decir, la pérdida de suelo en toneladas por hectárea y año, para cada Unidad.

Para la utilización directa y fácilmente legible se ha establecido una clasificación por niveles erosivos (Tabla 2.19), con un reducido número de intervalos. Los límites aplicados de dichos niveles son los establecidos por ICONA (1987), para la cuenca del Guadalquivir, y son los siguientes:

Nivel	Pérdidas ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)	Grado
1	<5	Inapreciable
2	5-12	Muy bajo
3	12-25	Bajo
4	25-50	Moderado
5	50-100	Alto
6	100-200	Muy alto
7	>200	Irreversible (fase lítica)

Tabla 2.19: Niveles erosivos para la cuenca hidrográfica del Guadalquivir (ICONA, 1987).

2.5. Parámetros termo-pluviométricos.

Los datos de temperatura y precipitación de la zona de estudio se han obtenido aplicando el modelo matemático de estimaciones climáticas termo-pluviométricas, para la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir publicado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (Sánchez-Palomares *et al.*, 1999), mediante su implementación en un entorno SIG.

Los terrenos que constituyen la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir se agrupan en cuatro Subcuencas, siendo la primera (GQ1) correspondiente a la cabecera del Guadalquivir, la segunda (GQ2) a los principales afluentes de la

margen derecha, la tercera (GQ3) a los afluentes de la margen izquierda y la cuarta (GQ4) el Sector Atlántico (Fig. 2.2).

La zona de estudio se encuentra en la Subcuenca GQ3, ya que la red hidrográfica presente vierte sus aguas hacia el río Guadajoz y el Genil, ambos afluentes de la margen izquierda del Guadalquivir.

A partir de los datos de una serie de estaciones meteorológicas se realiza un modelo matemático, siendo el aplicado un modelo de regresión múltiple generalizado con dependencia cuadrática (2º orden), cuya expresión y coeficientes, para el cálculo de la temperatura (T) y de la precipitación (P), se muestran en las tablas 2.20 y 2.21.

A partir de los datos de temperatura y precipitación se calculan los índices climáticos que caracterizan el área de estudio, ombroclima, evapotranspiración potencial y balance hídrico. Con estos datos se realizan los mapas con las isohipsas de los parámetros calculados.

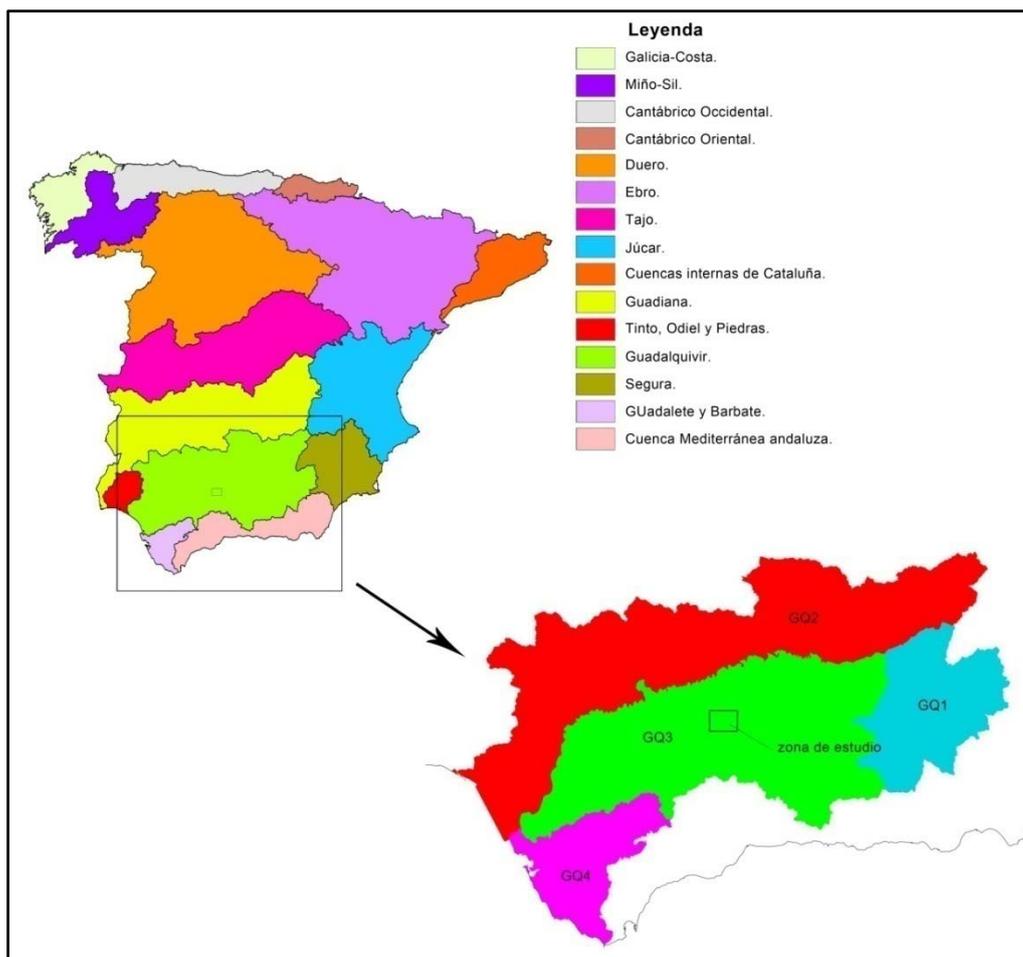


Fig. 2.2: Cuencas hidrográficas de España y localización de la zona de estudio dentro de la subcuenca del Guadalquivir GQ3. Nótese que Sánchez-Palomares *et al.* (1999) incluye a la cuenca del Guadalete y Barbate en la subcuenca del Guadalquivir GQ4.

Modelo de estimación de temperaturas (T). Cuenca del Guadalquivir. Subcuenca GQ3.

$$T = a + b(AIt/10^3) + c (Xutm/10^5) + d (Yutm/10^5) + e (AIt/10^3)^2 + f (Xutm/10^5)^2 + g (Yutm/10^5)^2$$

Mes	a	b	c	d	e	f	g	F	g.l.	Sig.	p	Err. Std.
ENE	53.01936	-4.156187	0	-1.026544	0	0	0	233.8	(2.83)	***	0.92	0.71
FEB	28.09326	-4.043405	0	0	0	0	0.009643	224.45	(2.83)	***	0.92	0.67
MAR	25.54068	-4.696751	0.380711	0	0	0	-0.007485	74.9	(3.82)	***	0.85	0.82
ABR	16.12083	-4.00082	0	0	0	0	0	160.3	(1.84)	***	0.81	0.93
MAY	-1718.271	0	0.782471	84.02177	-5.009068	0	-1.016894	30.1	(4.81)	***	0.77	1.02
JUN	-1141.973	-4.788162	3.393073	55.50153	0	-0.348093	-0.664313	19	(5.80)	***	0.74	1.07
JUL	-1687.379	-4.254454	3.578642	81.70859	0	-0.346026	-0.977352	22.2	(5.80)	***	0.76	1.04
AGO	-1945.582	0	1.116123	94.94741	-4.478583	0	-1.144468	23.8	(4.81)	***	0.73	1.02
SEP	-926.9355	-4.777183	2.901123	45.53092	0	-0.308834	-0.548065	25.7	(5.80)	***	0.79	0.91
OCT	26.52094	-4.752375	1.655806	0	0	-0.191986	-0.005982	69.4	(4.81)	***	0.88	0.78
NOV	49.58537	-4.018269	0	-0.858041	0	0	0	146	(2.83)	***	0.88	0.84
DIC	58.82129	-4.189543	0	-1.160059	0	0	0	229.7	(2.83)	***	0.92	0.74

Tabla 2.20: Modelo de temperatura media mensual, Cuenca del Guadalquivir (GQ3) (Sánchez-Palomares, 1999).

Modelo de estimación de precipitaciones (P). Cuenca del Guadalquivir. Subcuenca GQ3.

$$P = a + b(AIt/10^3) + c (Xutm/10^5) + d (Yutm/10^5) + e (AIt/10^3)^2 + f (Xutm/10^5)^2 + g (Yutm/10^5)^2$$

Mes	a	b	c	d	e	f	g	F	g.l.	Sig.	p	Err. Std.
ENE	-335.06129	65.38076	-32.2062	-50.985331	0	0	0	41.78	-2.48	***	0.8	27.72
FEB	-1156.4274	72.48137	0	-51.562005	0	0	0	56.1	-2.48	***	0.84	25.5
MAR	-428.61109	63.8052	-29.5872	0	0	0	-0.33004	59.59	-2.48	***	0.84	21.62
ABR	-674.86805	38.25681	-14.5924	0	154.40511	0	-0.17989	72.86	-2.48	***	0.87	13.23
MAY	-656.49047	32.8642	-10.5604	2509.4789	114.72926	-64.111	-30.9535	50.86	-5.45	***	0.92	8.19
JUN	-288.43361	27.4341	-21.777	1652.28525	58.380717	0	-20.3646	16.68	-5.45	***	0.81	4.81
JUL	-52.700145	0	0	0	5.443181	0	0	30.16	-1.49	***	0.62	1.06
AGO	-6315.024	1.627685	0	0	8.585848	0	0	35.22	-1.49	***	0.65	1.54
SEP	-9994.7756	25.06537	0	0	59.90997	0	0	72.46	-1.49	***	0.77	7.51
OCT	28438.0175	33.13808	19.76641	0	0	-6.02213	-0.22434	16.99	-3.47	***	0.72	16.28
NOV	-243.68073	49.46665	0	-59.580257	0	0	0	31.86	-2.48	***	0.76	19.19
DIC	-299.59901	71.04604	0	0	0	0	-0.69608	49.68	-2.48	***	0.82	24.62

Tabla 2.21: Modelo de precipitación media mensual, Cuenca del Guadalquivir (GQ3) (Sánchez-Palomares, 1999).

2.6. Cartografía de suelos.

Según De la Rosa (2013), los suelos son muy diferentes de unos lugares a otros, estos cambios tienen incluso unas distancias muy cortas, provocando una extraordinaria “variabilidad espacial” y pudiéndose decir que los suelos en el paisaje representan un enorme mosaico de infinitas teselas. Edafológicamente, no todos los estudios sobre suelos pertenecen a esta disciplina, sino que se han de referirse al concepto individuo-suelo, representado por su perfil vertical o imagen tridimensional, con sus tres elementos identificativos: horizontes, agregados y coloides.

Los horizontes marcan su origen genético, no son simples capas sedimentarias superpuestas. Se diferencian por su grado de desarrollo, el tiempo y el proceso de formación, por lo que se la considera un recurso lentamente renovable (1000 años por cm de espesor).

Los agregados (clase-tipo-grado de desarrollo), marcan la estructura, característica única y diferenciadora de cada tipo de suelo.

Los coloides (arcillas y sustancias húmicas) son los responsables de numerosas propiedades, características y procesos que ocurren en los suelos, retención y lixiviación de nutrientes y/o contaminantes que marcan su fertilidad y/o degradación.

Debido a su extraordinaria biodiversidad y multiplicidad de funciones, tanto desde el punto de vista ecológico como socioeconómico, actualmente se prioriza el estudio holístico (global) y se habla de sistemas-suelos en vez de suelo. La globalidad de un sistema tan complejo, nos hace tener presente para su estudio la “Teoría General de Sistemas” (Bertalanffy, 1968).

2.6.1. Material y métodos para la toma y descripción de perfiles.

Para la realización de la cartografía de suelos, en primer lugar se realizó un estudio detallado de las formaciones petrográficas que sirven de “roca madre” de dichas formaciones edáficas, ya que se observó, y posteriormente se comprobó, que son en su mayoría suelos “autóctonos” (formados a partir de la alteración in situ de la roca subyacente) y, en muy poca proporción, aparecen suelos alóctonos (formados con materiales cuya matriz mineral procede de otros lugares).

Para la redacción de la presente memoria se han empleado los datos correspondientes a 24 perfiles, correspondientes al Proyecto “Levantamiento de información ambiental referida a unidades geomorfoedáficas para diversas

zonas de Andalucía Occidental”, financiado por la Consejería de Medio Ambiente y finalizado en el año 2007 (Ref.: OG-019/07).

Siguiendo los criterios establecidos en la bibliografía edafo-cartográfica, se siguió la proporcionalidad entre la representación cartográfica y el número de perfiles de suelos a estudiar. Buscando, así mismo, tener presente la evolución de los suelos y otros factores formadores como la pendiente, vegetación y clima, de forma que estuviesen representados, no sólo los factores formadores sino también el grado de evolución de éstos, y los posibles factores limitantes que impiden la evolución natural de su desarrollo.

Una vez delimitadas las formaciones, se realizó un sondeo (con una sonda de 1 m), a fin de decidir el número y tipo de perfiles a tomar según la variabilidad y representación, y posteriormente se tomaron los perfiles de suelo correspondientes. De esta forma, se decidió estudiar exactamente, nueve perfiles de Calcisoles, siete de Regosoles, tres de Leptosoles, dos de Luvisoles, uno de Cambisoles, uno de Fluvisoles y uno de Vertisoles.

Con ello se logra que el estudio abarque todos y cada uno de los tipos de suelos existentes, y que los más extendidos y, por tanto, con mayor variabilidad en su tipología, incidan en dicho concepto con el estudio de un mayor número de perfiles a fin de poder conocer exhaustivamente su evolución según otras características, además de sus factores formadores como son la altitud y/o la pendiente, ya que, tanto la vegetación actual, así como su tratamiento agrológico (uso) son una constante para el territorio.

La descripción de campo para cada uno de estos 24 perfiles se realizó en una ficha codificada (Fig. 2.3a y b), en la que se describen parámetros asociados al suelo (para cada horizonte: color, textura, estructura, consistencia, cementación, pedregosidad, porosidad, raíces, reacción, nódulos, revestimientos y límite) y a la unidad geomorfoedáfica (localización, clasificación, elevación, pendiente, relieve, erosión, drenaje, pedregosidad, rocosidad, litología, posición fisiográfica, número de horizontes, profundidad y uso actual).

La descripción de los horizontes y los perfiles se realizó siguiendo los criterios establecidos por la “Guía para la descripción de perfiles de suelos” (FAO, 2006).

2.6.2. Asignación de perfiles a Unidades Cartográficas.

Para la estimación del número de perfiles a estudiar, se ha analizado la Geología-Litología, Pendiente, Topografía (relieve), y Orientación. A partir de estas variables, se recogieron en la zona de estudio 24 perfiles, indicativos de la variedad edáfica que existe en la zona de estudio.

A continuación, se realizó una adjudicación de los perfiles a las Unidades cartografiadas a partir de los parámetros que se han expuesto anteriormente.

Referencia				Perfil	
<input type="text"/>				<input type="text"/>	<input type="text"/>
Serie	Huso	X	Y	Sistema de clasificación	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
LOCALIZACION					
<input type="text"/>					
CLASIFICACION					
<input type="text"/>					
OBSERVADOR					
<input type="text"/>					
Fecha	Elevación	Pendiente	Relieve	Erosión	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Drenaje	Pedregosidad				
<input type="text"/>	<hr/>				
	Frecuencia	Naturaleza litológica	Tamaño		
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
	Roccosidad				
	<hr/>				
	Roccosidad	Naturaleza litológica	Dureza		
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
	Material original				
	<hr/>				
	Material original	Período geológico	Posición fisiográfica		
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
	Uso actual	Número de horizontes	Profundidad		
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		
	Observaciones				
<input type="text"/>					

Fig. 2.3a: Ficha codificada para la descripción de los perfiles de suelos en campo. Anverso.

Perfil	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Orden	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Discontinuidad	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Horizonte	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Subíndices	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Límite superior	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Límite inferior	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Color Munsell</u>				
En seco	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
En húmedo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Textura	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Estructura</u>				
Tipo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Clase	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Grado	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Consistencia</u>				
Plasticidad	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Adhesividad	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
En húmedo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
En seco	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Cementación</u>				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Pedregosidad</u>				
Frecuencia	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Naturaleza	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tamaño	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Porosidad</u>				
Frecuencia	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tamaño	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Raíces</u>				
Frecuencia	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tamaño	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Reacción</u>				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Nódulos</u>				
Frecuencia	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Naturaleza	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Revestimientos</u>				
Frecuencia	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Clase	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<u>Límite</u>				
Clase	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Forma	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Fig. 2.3b: Ficha codificada para la descripción de los perfiles de suelos en campo. Reverso.

2.7. Preparación de las muestras y análisis de laboratorio.

Las muestras de suelo correspondientes a los horizontes de los suelos se introdujeron en bolsas de polietileno y se trasladaron a laboratorio. Antes de proceder a su análisis, se dejaron al aire (25°C) sobre bandejas para su secado, el mismo día de su recogida y transporte. Previamente a la selección de la tierra fina, mediante tamizado ($\phi < 2$ mm) se procede a su secado en bandejas. Los métodos de determinación de los análisis de laboratorio se muestran a continuación.

2.7.1. Grava.

Para la determinación del contenido en grava se parte de 100 g de suelo, seco al aire, se pasa por un tamiz de luz de malla de 2 mm y se pesa la fracción de tierra fina. El resultado se expresa en g de grava·kg⁻¹ de suelo.

2.7.2. Color.

Para la determinación del color de un suelo se compara éste, en seco y en húmedo, con los de las tablas de color de suelos Munsell (Munsell Colour Company Inc., 1994). El color se caracteriza a partir de tres parámetros básicos que lo componen: matiz, brillo y croma. El matiz expresa la longitud de onda dominante en la radiación reflejada. El brillo expresa la proporción de luz reflejada y mide el grado de claridad o de oscuridad relativa del color comparado con el blanco absoluto. El croma expresa la pureza relativa de color del matiz y es inversamente proporcional a la dominación del gris.

2.7.3. Textura del suelo.

Para la determinación de la textura de los diferentes horizontes del suelo, se ha empleado el método de la Pipeta Robinson (USDA, 2004). En primer lugar, se procede a destruir los complejos órgano-minerales del suelo mediante un ataque con peróxido de hidrógeno, eliminar el exceso de sales y saturar el complejo de cambio con iones monovalentes mediante solución de hexametáfosfato sódico (NaPO₃)₆, que no disuelve los carbonatos del suelo que si bien, pueden interferir en la medida por sobrevaloración de las fracciones más gruesas, en nuestra zona de estudio son muy frecuentes y los valores de textura del suelo obtenidos tienen más significado si los incluye (Porta, 1986). Después de la dispersión se introduce la muestra en una probeta y se enrasa, se agita durante un minuto y se mide la temperatura. Dependiendo de ésta se establecen los tiempos de sedimentación y profundidad del pipeteado (Rouiller y Jeanroy, 1971) para determinar las distintas fracciones de arena, limo y arcilla.

2.7.4. Densidad aparente.

El método seguido es el descrito por MAPA (1994). Se determina pesando una muestra de suelo contenida en un cilindro metálico desecada a 105 °C y el volumen que ocupa la muestra tomada en el campo.

2.7.5. pF a 1/3 y 15 atmósferas.

Se utilizó el método de la membrana de Richards (1931), para presiones de 1/3 y 15 atmósferas.

2.7.6. Permeabilidad.

La conductividad hidráulica o permeabilidad es un atributo que expresa la velocidad de circulación del agua del suelo, se mide en condiciones de saturación por agua y al irse secando el suelo disminuye, de manera que a -33 KPa puede llegar a ser entre 100 y 1000 veces menor que a saturación. Se ha seguido el método de Henin *et al.* (1958). Para ello se introduce una muestra de suelo en un tubo de vidrio cilíndrico cerrado por una placa porosa en su parte inferior y se somete a la infiltración bajo una capa de agua libre, manteniendo constante el flujo. La permeabilidad se expresa en función de K, cuyo valor viene dado por la siguiente expresión:

$$K = \frac{C \cdot V}{H \cdot S}$$

donde:

K: es la velocidad de infiltración por unidad de tiempo ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$).

C: es la altura de la columna de tierra (cm).

V: es el volumen de agua que fluye en una hora (cm^3).

H: corresponde a la altura de la carga de agua (cm).

S: es la sección del tubo (cm^2).

La clase de permeabilidad viene dada por el MAPA (1994).

2.7.7. Agua utilizable por las plantas.

La reserva de agua del suelo, utilizable por las plantas, se calcula mediante la siguiente expresión (Bonneau y Souchier, 1987):

$$RAU = (CR - HF) \cdot Da \cdot P$$

donde:

RAU: reserva de agua útil para las plantas (mm).

CR: cantidad de agua a capacidad de campo (pF a 1/3 atm).

HF: cantidad de agua en el punto de marchitez (pF a 15 atm).

Da: densidad aparente seca ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

P: profundidad considerada (dm).

2.7.8. pH.

Para la determinación del pH se ha utilizado un pH-metro. Se toma medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de vidrio de un electrodo, que es función de la actividad de los iones hidrógeno a ambos lados de la membrana (MAPA, 1994). El procedimiento es pesar 10 g de suelo y añadir 25 ml de agua destilada. Posteriormente se introducen los electrodos en el líquido sobrenadante, evitando la formación de burbujas y se mide el pH en la pasta saturada. Para la determinación del pH en cloruro potásico se procede de igual manera pero utilizando ClK 0.1 M en lugar de agua.

2.7.9. Conductividad eléctrica.

Se utiliza para conocer la cantidad de sales totales y está relacionada con la cantidad total de cationes. Lo primero es preparar la pasta saturada añadiendo a la muestra de suelo agua destilada, se deja reposar. La medida se realiza introduciendo el electrodo del conductímetro en el extracto obtenido de la pasta saturada (Gutián y Carballas, 1976).

2.7.10. Materia orgánica (MO), Carbono Orgánico del Suelo (COS) y reserva de Carbono Orgánico del Suelo (reserva de COS).

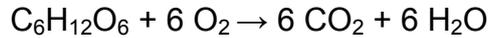
Se sigue el método de Walkley-Black (1934) basado en la oxidación de la materia orgánica por vía húmeda con dicromato potásico en medio ácido y posterior medida colorimétrica del Cr^{3+} , procedente de la reducción del dicromato. Es un método sin aporte de calor por lo que sólo se produce una oxidación parcial de la materia orgánica del suelo, aquella fácilmente oxidable, que es la más activa y de mayor importancia biológica.

El método por vía húmeda se fundamenta en las siguientes reacciones:

Reducción del Cr6+:



Oxidación de la materia orgánica. Se considera que la materia orgánica del suelo se comporta como un hidrato de carbono (glucosa):



Valoración del exceso de oxidante con una sal ferrosa:



Para determinar el contenido de materia orgánica del suelo (Duchaufour, 1975), se multiplica el contenido en carbono orgánico por el factor de conversión 1.724 para suelos agrícolas (Van Bemmelen, 1890), expresándose el resultado en $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Asumiendo que este factor es demasiado bajo para la estimación de la materia orgánica (Pribyl, 2010).

La reserva de Carbono Orgánico del Suelo (reserva de COS), se calcula para cada horizonte (Wang y Dalal, 2006) mediante la expresión:

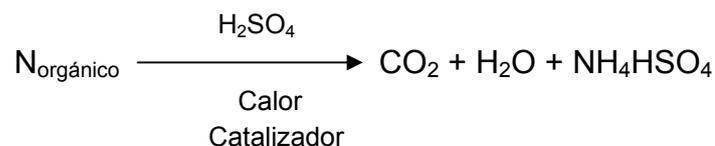
$$\text{Reserva de COS} = \text{COS} \cdot \text{DA} \cdot \text{P} \cdot (1 - \delta_{2\text{mm}}) \cdot 0.1$$

donde:

- Reserva de COS: reserva de carbono orgánico del suelo ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$).
- COS: es el contenido en carbono orgánico del horizonte del suelo ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).
- DA: densidad aparente horizonte del suelo ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$).
- P: es la profundidad del horizonte (cm).
- $\delta_{2\text{mm}}$: contenido en gravas (%).

2.7.11. Nitrógeno Total (NT), relación C:N y reserva de Nitrógeno Total del Suelo (reserva de NTS).

Se ha seguido el procedimiento Kjeldhal (Duchaufour, 1975) siendo el método más utilizado en la determinación del nitrógeno del suelo. La reacción general de este proceso se puede representar por la ecuación:



Se transforman las formas orgánicas del N en sales amónicas en medio ácido y en presencia de catalizadores (K_2SO_4 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ y Se metal) que

hacen que disminuya el tiempo de digestión y calor. En medio alcalino se libera en forma de NH_3 , el cual se recoge sobre ácido bórico y se valora con una base.

La relación C:N del suelo se calcula dividiendo el contenido de COS, por el de NT, ambos expresados en %.

La reserva de Nitrógeno Total del suelo (reserva de NTS) se calcula de manera análoga a la RCOS, a partir del contenido de Nitrógeno Total (NT):

$$\text{Reserva de NTS} = \text{NT} \cdot \text{DR} \cdot \text{P} \cdot (1 - \delta_{2\text{mm}}) \cdot 0.1$$

donde:

- Reserva de NTS: reserva de nitrógeno total del suelo ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$).
- NT: es el contenido en nitrógeno total del horizonte del suelo ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$).
- DR: densidad relativa del horizonte del suelo ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$).
- P: es la profundidad del horizonte (cm).
- $\delta_{2\text{mm}}$: contenido en gravas (%).

2.7.12. Índice de Estratificación (IE).

El Índice de Estratificación (IE) se define como el cociente entre el valor de la propiedad del suelo (COS y N) en la superficie, dividida por el valor de la misma propiedad de cada uno de los horizontes en profundidad, manteniendo como numerador al horizonte superficial y cambiando el denominador, que es el valor de los horizontes conforme descendemos en el perfil. Se calculan los IE para los datos siguientes: el COS, el NT y la relación C:N (Franzluebbers, 2002).

2.7.13. Carbonatos.

El método utilizado es el del "Calcímetro de Bernard" (Duchaufour, 1975), muy utilizado por ser rápido y sencillo, aún siendo una determinación indirecta. Se pesan 5 g de tierra fina y se vierten en un matraz Erlenmeyer, se humedece un poco la muestra y se conecta el Erlenmeyer al calcímetro, en el que se echan previamente unos mililitros de ácido clorhídrico 1:1 (aprox. 6 N). Con la llave del calcímetro abierto a fin de mantener la presión atmosférica, ajustar la altura del depósito del calcímetro hasta enrasar la bureta del mismo con el cero. Se cierra la llave, se inclina el matraz erlenmeyer y se vierte el ácido sobre la muestra, agitando suavemente para favorecer el ataque. Al mismo tiempo se va descendiendo la rama móvil del calcímetro procurando mantener el líquido en las dos ramas.

Cuando el nivel del líquido del calcímetro permanezca estacionario, dejar de agitar y tomar la lectura alcanzada por el mismo una vez enrasadas las dos ramas. El volumen leído corresponde al de CO₂ desprendido por la muestra. Se repite el método con 0.2 g de CaCO₃ y con las lecturas obtenidas efectuar los cálculos:

$$\% \text{ Carbonatos} = 100 \cdot \left(\frac{L}{L'}\right) \cdot \left(\frac{P'}{P}\right)$$

Siendo: L : lectura observada en el calcímetro para la muestra.

L' : lectura observada en el calcímetro para el CaCO₃.

p : peso seco de la muestra en g.

p' : peso del CaCO₃ en g (0.2 g).

2.7.14. Cationes de cambio (S) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Debido a las características calizas de algunos suelos, MAPA (1994) propone que en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico de un suelo se sature el complejo de cambio con sodio, mediante lavados con acetato sódico (1 N a pH= 8.2), eliminar el exceso de sales solubles y finalmente desplazar el sodio que está ocupando las posiciones de cambio con acetato amónico. Se recoge el sodio desplazado y se cuantifica mediante espectrofotometría.

Que un suelo tenga alta capacidad de intercambio catiónico, no significa en realidad que retenga muchos cationes de cambio (S), pudiendo no coincidir ambas cantidades. El conocimiento de los cationes en el complejo de cambio (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, y Na⁺) va encaminado a conocer y asegurar una buena estructura del suelo (Ca²⁺, Mg²⁺), criterios nutricionales del cultivo (K⁺) y características físicas inadecuadas (exceso de Na⁺). Para ello se han tabulado y clasificado los niveles idóneos de estos cationes así como sus porcentajes recomendables en el complejo de cambio (Fernández Fernández *et al.*, 2001). Para la determinación se lava una muestra de suelo seco (5 g) con etanol al 95% hasta que la conductividad sea inferior a 40 μS·cm⁻¹. Posteriormente se añaden 33 ml de acetato amónico 1 N, se centrifuga hasta que el líquido sobrenadante esté claro y se repite dos veces más. Las concentraciones de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ se determinan espectrofotométricamente.

2.7.15. Porcentaje de saturación en bases (V).

El grado de saturación en bases (V) expresa la relación porcentual entre la suma de cationes de cambio (S) y la capacidad de intercambio cationico (CIC) y se calcula mediante la relación $V = (S \cdot CIC^{-1}) \cdot 100$ y se expresa en cmol_c kg⁻¹.

2.7.16. Razón de adsorción de sodio (RAS).

El RAS se calcula a partir de los contenidos de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} solubles en el extracto de pasta saturada (Richards, 1954), siendo la expresión utilizada:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Donde las concentraciones de los cationes (Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}) se expresan en $\text{mEq}\cdot\text{l}^{-1}$.

2.7.17. Fósforo asimilable.

La valoración del fósforo asimilable tiene interés para establecer las características de fertilidad edáfica, ya que junto al potasio, nitrógeno y el calcio, es el elemento más extraído por las plantas. El método más idóneo, tanto por la relación entre los resultados y la alimentación fosforada de las plantas como por su adaptación a todo tipo de suelos, es el de Olsen *et al.* (1954).

Se parte de 5 g de muestra, que se agita durante durante 30 minutos con 100 ml de la solución extractora. A 50 ml de este extracto se le añaden 4 ml de solución de molibdato amónico y 0.8 ml de cloruro estannoso, completando a 100 ml en un matraz aforado. Se agita para homogeneizar y se mantiene en oscuridad quince minutos, al cabo de los cuales se mide la densidad óptica de la disolución en un espectrofotómetro a 690 nm. Se calcula la concentración de la disolución por comparación de la curva patrón obtenida a partir de disoluciones de concentración conocida de fósforo.

2.7.18. Macroelementos asimilables: calcio, magnesio, sodio y potasio.

El objeto de esta determinación es la de conocer la cantidad de estos cationes que necesitan las plantas en su desarrollo. Para ello se ha seguido el método descrito por Guitián y Carballas (1976), basado en la extracción de dichos elementos con acetato amónico, y la posterior determinación de los elementos en el extracto. Para ello se introducen 5 g de muestra seca en un bote de agitación con 50 ml de solución extractora de acetato amónico. Se agita la muestra durante 30 minutos y a continuación se filtra en un frasco de polietileno. El potasio y el sodio se determina por fotometría de llama, construyendo una curva patrón a partir de disoluciones de concentración conocida. El calcio y magnesio se determinan por espectrofotometría de absorción atómica, construyendo igualmente la curva patrón con disoluciones de concentración conocida de calcio y magnesio.

2.7.19. Microelementos asimilables: hierro, cobre, manganeso y zinc.

Estos elementos son esenciales para la vida de las plantas, causando enfermedades en caso de niveles bajos, como la clorosis férrica (déficit de Fe^{3+}), disminución de la actividad fotosintética (carencia de Mn^{2+}) y otras deficiencias. El método se basa en la acción de un agente quelante, en este caso EDTA 0,05 N y su posterior determinación mediante espectrofotometría de absorción atómica (Pinta, 1971).

2.8. Análisis estadístico.

Los análisis estadísticos han sido realizados mediante SPSS Inc. (2004). La significancia estadística de las diferencias en las variables entre las prácticas de uso del suelo, fueron sometidas a la prueba de Anderson-Darling para cada horizonte o combinaciones de horizontes para cada tipo de suelo. Aquellas diferencias con $p < 0.05$ fueron consideradas estadísticamente significativas.

3. Resultados.

A continuación se exponen los resultados obtenidos de la aplicación de los materiales y métodos expuestos previamente.

3.1. Suelos.

Una vez analizados y clasificados los suelos se seleccionan los perfiles tipo (Anexo 1) y se determinan las Unidades Edáficas (UE) del mapa de suelos. La superficie correspondiente a las UE, se muestra en la Fig. 3.1, siendo los datos de superficie de los Grupos de Suelos de Referencia (*Reference Soil Groups*, RSG), los que se muestran en la tabla 3.1.

RSG	Área (ha)	Área (%)
Calcisol	11255.4	33.5
Regosol	10298.1	30.6
Luvisol	6369	18.9
Cambisol	3155.6	9.39
Leptosol	2346	6.98
Fluvisol	149.5	0.44
Vertisol	33.4	0.10
Total	33607	100

Tabla 3.1.: Superficie ocupada por cada Grupo de Suelos de Referencia de la zona de estudio.

Como suelos dominantes se clasificaron aquellos que ocupaban una superficie aproximada mayor del 20% de la unidad. Como suelos inclusión se clasificaron aquellos que ocupaban una superficie comprendida entre el 5 y el 20% de la unidad. Los suelos menos representativos no se tuvieron en cuenta a la hora de realizar la leyenda.

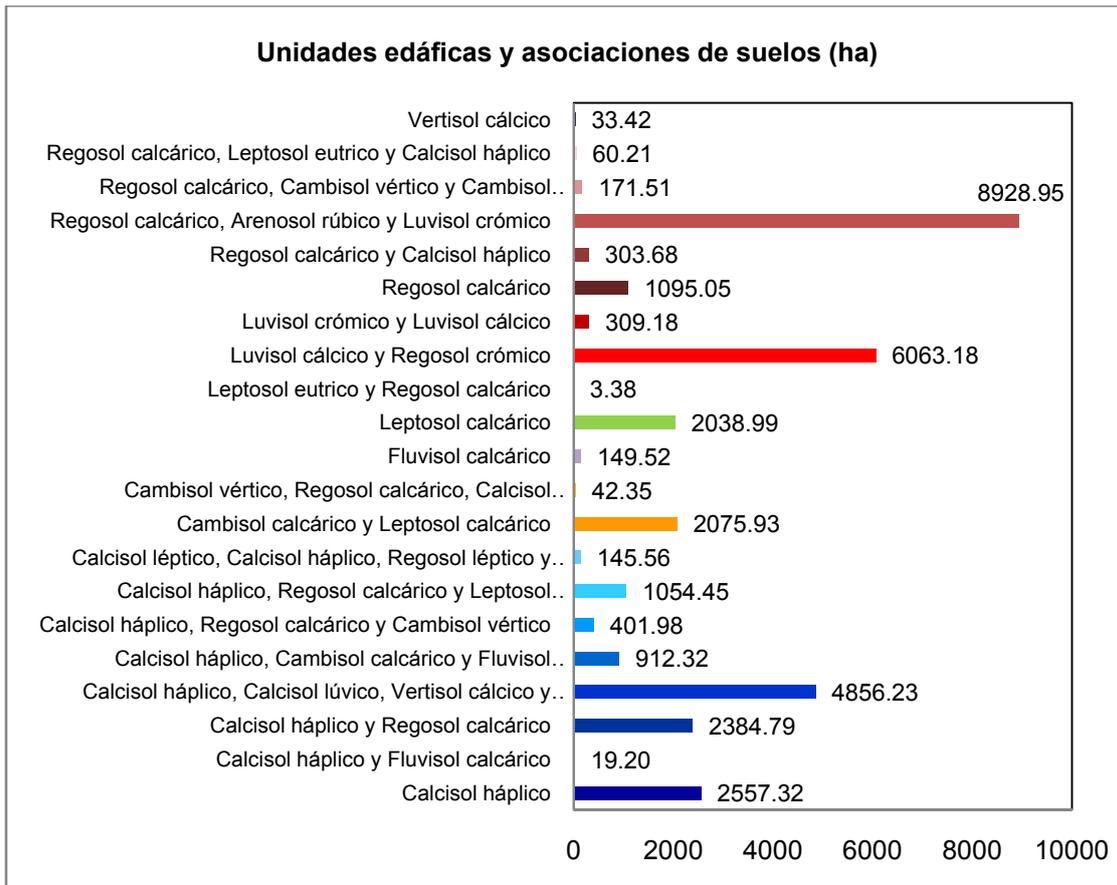


Fig. 3.1.: Superficie de las UE y asociaciones de suelos presentes en el área de estudio.

VERTISOLES

Los Vertisoles son suelos muy arcillosos que se mezclan y con alta proporción de arcillas expansibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo que ocurre en la mayoría de los años. Esta expansión y contracción alternada de arcillas expansibles provocan grietas profundas en la estación seca, y formación de *slickensides* y agregados estructurales cuneiformes en horizontes subsuperficiales. Se caracterizan por la existencia de un horizonte vértico de al menos 25 cm de espesor, en los primeros 100 cm desde la superficie. Ocupan posiciones fisiográficas deprimidas (llanuras y fondos de valle) donde periódicamente están mojadas en estado natural (Fig. 3.2).

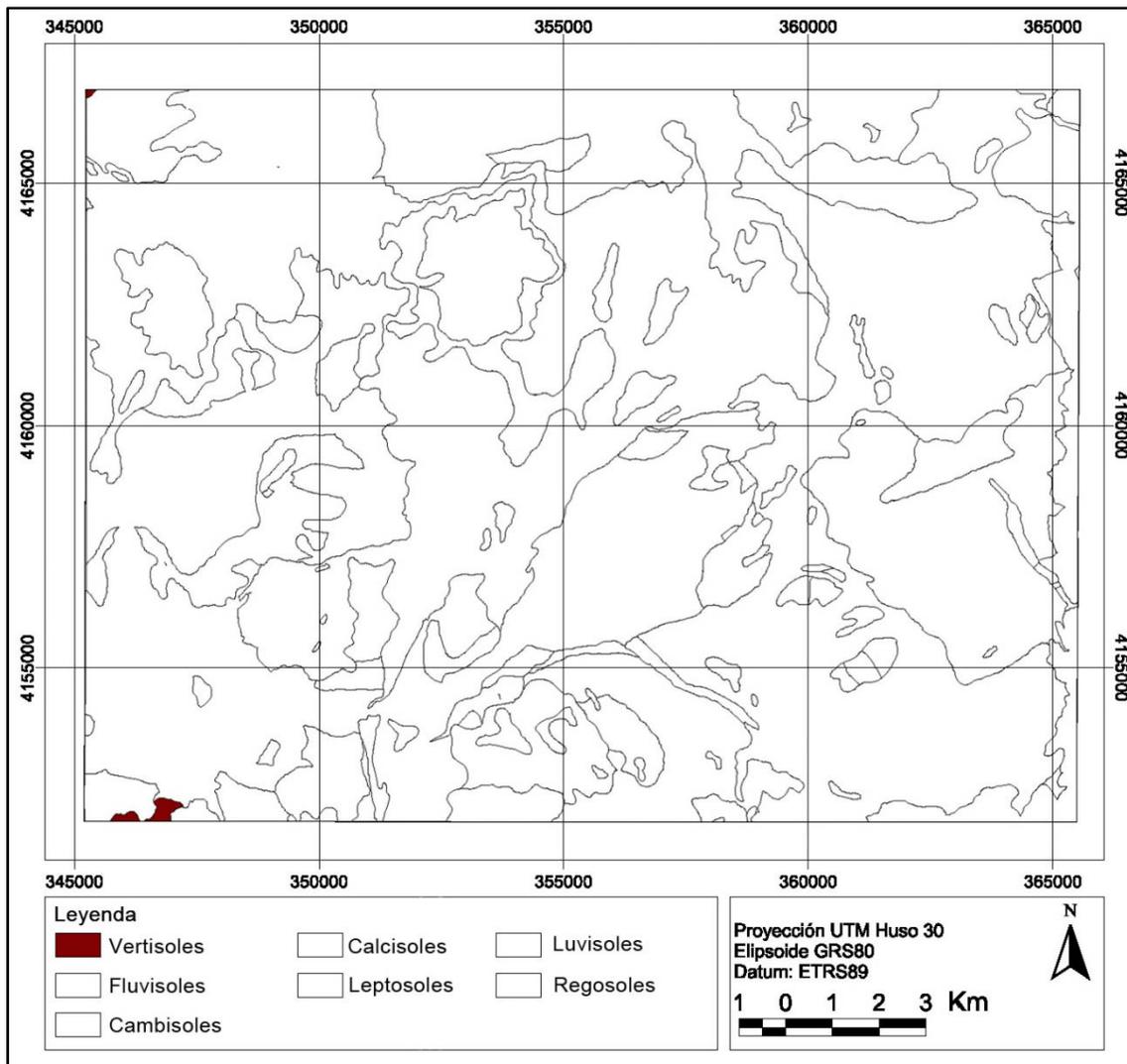


Fig. 3.2.: Mapa de suelos: Vertisoles.

Como unidad edáfica representa una porción muy pequeña de la zona estudiada (33.4 ha), aunque se encuentra en otras asociaciones de suelos como “suelo inclusión”, lo que conlleva que a la escala de la cartografía de suelos no se pueda delimitar. Son suelos profundos, desarrollados sobre margas, de color verde oliva, estructura fuertemente desarrollada, drenaje algo deficiente, textura arcillosa y grietas de retracción dada la presencia de arcillas de naturaleza esmectítica. Tienen pH en torno a 8 (ligeramente alcalino), alto contenido en carbonatos (en torno al 25%), alta capacidad de cambio catiónico aunque bajos contenidos en materia orgánica y baja relación C:N, con lo que la mineralización prevalece sobre la humificación y necesitan de aportes continuos de residuos orgánicos para ser aumentada. Son suelos sin salinidad, con valores inferiores a $0.26 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y con un contenido en macroelementos asimilables alto. En el caso de los oligoelementos asimilables tienen valores normales el Cu y el Zn y valores muy altos el Fe y el Mn.

FLUVISOLES

Son suelos jóvenes, desarrollados sobre sedimentos aluviales normalmente, aunque pueden existir en depósitos lacustres y marinos, en planicies, abanicos y valles de ríos.

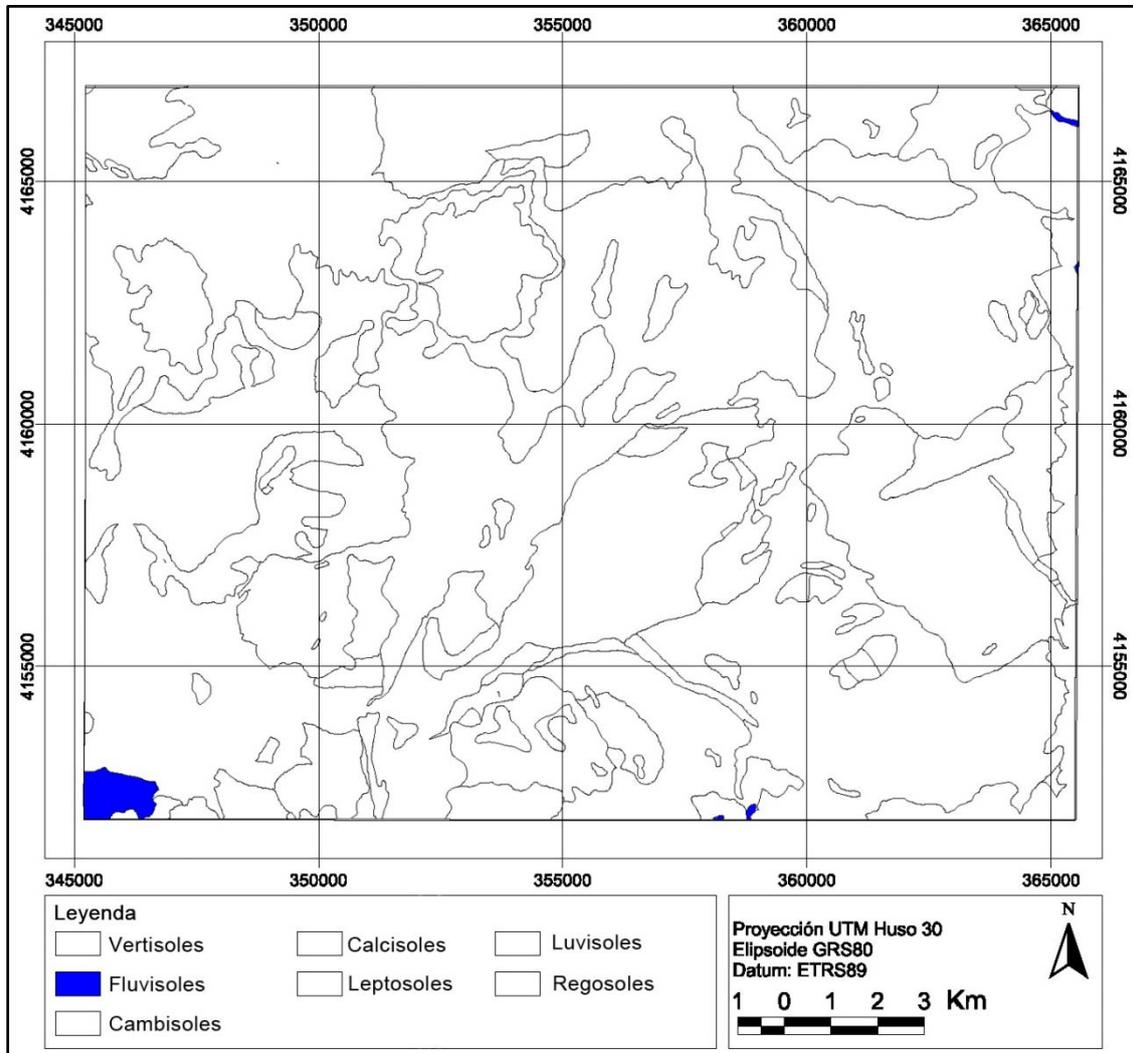


Fig. 3.3.: Mapa de suelos: Fluvisoles.

Se caracterizan por una estratificación (que es más deposicional que edafogénica) en, al menos, el 25% del volumen del suelo y con un decrecimiento irregular del contenido en carbono orgánico con la profundidad.

Estos suelos tienen escasa representación en la zona de estudio, dado que la escala de la cartografía de suelos es grande en comparación con el tamaño de la red fluvial, que es de pequeña magnitud. Ocupan una superficie de 149.5 ha (0.44%) y se localizan en el extremo sureste y en otras de pequeño tamaño (Fig. 3.3), sobre materiales aluviales recientes (arenas, limos y arcilla con cantos de caliza), son por tanto suelos jóvenes (poco evolucionados), en posiciones fisiográficas llanas o de valle, con poca pendiente (<3%), con fenómenos erosivos despreciables, muestran una secuencia de horizontes de

tipo A-C (aunque se diferencian varios A y C), profundos, de textura arcillosa y con una cantidad de agua utilizable por las plantas muy elevada.

En cuanto a otras propiedades destacables están la de ser carbonatados, con una saturación del complejo de cambio (S) del 100%, bajo contenido en materia orgánica al igual que de nitrógeno, con una relación C:N menor de 4 en el horizonte antrópico.

CAMBISOLES

Son suelos con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial incipiente. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y decoloración principalmente parduzca, incremento en el porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos. Se caracterizan por meteorización ligera a moderada del material parental y por ausencia de cantidades apreciables de arcilla iluvial y materia orgánica.

Son suelos muy abundantes en el área estudiada, con una superficie ocupada de 3155.6 ha (9.39% del total), localizadas en la Sierra de Montilla y en una franja de 3 km de longitud al noreste del núcleo de Aguilar de la Frontera por la que discurre el río Cabra (Fig. 3.4). Los materiales parentales son blandos (margas y margocalizas del Cretáceo), que junto con las condiciones climáticas hacen que se favorezca la formación de este tipo de suelos. Poseen un perfil A-Bw-C, aunque en este caso se muestra en forma de transición B/C con existencia de un endopedión cámbico, de espesor medio 50 cm cuyo límite inferior se sitúa en torno a los 80 cm desde la superficie, posee un enriquecimiento en arcilla respecto sobre el que subyacente y la movilización de carbonatos hacia el horizonte C (en este caso no es muy grande porcentualmente). Los Cambisoles de la zona de estudio son suelos profundos (120 cm), hecho favorecido por la litología blanda sobre la que se desarrollan, tienen textura franco limosa en superficie y arcillo limosa en profundidad, sin pedregosidad y con buen drenaje. Plásticos, muy adherentes, firmes y duros. Presentan los típicos valores de CIC para suelos de textura franca, en torno a los 15-18 meq·100 g⁻¹ de suelo, se encuentran saturados y con una buena relación C:N en superficie (>9) que supone una fertilidad media-buena. Tienen pH ligeramente alcalino, una conductividad eléctrica menor de 0.12 dS·m⁻¹ y alto contenido en carbonato cálcico en todos los horizontes.

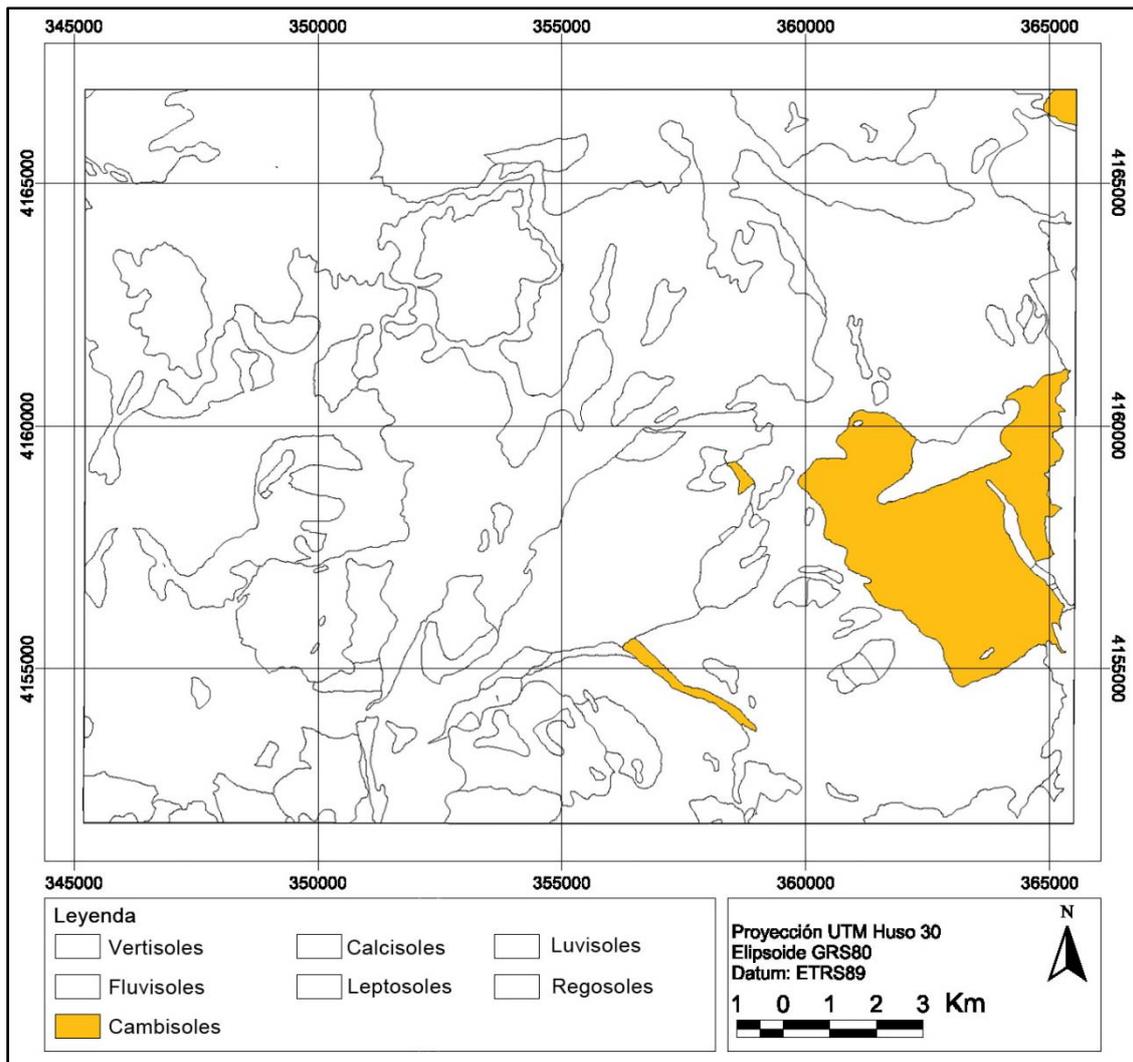


Fig. 3.4.: Mapa de suelos: Cambisoles.

CALCISOLES

Son suelos en los que hay una acumulación secundaria de carbonato cálcico y con frecuencia asociados a materiales parentales altamente calcáreos. Los Calcisoles del área estudiada se caracterizan por una secuencia de horizontes Ap-Ck, con acumulación de carbonato cálcico en profundidad, en ocasiones fuertemente cementado en un horizonte petrocálcico, encontrándose ampliamente representado (11255.4 ha) (Fig. 3.5). También se encuentran Calcisoles lépticos. Se localizan en litologías blandas (areniscas, margas, margocalizas y margas arenosas) y asociado con Regosoles, Leptosoles y Fluvisoles.

Son suelos con pH neutro o ligeramente alcalino, coloración pardo oscura o grisácea a pardo amarillenta en profundidad, textura franca, a veces franco arenosa y con drenaje bueno o moderado. Los contenidos en materia orgánica son menores del 2%, llegando en algún caso al 3%, con una relación C:N que ronda el valor de 10. En cuanto a la erosionabilidad de los suelos varía entre $0.2-0.5 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$, presentándose los menores en perfiles con fuerte

desarrollo de la estructura, texturas francas y contenido mayor de materia orgánica y los valores mayores en suelos con baja materia orgánica, estructura moderadamente desarrollada y texturas limosas y arenosas. Presentan una CIC entre 20-35 meq·100 g⁻¹ suelo, con el complejo de cambio saturado en bases en la mayoría de los casos, aunque los hay que no llegan al 70% y uno que es del 22% en el horizonte Ap. No presentan problemas de salinidad en casi ningún perfil (conductividad eléctrica <1 dS·m⁻¹), pero en dos de ellos se llegan a valores de 5 y 8 dS·m⁻¹ en profundidad.

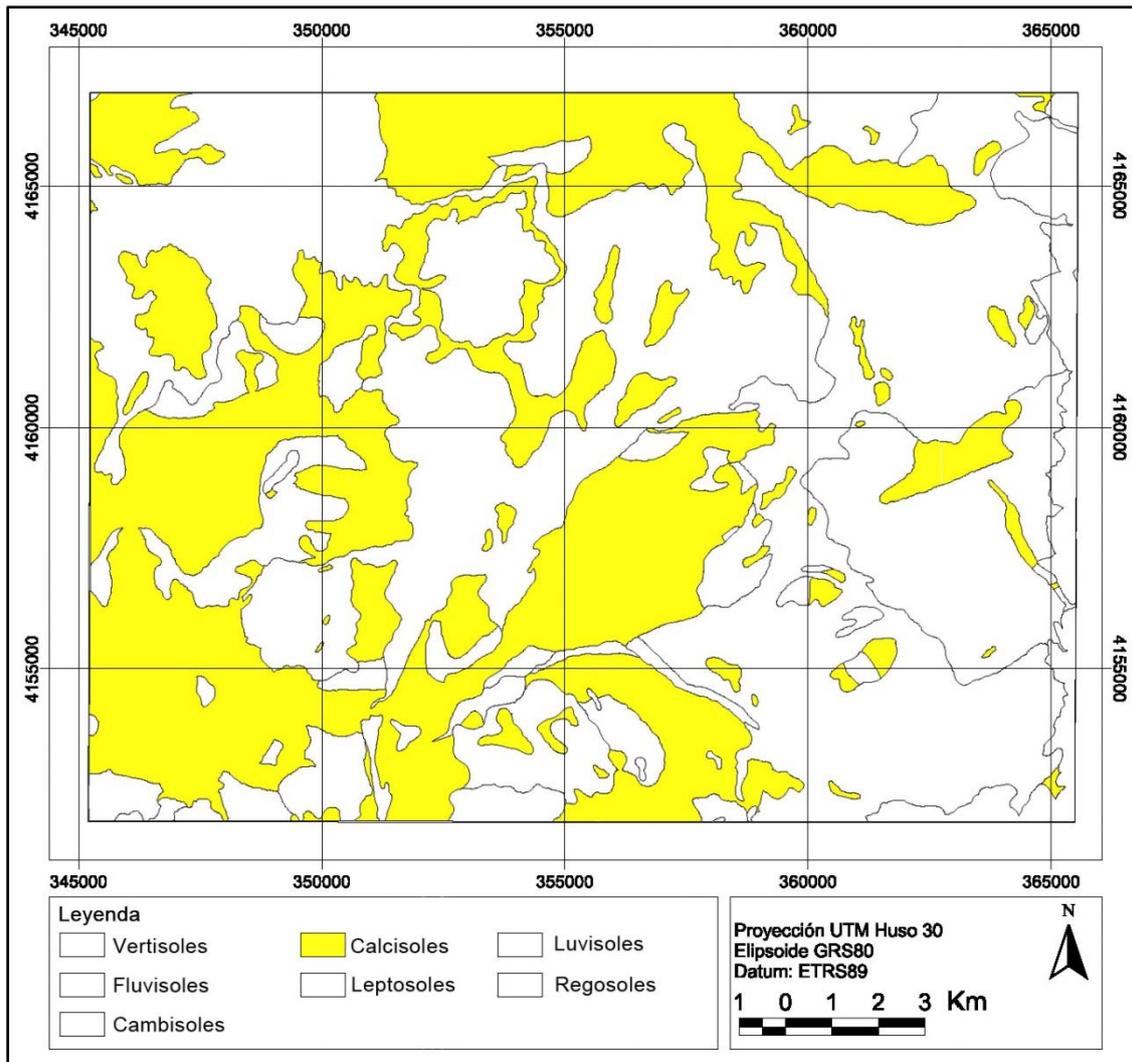


Fig. 3.5.: Mapa de suelos: Calcisoles.

LEPTOSOLES

Los Leptosoles son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos. Se consideran suelos azonales, (Baldwin *et al.*, 1938) que se encuentran en las primeras etapas de su desarrollo, por no poder haber actuado los procesos edafogénicos el tiempo suficiente, por lo que los caracteres predominantes son los debidos a la roca madre.

Ocupan una superficie total de 2346 ha, lo que supone un 6.98% de la zona de estudio (Fig. 3.6). Tienen poco espesor, entre 10-30 cm, con un único horizonte (Ap/Apk) y sobre litologías que van desde margas del Mioceno hasta calizas duras del Jurásico. Los procesos erosivos se manifiestan con fuerza, ocupan posiciones fisiográficas de ladera con pendientes superiores al 21%. El color varía de pardo grisáceo, pardo rojizo hasta pardo amarillento. Poseen buen drenaje, pedregosidad nula sobre rocas blandas y muy abundantes sobre materiales duros. De forma análoga ocurre con los afloramientos rocosos. Estructura subpoliédrica, migajosa o granular desarrollada de manera muy variable (fuerte, moderada y débil). La textura suele ser franca y en un caso franco arcillosa, con un contenido de gravas del 21-57%. La densidad aparente media es de $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Poseen un pH que oscila de 7 a 8.1 y cantidades de materia orgánica superiores al 2%. Pero más importante es la relación C:N, que muestra valores por encima de 8 y llega hasta 11, que pone de manifiesto que existe un buen equilibrio entre la mineralización y la humificación. En cuanto a la fertilidad química de estos suelos los valores de CIC están entre $13\text{-}50 \text{ meq}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de suelo.

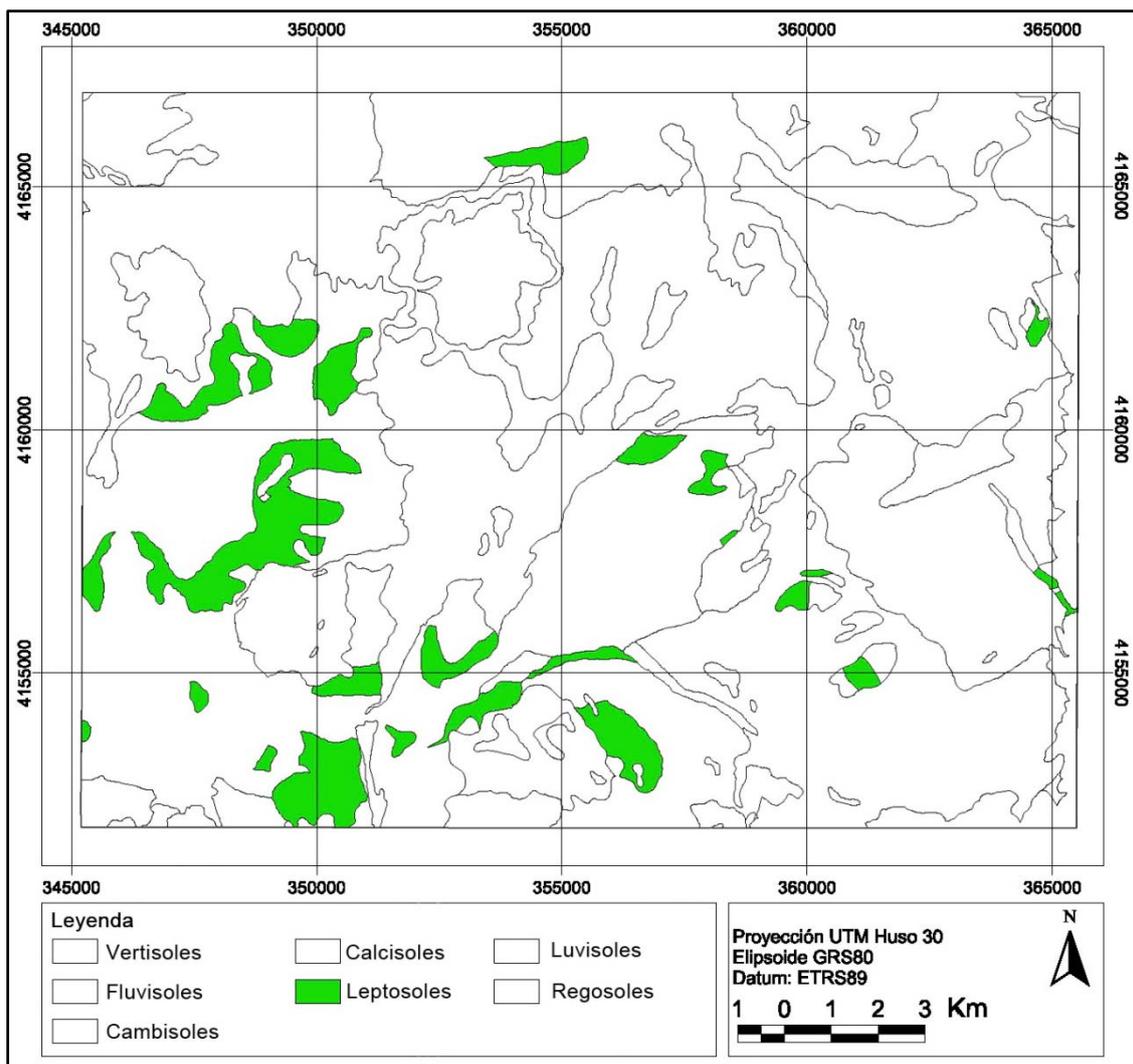


Fig. 3.6.: Mapa de suelos: Leptosoles.

LUVISOLES

Los Luvisoles son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) que lleva a un horizonte subsuperficial árgico, con arcillas de alta actividad y alta saturación en bases a ciertas profundidades.

Se desarrollan sobre una amplia gama de materiales no consolidados y depósitos aluviales y coluviales, en el caso estudiado, arenas, arcillas y limos, margas arenosas y margas yesíferas. La extensión de este tipo de suelos es de 6369 ha (18.9%) y se localizan en posiciones fisiográficas de terrazas fluviales y lomas inestables, con pendientes entre el 0-8%, pudiendo llegar en ocasiones hasta el 16% (Fig. 3.7).

Muestran un perfil típico Ap-Bt-Ck, en la zona de estudio, con un horizonte antrópico, horizonte enriquecido en arcilla respecto el suprayacente por traslocación de arcilla y un horizonte C que acumula gran cantidad de carbonatos. Suelen encontrarse truncados, habiéndose perdido el horizonte eluvial E, aunque puede entenderse como una ventaja desde el punto de vista agronómico, puesto que suelen tener una estructura laminar poco favorable al desarrollo radicular de las plantas de cultivo por ocasionar condiciones reductoras temporales. En la zona de estudio no se presenta el horizonte eluvial (E).

Son suelos profundos, de textura franco limosa o franco arcillosa y estructura poliédrica o angular moderadamente desarrollada, en ocasiones granular. La presencia de gravas no suele ser importante. Esta riqueza en limo los hace susceptibles al deterioro de la estructura al labrarse mojados con maquinaria pesada, algo muy común en esta zona.

Tienen pH alcalino-ligeramente alcalino, un contenido en materia orgánica mayor que en otros suelos de la zona (hasta 1.7%) que disminuye con la profundidad, al igual que la relación C:N.

Los contenidos en oligoelementos asimilables (hierro, manganeso, cobre y zinc) se encuentran en niveles normales.

REGOSOLES

Son suelos débilmente desarrollados sobre materiales no consolidados, que suelen ser de grano fino, no tienen horizontes de diagnóstico y el desarrollo del perfil es mínimo como consecuencia de la edad joven o lenta formación. Los Regosoles forman un grupo remanente taxonómico que contiene todos los suelos que no pudieron acomodarse en alguno de los otros RSG. En la práctica, los Regosoles son suelos minerales muy débilmente desarrollados en

materiales no consolidados que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros ni muy ricos en gravas (Leptosoles), arenosos (Arenosoles) o con materiales flúvicos (Fluvisoles).

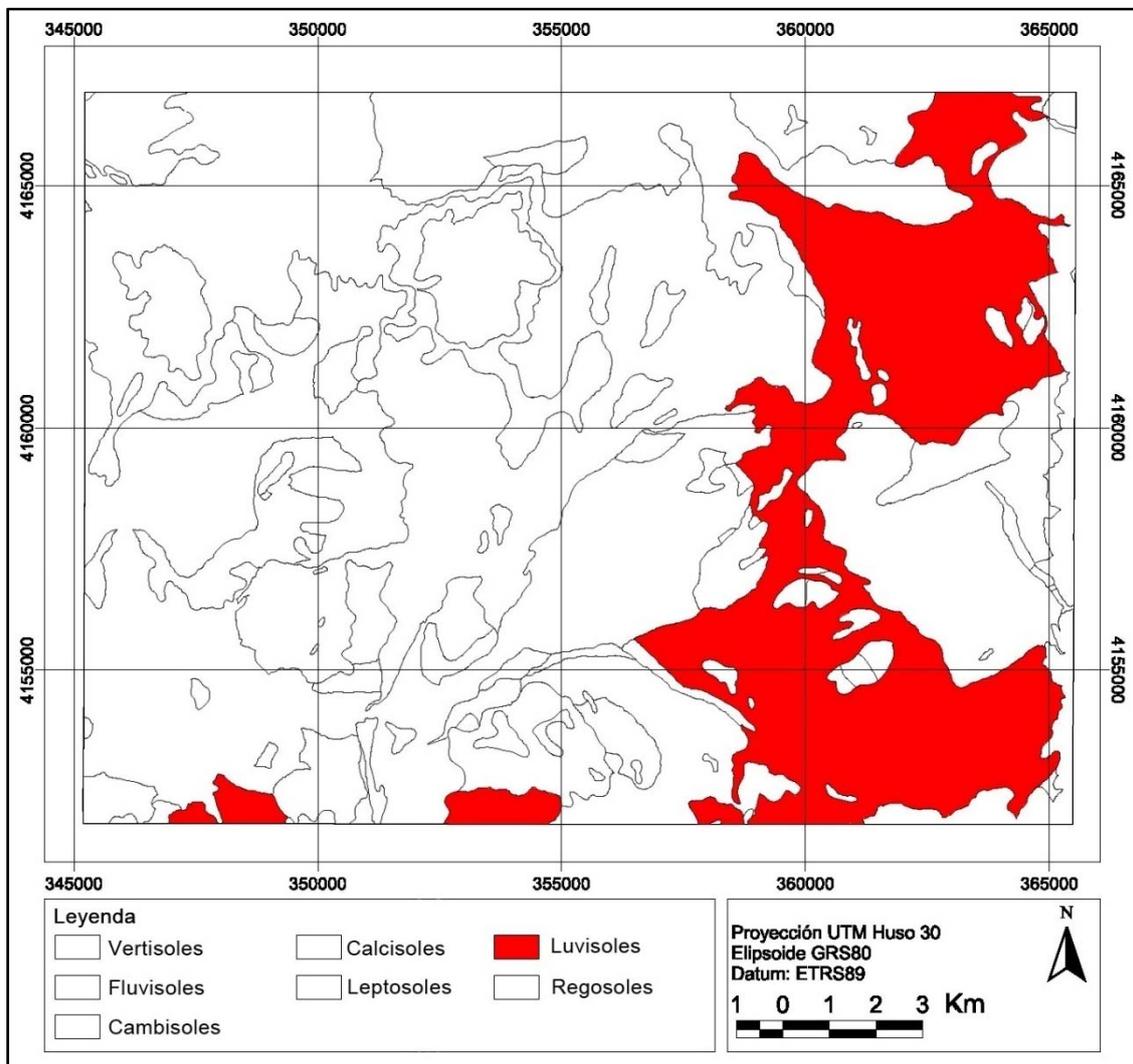


Fig. 3.7.: Mapa de suelos: Luvisoles.

Se desarrollan sobre margas arenosas y margas del Terciario y ocupan una importante superficie del área estudiada (10298.1 ha), localizados en el sector noroeste y central, en posiciones fisiográficas de llanuras y lomas inestables disectadas, mayoritariamente (Fig. 3.8).

Presentan texturas francas o arcillo limosas en el horizonte superficial y contenidos en gravas que hasta el 25%, aunque predominan los valores en torno al 5%. Estructura subangular o angular débil o moderadamente desarrollada. Muestran una erosionabilidad elevada ($0.58 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$), aunque en algunos casos son más bajos (0.33 y $0.15 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$), cuando la textura se hace más arcillosa y la estabilidad de la estructura se hace más patente.

Los contenidos en materia orgánica son muy bajos, por debajo del 0.5%, lo que unido a los exiguos valores de nitrógeno, dan una relación C:N que se encuentra en valores inferiores a 10 (excesiva liberación de nitrógeno).

El pH es alcalino a ligeramente alcalino, debido a los altos contenidos en bases de cambio. Los valores de Ca^{2+} en el complejo de cambio son altos o muy altos al igual que los de Mg^{2+} . Los valores del ión K^+ , son normales, aunque con una amplia variabilidad y los Na^+ son normales o bajos. En cuanto a los valores de CIC hay que comentar que son medios (oscila entre 9.5 y 38.7 $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$) y en ocasiones llegan a ser medios-altos. La saturación en bases es del 100%. En cuanto a los oligoelementos asimilables, presentan niveles medios altos para el Fe y el Zn y normales para el Mn y el Cu.

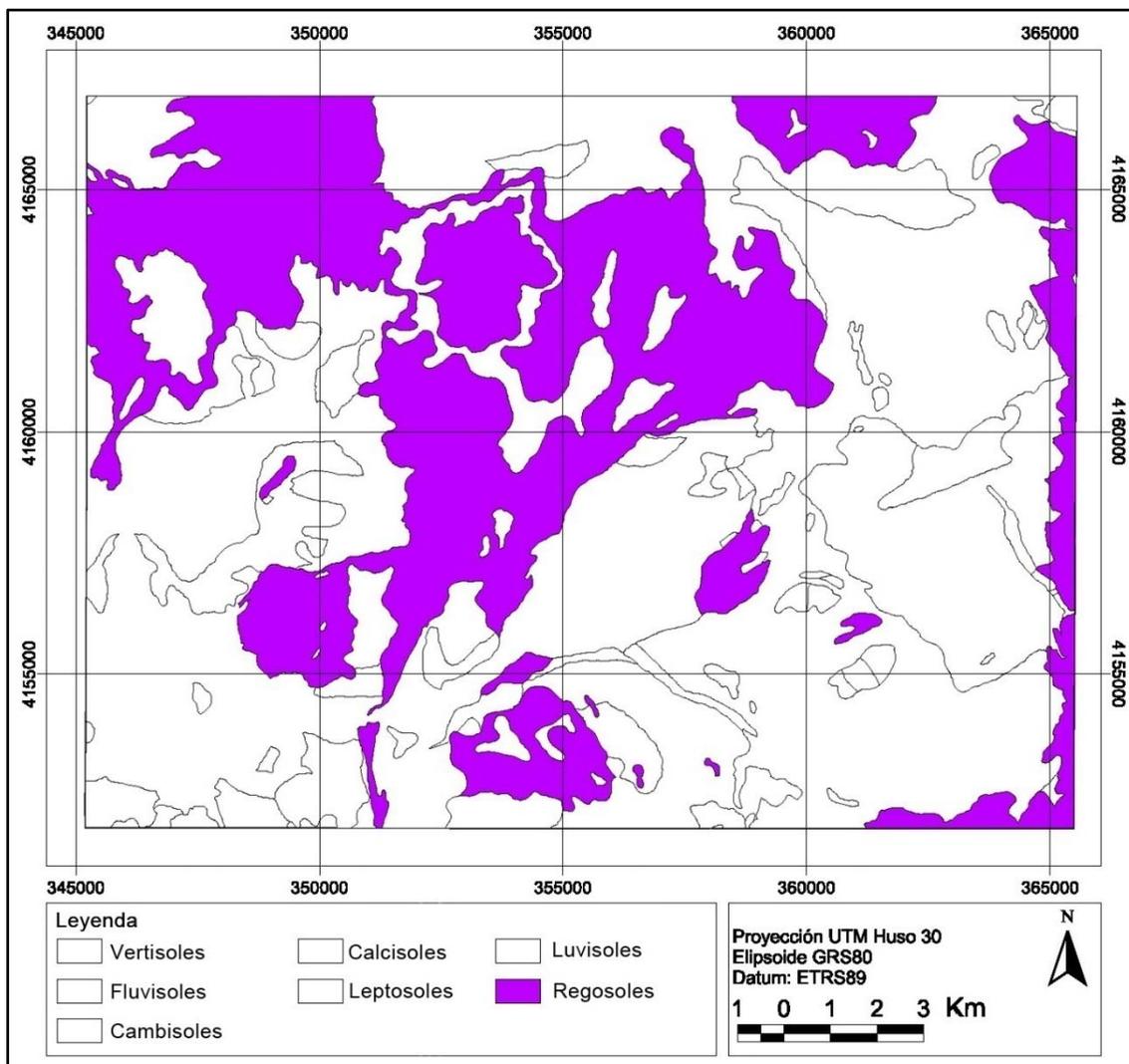


Fig. 3.8.: Mapa de suelos: Regosoles.

3.2. Erosión hídrica.

Los terrenos de la zona de estudio presentan unas tasas de pérdida de suelo, expresadas en $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, que se muestran en la tabla 3.2 y localizados en las áreas que se muestran (Fig. 3.9).

Nivel de erosión	Tasa de erosión ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)	Área (ha)	Área (%)
Sin datos	-	1245.2	3.70
Inapreciable	0-5	177.7	0.53
Muy Bajo	5-10	950.3	2.83
Bajo	10-25	6620.5	19.7
Moderado	25-50	17085.3	50.8
Alto	50-100	5747.9	17.1
Muy Alto	100-200	1536.1	4.57
Irreversible (fase lítica)	>200	244.2	0.73
Total		33607.2	100

Tabla 3.2: Tasa de erosión de los suelos de la zona de estudio.

Como puede observarse, un 50% de la superficie de la zona estudiada tiene tasas de pérdidas de suelo de $25-50 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, siendo este intervalo el nivel erosivo con mayor presencia. Se caracteriza la zona de la Sierra de Montilla con tasas de erosión Alta, Muy Alta llegando a Irreversible. Las zonas de valle del Río Cabra, Arroyo del Salado y Carchena, presentan tasas de erosión Muy Bajas y Bajas y con áreas de pérdida de suelo Inapreciables.

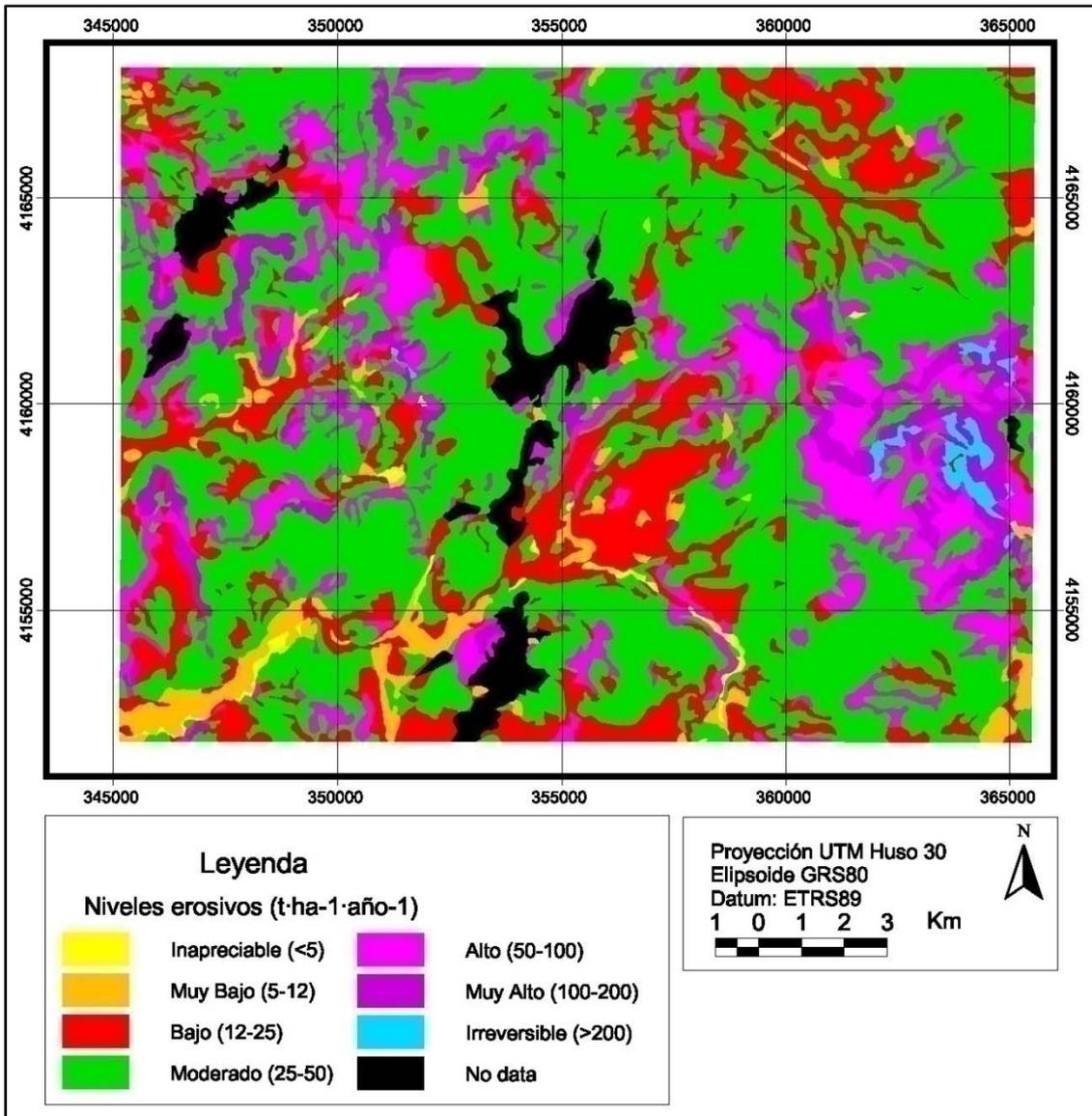


Fig. 3.9: Niveles erosivos de los suelos de la zona de estudio.

Factor R.

Los valores obtenidos oscilan entre 58-80 J·m⁻²·cm·h⁻¹, con mínimos en las zonas de valle (Arroyo del Salado, Carchena y Río Cabra) con altitud en torno a los 300 m y máximos en la Sierra de Montilla, en donde se alcanzan los 700 m de altitud, la pluviometría es mayor y por tanto, la agresividad de la lluvia es mayor (Fig. 3.10).

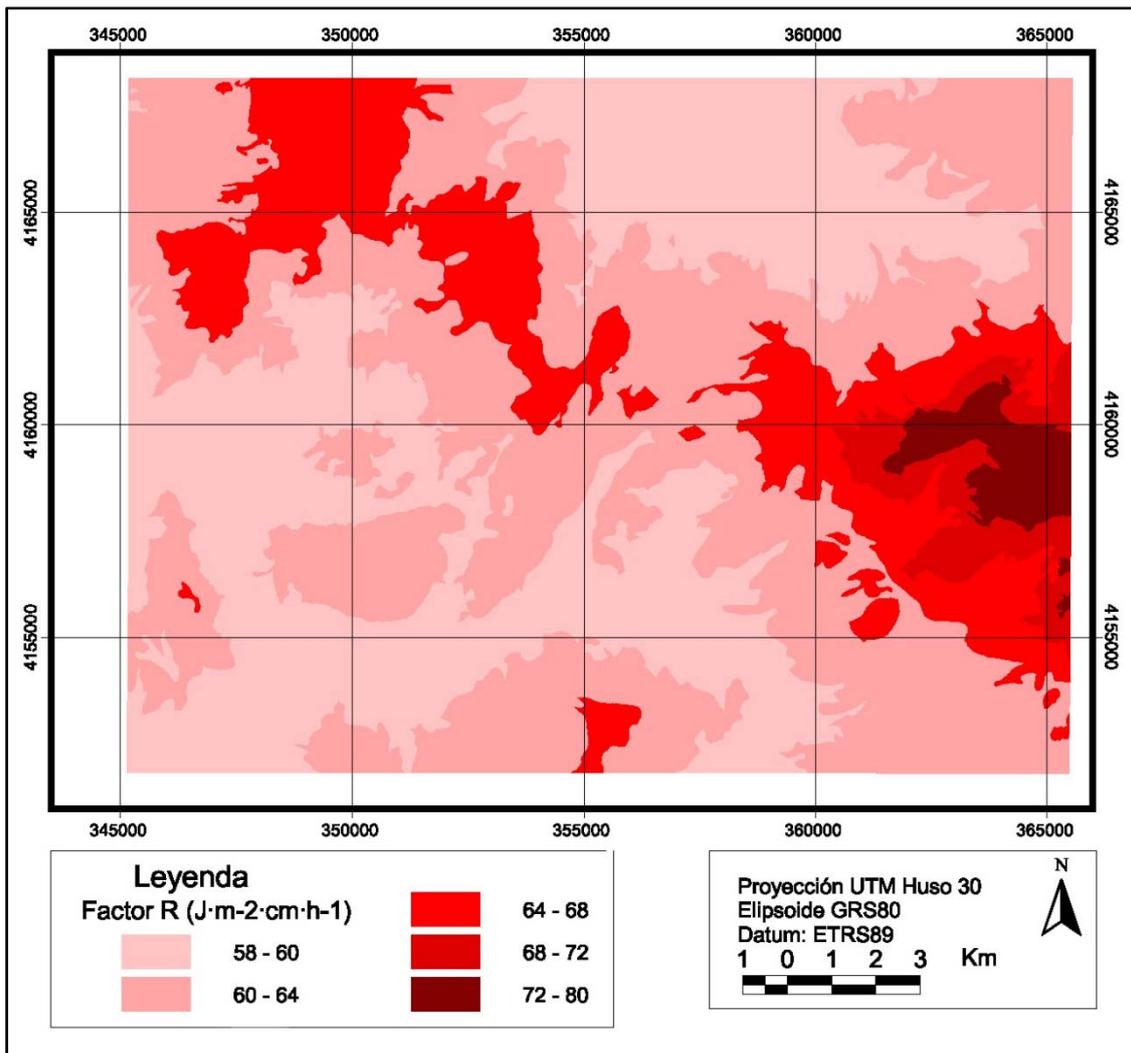


Fig. 3.10: Valores obtenidos del factor R de la USLE (1978) en la zona de estudio.

Factor K.

La erosionabilidad (K) que presentan los suelos de la zona estudiada es en muchos casos muy elevada, con valores que llegan a $0.625 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$. La distribución por superficie se muestra en la tabla 3.3 y la localización de los suelos y el factor K de los mismos en la Fig. 3.11.

Factor K	Perfiles nº	Área (ha)	Área (%)
0.151-0.250	7,8,9,19 y 23	1466.2	4.36
0.250-0.333	5,6, 18,20 y 24	3001.2	8.93
0.333-0.449	1,2,4,16,17,21 y 22	3066.9	9.11
0.449-0.553	3,10,11,13 y 15	15068.3	44.8
0.553-0.625	12 y 14	11004.6	32.7
Total		33607.2	100

Tabla 3.3: Intervalos del factor K de los suelos y superficie que ocupan en el área estudiada.

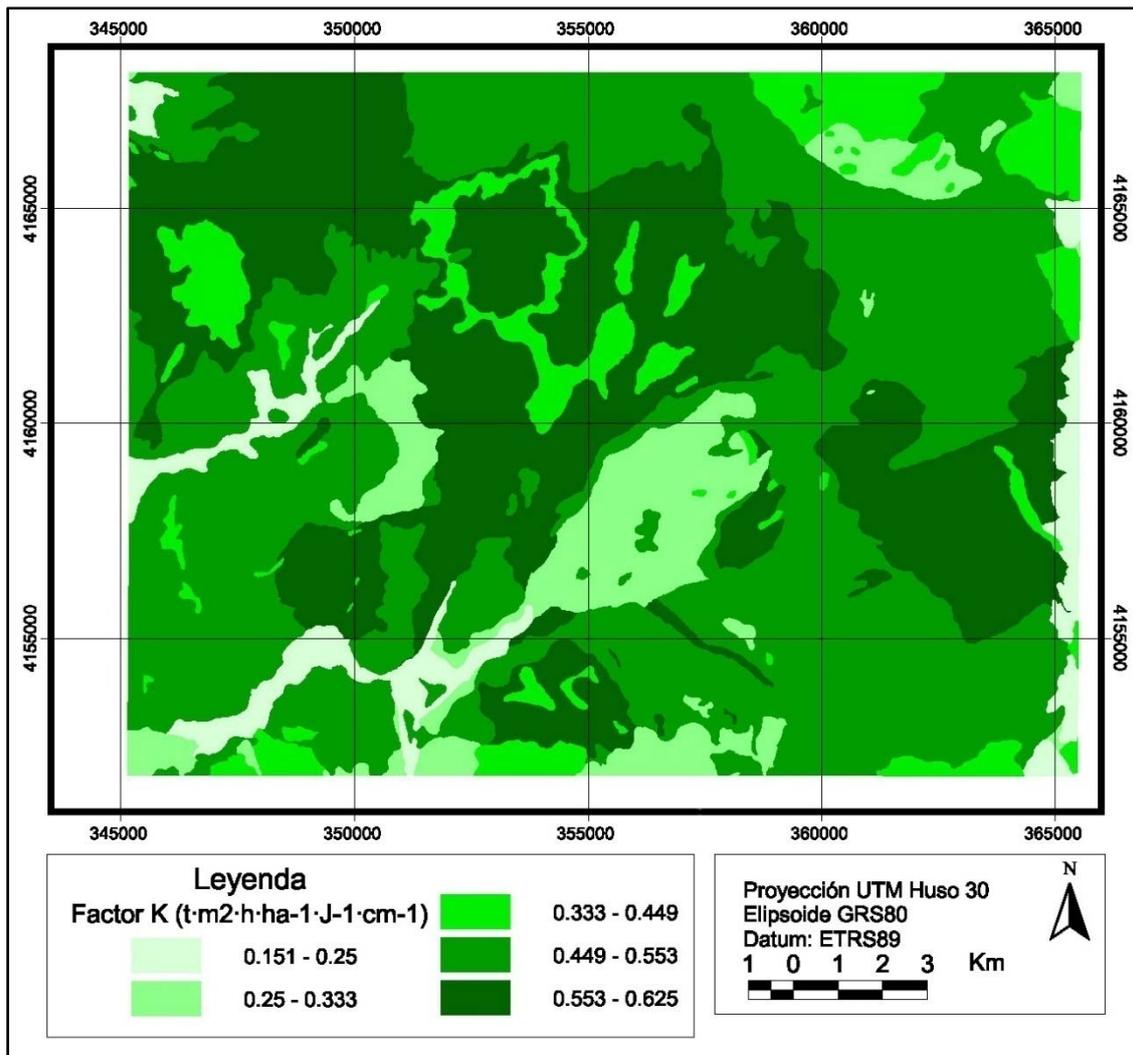


Fig. 3.11: Valores obtenidos del factor K de la USLE (1978) en la zona de estudio.

Estos valores elevados del factor K (0.580 y $0.625 t \cdot m^2 \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot J^{-1} \cdot cm^{-1}$) se deben a los bajos contenidos en MO, permeabilidad moderada, textura limosa con bajos contenidos en arcilla en el horizonte superficial y grado moderado de la estructura y los presentan algunos Regosoles y Cambisoles.

Factor LS.

Este factor combinado LS, depende del valor de la pendiente y de la longitud de la misma. En la determinación de la longitud de la pendiente se ha tenido en cuenta, en aquellas unidades de gran tamaño con diferentes pendientes y longitudes, determinar el factor LS como valor medio de varias longitudes de pendiente y sus correspondientes inclinaciones.

Los valores obtenidos del factor LS en la zona de estudio (Tabla 3.4 y Fig. 3.12) oscilan entre 0.53 y 23.1 , con pendientes de $1-55\%$ y longitudes de $30-1000$ m.

Factor LS	Área (ha)	Área (%)
<1	36.4	0.11
1-2	1350.9	4.02
2-5	22466.5	66.8
5-10	9284	27.6
>10	469.4	1.40
Total	33607.2	100

Tabla 3.4: Valores del factor LS obtenidos en el área estudiada.

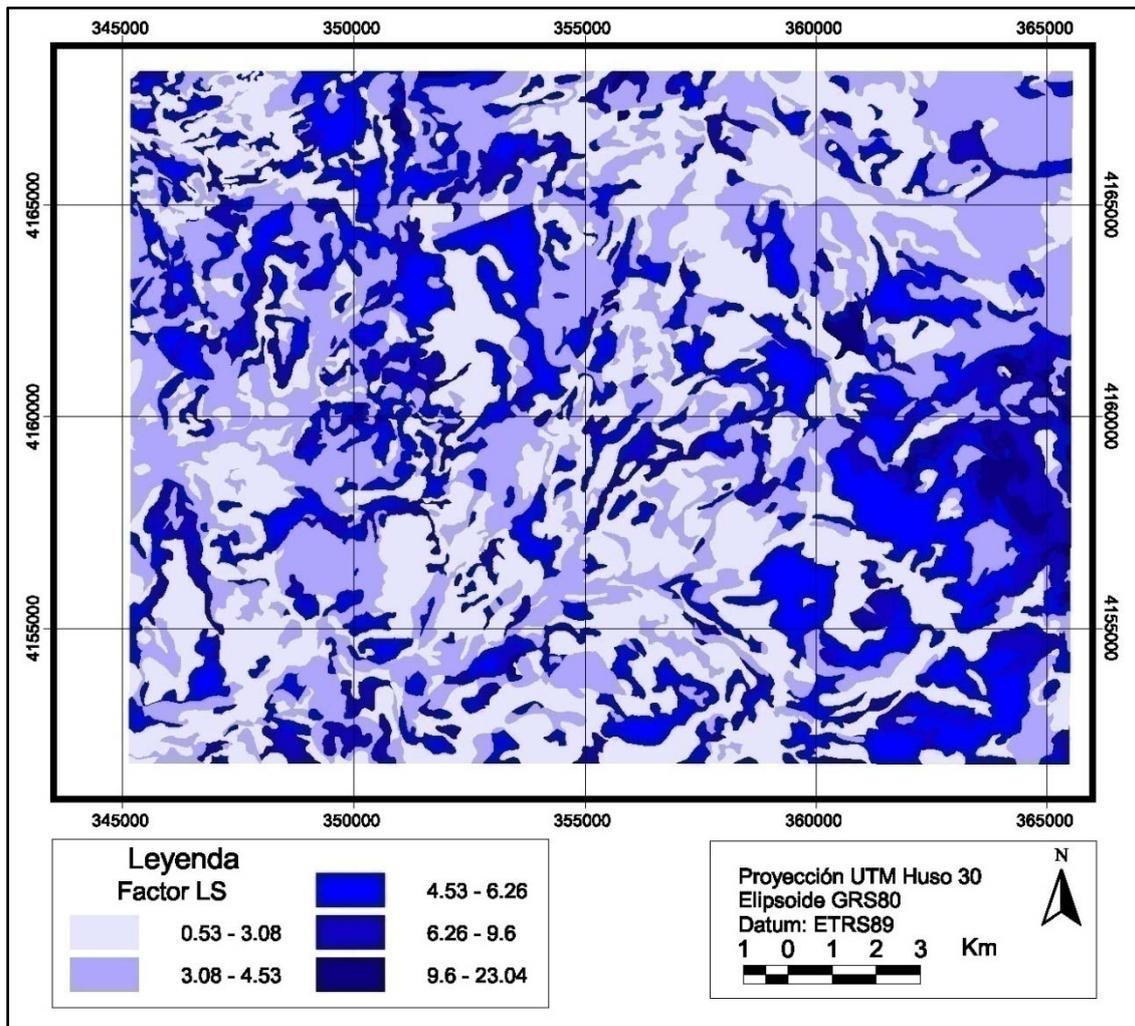


Fig. 3.12: Valores obtenidos del factor LS de la USLE (1978) en la zona de estudio.

Factor C.

A partir de la cartografía temática de los usos del suelo de la zona de estudio (Martín-Carrillo, 2009) se asignan los valores según ICONA (1987) obteniéndose la superficie ocupada para cada valor del factor C (tabla 3.5 y Fig. 3.13)

Usos del suelo	Factor C	Área (ha)	Área (%)
Improductivo	1	1300.8	3.87
Cultivo de regadío	0.547	147.3	19.1
Cultivos arbóreos y cultivos de secano	0.428	25440.2	0.44
Cultivos herbáceos de secano	0.466	6410.1	75.7
Erial a pastos, mat. disperso y arb. con fcc < 0.2	0.185	42.9	0.13
Pastizales permanentes	0.150	63.6	0.19
Arbustos y matorral	0.110	27.9	0.08
Arbolado con cubierta > 0.7	0.025	174.2	0.52
Total		33607.2	100

Tabla 3.5: Valores del factor C de la USLE (1978) obtenidos en el área de estudio.

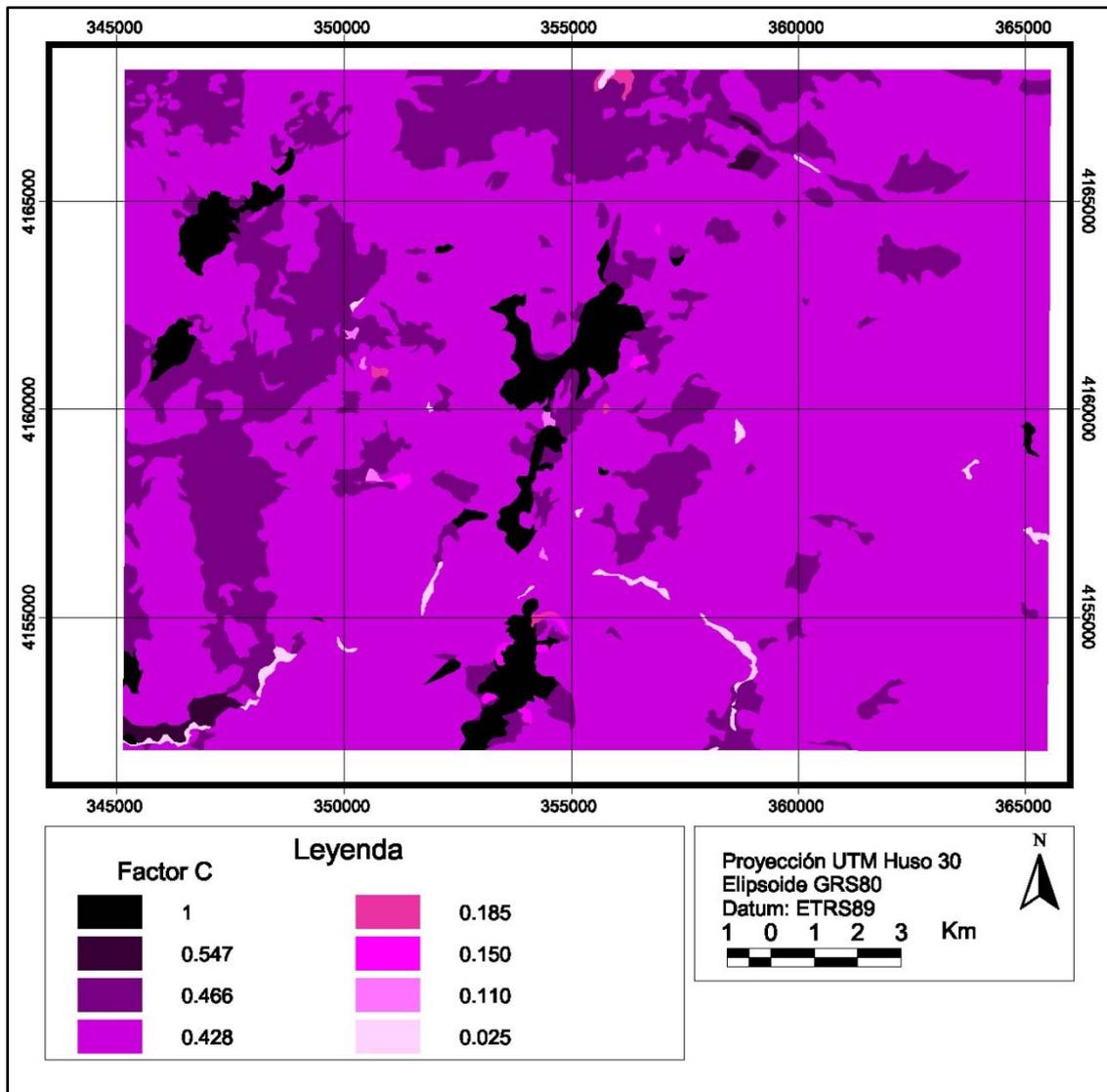


Fig. 3 13: Valores obtenidos del factor C de la USLE (1978) en la zona de estudio.

Factor P.

En la zona de estudio las prácticas de conservación de los suelos son prácticamente inexistentes y en los pocos casos que se observan, son muy reducidas y no cartografiables debido a la escala de trabajo. Los resultados del factor P y la superficie que afectan se muestran en la tabla 3.6 y la Fig. 3.14.

Factor P	Área (ha)	Área (ha)
0.5	9299.6	27.7
0.6	2406.9	7.16
0.65	15714.5	46.7
0.8	3822.6	11.4
0.9	2085.4	6.21
1	278.2	0.83
Total	33607.2	100

Tabla 3.6: Valores del factor P de la USLE (1978) obtenidos en el área de estudio.

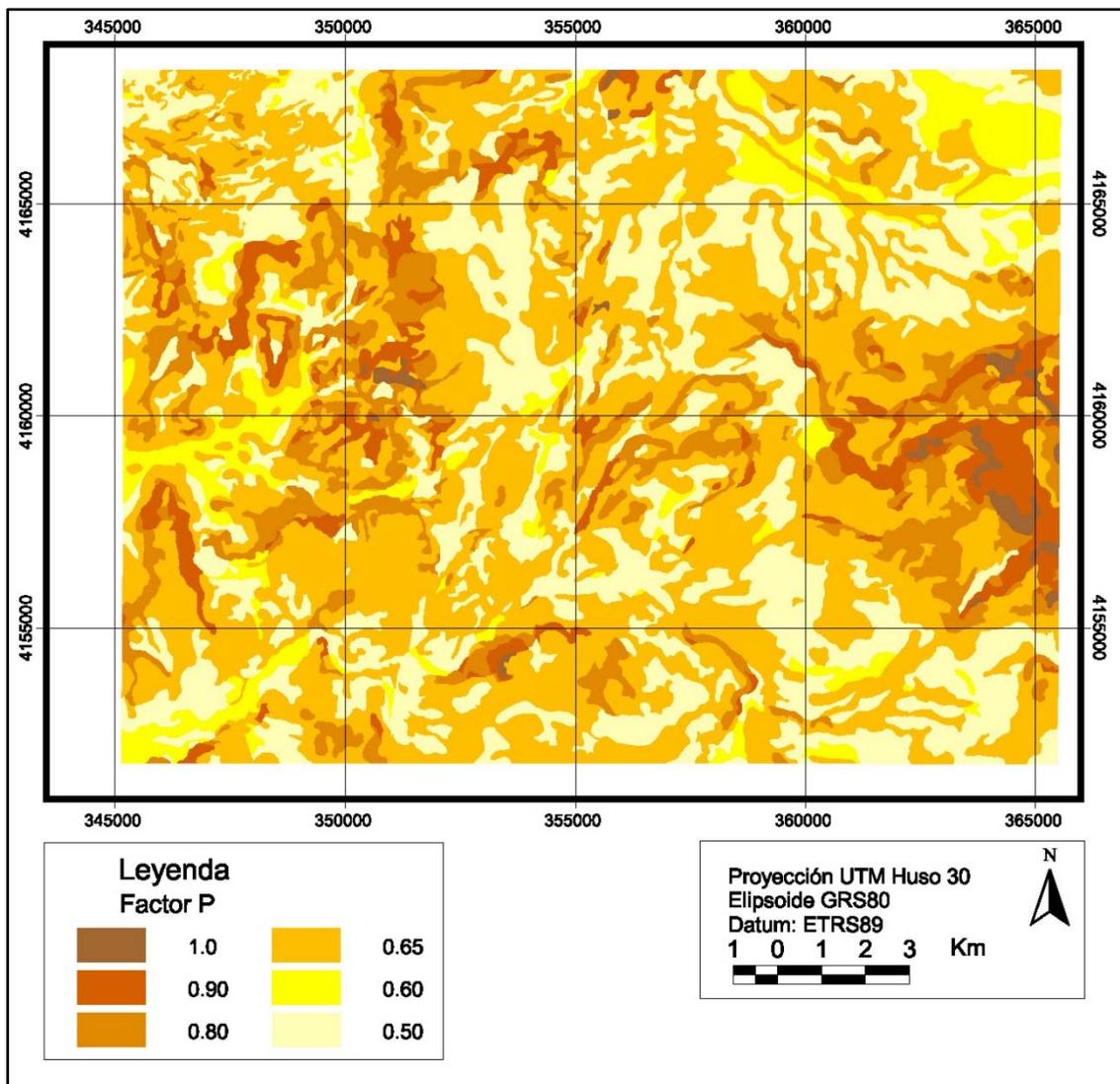


Fig. 3.14: Valores obtenidos del factor P de la USLE (1978) en la zona de estudio.

3.3. Clases de Capacidad de Uso.

A continuación se describen los resultados obtenidos, a nivel de Clases, aplicando la metodología descrita en el segundo capítulo, en donde se diferencian tres apartados. Considerando 12 factores limitantes, al igual que la metodología original; teniendo en cuenta 11 factores, todos menos el déficit hídrico y por último 9 factores, en donde se han eliminado además del anterior, el exceso de agua y las limitaciones térmicas.

3.3.1. Clases de Capacidad de Uso (12 factores).

Considerando los **12 factores** limitantes, la distribución de la Capacidad de Uso es la que muestra la tabla 3.7.

Clase	Área (ha)	Área (%)
B	3.88	0.01
C	6717.33	19.99
D	21959.07	65.34
E	4926.93	14.66
Total	33607.21	100

Tabla 3.7: Distribución de las Clases de Capacidad de Uso considerando 12 factores limitantes.

Clase A, suelos con Capacidad de Uso muy elevada con poca o ninguna limitación y sin riesgos de erosión o muy ligeros, no se encuentra presente en el área estudiada.

Clase B, suelos con elevada Capacidad de Uso, con limitaciones y erosión moderada y susceptible de utilización agrícola moderadamente intensiva, necesitando un manejo y prácticas de conservación en mayor medida que los anteriores. Su presencia se podría calificar de anecdótica con sólo 3.88 ha, situada al sur de la población de Aguilar, sobre margas del Mioceno Inferior, en posiciones fisiográficas de lomas inestables disectadas.

Clase C, suelos con Capacidad de Uso moderada y cuyas limitaciones son más acentuadas, con riesgo de erosión elevado, aunque aptos para una utilización agrícola poco intensiva. Están ampliamente representada en el área estudiada con una superficie de 6717 ha (un 20% del total estudiado), en los alrededores del núcleo de La Rambla y Aguilar, en una amplia franja central que rodea a Montilla y otras localizaciones menores como las de Piedra Luenga, Casenores, La Salina y Haza de la Vaca.

Se encuentran, mayoritariamente, sobre arenas, limos y margas amarillas con intercalaciones de calcarenitas (18.5% del total) y otras litologías como

margas blancas (1.09%), calizas (0.27%), margas yesíferas (0.08%) y calcarenitas (0.01%).

Dominan en los suelos de esta clase las fisiografías llanas y suavemente inclinadas (6243 ha), en donde la unidad fisiográfica dominante son las llanuras inestables disectadas (6222 ha), siendo el resto llanuras estables no disectadas y llanuras de inundación actuales; fisiografías onduladas, suavemente inclinada a moderadamente inclinada (394 ha) con una única unidad constituida por lomas inestables disectadas y finalmente fisiografías suavemente inclinadas a moderadamente inclinadas con pendientes rectilíneas (83.7 ha) en donde aflora el nivel de corrosión kárstico. Los suelos que se diferencian son los que se muestran en la tabla 3.8, en donde cabe destacar que esta clase se presenta en Regosoles mayoritariamente, seguido de Calcisoles, Luvisoles y Fluvisoles.

Suelos clase C	Área (ha)	Área (%)
Regosol	6222.16	18.51
Calcisol	478.22	1.42
Luvisol	9.93	0.03
Fluvisol	7.02	0.02
Total	6717.33	19.99

Tabla 3.8: Tipos de suelos de la clase C, teniendo en cuenta los 12 factores limitantes.

Clase D, suelos con baja Capacidad de Uso, limitaciones severas con riesgo de erosión de elevado a muy elevado, no siendo susceptibles de utilización agrícola, salvo casos muy especiales. Tienen pocas o moderadas limitaciones para pastos, explotación de monte bajo y forestal. Las limitaciones que tienen restringen el número de cultivos, siendo la agricultura poco viable. Ocupan una superficie de unas 21959 ha, que es algo más del 65% de la zona de estudio, siendo la clase de Capacidad de Uso mayoritaria. Se encuentra en el sector noreste y sureste, Buenavista, al sur de Montalbán hasta llegar al Río Cabra, en Cerro Blanco, Monte Palma, El Chorrillo y otros lugares.

Se encuentran bajo litologías muy diversas, tales como, arcillas, arenas y limos (6508 ha), margas (5951 ha), arenas, limos y margas amarillas (3412 ha), margas yesíferas (2347 ha), calcarenitas (1448 ha) y margocalizas (1305 ha) como materiales más importantes. El resto son coluvios y piedemontes, aluvial reciente, arcillas y calizas, que en total suponen algo menos de 1000 ha.

La fisiografía mejor representada es llana y suavemente inclinada, en la se diferencian terrazas fluviales no disectadas (6774 ha), llanuras inestables disectadas (6691 ha), llanuras estables (5835 ha) y llanuras de inundación actual (142 ha). Luego le seguiría en superficie la fisiografía ondulada, suavemente inclinada a moderadamente inclinada, donde se presentan lomas inestables disectadas (1360 ha), lomas estables no disectadas (442 ha) y

paisajes residuales de arcillas y margas (85 ha). A continuación fisiografías suavemente inclinadas a moderadamente inclinadas con glacis de acumulación no disectado (301 ha) y disectado (141 ha), conos de deyección (165 ha), zonas donde aflora el nivel actual de corrosión kárstica (11 ha) y mesetas estructuralmente estables (5 ha).

La clase D se presenta en todos los tipos de suelos identificados en el área de estudio (Tabla 3.9), teniendo una mayor representación el grupo de los Calcisoles.

Suelos clase D	Área (ha)	Área (%)
Calcisol	10523.4	31.3
Regosol	3099.8	9.2
Luvisol	5925.8	17.6
Cambisol	2267.5	6.75
Fluvisol	142.5	0.42
Total	21959.1	65.34

Tabla 3.9: Tipos de suelos de la clase D, teniendo en cuenta los 12 factores limitantes.

Clase E, suelos con Capacidad de Uso muy baja, con limitaciones muy severas y riesgo de erosión muy elevado, no siendo adecuados para uso agrícola y con elevadas limitaciones para pastos, explotación de monte bajo o forestal, debiendo destinarse a vegetación natural o terrenos forestales que protejan frente a los procesos erosivos. Se contabiliza una superficie de 2946 ha, que es el 14.7% del total. Se encuentran en los parajes de la Sierra de Montilla conocidos como Cerro de Buenavista, Cerro Don Juan, Cerro de los Leones, Cerro el Macho, Baraona y otros lugares aislados como Cerro del Monte, Los Cortijuelos, Cerro de Calamorros, Cerro Romano, Cantarranas, Casa de Trillo y otros menores. Sobre litologías de margo calizas (1083 ha), arenas limos y margas amarillas (861 ha), margas arenosas (315 ha), margas (271 ha), margas yesíferas (204 ha), arcillas arenas y limos (134 ha) y calizas grises con sílex (61 ha).

Los suelos presentes en esta clase se muestran en la tabla 3.10, en donde destacan los Leptosoles como suelo con mayor representación.

Suelos clase E	Área (ha)	Área (%)
Leptosol	2346.05	6.98
Regosol	976.08	2.90
Cambisol	888.14	2.64
Luvisol	433.40	1.29
Calcisol	249.84	0.74
Vertisol	33.42	0.10
Total	4926.93	14.66

Tabla 3.10: Tipos de suelos de la clase E, teniendo en cuenta los 12 factores limitantes.

Se localizan en lugares donde la pendiente supera, en multitud de ocasiones y con creces el 21% y llega hasta el 45%, fundamentalmente sobre fisiografías onduladas, suavemente inclinadas a moderadamente inclinadas (3298 ha), le siguen las formas llanas y suavemente inclinadas (1526 ha) y otras formas (tabla 3.11).

Fisiografía	Unidades fisiográficas	Área (ha)	Área (%)
Fisiografía llana y suavemente inclinada.	Terraza fluvial no disectada.	76.2	0.23
	Meseta estructuralmente estable, disectada.	56.7	0.17
	Llanuras estables (no disectadas).	70.01	0.21
	Llanuras inestables (disectadas).	1278.4	3.80
Fisiografía suavemente inclinada a moderadamente inclinada (pendientes rectilíneas).	Meseta estructuralmente estable, ligeramente inclinada, disectada (cuestas disectadas).	61.2	0.18
	Nivel de corrosión kárstica.	44.2	0.13
Fisiografía ondulada, suavemente inclinada a moderadamente inclinada.	Lomas estables no disectadas.	1868.5	5.56
	Lomas inestables disectadas.	1387.1	4.13
	Paisajes residuales de arcillas y margas.	57.9	0.17
	Plataformas kársticas.	23.5	0.07
Fisiografía inclinada a moderadamente escarpada.	Colinas inestables (disectadas).	3.4	0.01
Total		4926.93	14.7

Tabla 3.11: Unidades fisiográficas de la clase E, teniendo en cuenta 12 factores limitantes.

3.3.2. Clases de Capacidad de Uso (11 factores).

Ahora considerando **11 factores** limitantes (todos excepto el déficit hídrico) los resultados obtenidos en cuanto a superficie de cada Clase de Capacidad de Uso son los siguientes (tabla 3.12).

Clase	Área (ha)	Área (%)
B	3430.8	10.2
C	9572.8	28.4
D	15676.6	46.7
E	4926.9	14.7
Total	33607.2	100

Tabla 3.12: Distribución de las Clases de Capacidad de Uso considerando 11 factores limitantes.

Clase A, suelos con Capacidad de Uso muy elevada con poca o ninguna limitación y sin riesgos de erosión o muy ligeros, tampoco se encuentra presente en el área estudiada.

Clase B, suelos con alta Capacidad de Uso, ocupan una superficie de 3430 ha (10.2% del total), localizados en parajes tales como Fuentespino, La Campiñuela, Casilla La Viuda, Olivar de Porras, Poblete, Camino de los Vinateros, El Fontanar, Huerta del Concejo, El Ejido, Los Salados, sector oriental de la vega del Río Cabra, Mina Matapeces, Los Cuervos, Capitana y al oeste del Cerro Navarro. Se localizan sobre margas yesíferas (1748 ha), arcillas arenas y limos (736 ha), margas (342 ha), arenas limos y margas amarillas (327 ha), materiales aluviales recientes (207 ha), calizas (59 ha) y arcillas (8 ha). Las posiciones fisiográficas sobre las que se encuentran son llanas y suavemente inclinadas, en llanuras inestables (2201 ha) y terrazas fluviales no disectadas (847 ha), también se encuentran en fisiografías onduladas como lomas inestables disectadas (327 ha) y en formas de pendientes rectilíneas en donde encontramos el nivel de corrosión kárstica aflorando en la superficie del terreno (53 ha).

En cuanto a los grupos de suelos presentes en esta clase debemos decir que son mayoritariamente Calcisoles (3089 ha), acompañados por Regosoles (327 ha) y muy minoritariamente Luvisoles (casi 10ha).

Clase C, suelos con moderada Capacidad de Uso, están presentes en 9572 ha, extendiéndose fundamentalmente por la zona occidental, excepto la cuenca del arroyo del Salado y la Zarza y en otras zonas como La viuda, Los Arenales y Cortijo El Bailador. Mayoritariamente sobre arenas, limos y margas amarillas del Messiniense (Mioceno) en una extensión de 7127 ha, aunque también están presentes sobre otras litologías, tal y como se muestra en la tabla 3.13, no encontrándose esta clase de Capacidad de Uso sobre margas arenosas, margocalizas, calizas detríticas y materiales coluviales y piedemontes.

Litología	Área (ha)	Área (%)
Calizas	30.15	0.09
Calcarenitas	982.78	2.92
Margas	770.07	2.29
Margas yesíferas	448.23	1.33
Arcillas	10.95	0.03
Arcillas, arenas y limos	40.13	0.12
Arenas, limos y margas amarillas	7127.36	21.21
Aluvial reciente	163.19	0.49
Total	9572.85	28.48

Tabla 3.13: Tipos de rocas sobre los que se desarrollan los suelos de la clase C de Capacidad de Uso (11 factores).

En cuanto a la fisiografía de los suelos de esta clase, hay que decir que se presentan en llanuras inestables disectadas (8015 ha) y llanuras estables no disectadas (813 ha) y otras formas (Tabla 3.14).

Fisiografía	Unidades fisiográficas	Área (ha)	Área (%)
Fisiografía llana y suavemente inclinada.	Terraza fluvial no disectada.	73.6	0.22
	Llanuras estables (no disectadas).	813.5	2.42
	Llanuras inestables (disectadas).	8015.4	23.9
	Llanuras de inundación actual.	149.5	0.44
Fisiografía suavemente inclinada a moderada- mente inclinada (pendientes rectilíneas).	Nivel de corrosión kárstica.	30.1	0.09
Fisiografía ondulada, suavemente inclinada a moderadamente inclinada.	Lomas estables no disectadas.	225.1	0.67
	Lomas inestables disectadas.	265.6	0.79
Total		9572.8	28.5

Tabla 3.14: Fisiografía de los suelos de la clase C (teniendo en cuenta 11 factores limitantes).

Por último los grupos de referencia de suelos presentes en esta clase son Regosoles (6372 ha), Calcisoles (2275 ha), Cambisoles (775 ha) y Fluvisoles (149 ha).

Clase D, suelos con baja Capacidad de Uso, se encuentran representados con una superficie de 15677 ha, en el sector oriental, en la Sierra de Montilla y en la cuenca del arroyo de la Carchena, Ríofrío y Benavente, en la zona central occidental en parajes como Mayorazgo y Cerro del Boticario, en la zona norte en el Cortijo de la Media Legua, Cañada Barragán, Cerro Navarro, La Plata y Los Majuelos. La superficie total de esta clase es de 17653 ha (casi un 47% del total) y se hallan sobre margas y arenas arcillas y limos principalmente (Tabla 3.15).

Litología	Área (ha)	Área (%)
Calizas	8.87	0.03
Calcarenitas	477.1	1.42
Margas	5114.1	15.2
Margocalizas	1305	3.88
Margas yesíferas	178.9	0.53
Arcillas, arenas y limos	5731.8	17.0
Arenas, limos y margas amarillas	2146.2	6.28
Coluvios y piedemontes	608.6	1.81
Aluvial reciente	106.1	0.32
Total	15676.6	46.6

Tabla 3.15: Litología de la clase D, tomando 11 factores.

Esta litología de naturaleza blanda y fácilmente meteorizable, produce formas de relieves suaves y poca pendiente, en su mayoría. Las formas que producen estas rocas se muestran en la tabla 3.16, donde destacan las

terrazas fluviales no disectadas (5853 ha), llanuras estables no disectadas (5026 ha) y disectadas (2702 ha).

Fisiografía	Unidades fisiográficas	Área (ha)	Área (%)
Fisiografía llana y suavemente inclinada.	Terraza fluvial no disectada.	5853.4	17.4
	Llanuras estables no disectadas.	5026.3	14.9
	Llanuras inestables (disectadas).	2702.7	8.04
	Cono de deyección.	165	0.49
Fisiografía suavemente inclinada a moderadamente inclinada (pendientes rectilíneas).	Glacis de acumulación no disectado.	301.9	0.90
	Glacis de acumulación disectado.	141.6	0.42
	Meseta estructuralmente estable, ligeramente inclinada, disectada (cuestas disectadas).	4.80	0.01
	Nivel de corrosión kárstica.	11.6	0.03
Fisiografía ondulada, suavemente inclinada a moderadamente inclinada.	Lomas estables no disectadas.	217.2	0.65
	Lomas inestables disectadas.	1166.	3.47
	Paisajes residuales de arcillas y margas.	85.7	0.26
Total		15676.6	46.6

Tabla 3.16: Fisiografía de los suelos de la clase D (11 factores).

Desde el punto de vista edafológico, destacan en esta clase, los Luvisoles (5925 ha), Calcisoles (5637 ha), Regosoles (2622 ha) y Cambisoles (1491 ha). No se presentan en Fluvisoles, Leptosoles y Vertisoles.

Clase E, suelos con muy baja Capacidad de Uso, presentes en 4926 ha y cuya localización coincide con la Clase E de la metodología que tiene en cuenta 12 factores, encontrándose sobre las mismas litologías, fisiografías y suelos.

3.3.3. Clases de Capacidad de Uso (9 factores).

Finalmente los resultados obtenidos considerando el tercer método que aplica **9 factores** (todos menos exceso de agua, déficit hídrico y limitaciones térmicas) se muestran en la tabla 3.17.

Clase	Área (ha)	Área (%)
B	3430.8	10.2
C	9572.8	28.5
D	15676.6	46.6
E	4926.9	14.6
Total	33607.2	100

Tabla 3.17: Distribución de las Clases de Capacidad de Uso considerando 9 factores limitantes.

En donde se puede observar, si se compara con la tabla 3.12, que los resultados obtenidos son iguales que los obtenidos aplicando la metodología con 11 factores.

3.4. Subclases de Capacidad de Uso.

Al igual que en el punto anterior, en el que se trataron las Clases de Capacidad de Uso, se exponen ahora los resultados obtenidos de aplicar los 12 factores limitantes, 11 factores y finalmente 9 factores, en donde se identificarán las Subclases de capacidad con las limitaciones mayores.

3.4.1. Subclases de Capacidad de Uso (12 factores).

Las Subclases obtenidas de aplicar la metodología completa (con los 12 factores limitantes) son las que se muestran en la tabla 3.18, en donde se puede apreciar que la erosión es la limitación mayor que tiene una presencia superior en la zona de estudio.

Clase	Subclase	Área (ha)	Área (%)
B	Be	3.88	0.01
	Ca	374.4	1.11
C	Ce	5623.3	16.7
	Cp	2.34	0.01
	Cq	717.2	2.13
	Da	6282.4	18.7
	De	5642.3	16.8
	Df	77.9	0.23
D	Dn	3938.6	11.7
	Dp	80.1	0.24
	Dq	5937.6	17.6
	Ee	2034.2	6.05
	Ef	550.8	1.64
E	Ep	80.9	0.24
	Er	272.9	0.81
	Ex	1988.1	5.92
Total		33607.2	100

Tabla 3.18: Subclases de Capacidad de Uso, considerando 12 factores limitantes.

Subclase Be.

Se encuentra en la zona sur del área estudiada ocupando una extensión de casi 4 ha. Presenta un grado de erosión bajo ($13.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), aunque con valores muy cercanos a un grado de erosión muy bajo ($<12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), la pendiente está en torno al 9%, con una profundidad mayor de 80 cm, sin afloramientos rocosos ni pedregosidad, valores medios de salinidad en el perfil entre $2\text{-}4 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$, RAS inferior a 5, propiedades físicas del suelo caracterizadas

por presentar textura poco equilibrada y permeabilidad moderada, propiedades químicas con poca materia orgánica y carbonatos inferior al 30%. En cuanto a los factores limitantes relacionados con el clima, el déficit hídrico es de unos $287 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, sin exceso de agua y limitaciones térmicas con t^{a} media $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$, precipitación de $596 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ y periodo de heladas de noviembre a abril. La limitación menor es la pendiente.

Subclase Ca.

Los terrenos de esta clase, afectados por el factor déficit hídrico, suponen 374 ha (1.11% del total), entre $300\text{-}400 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. Se encuentran en dos zonas, una situada al norte, entre los parajes de Fuentespino y Piedras del Ruedillo sobre calizas y en formas donde se detectan los niveles de corrosión kárstica y otra al sur en Cruz del Fraile, Cabeza Cazalla (Fig. 3.15), Cerro Porrás, Cabeza Honda y Cerro Atalaya, sobre materiales margosos y en forma de lomas inestables disectadas. Los suelos en ambas zonas son Calcisoles (perfiles 17 y 18), si bien en la zona más septentrional son de carácter léptico y la zona meridional de tipo háplico. La tasa de erosión hídrica es de $10\text{-}28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, con pendiente del 2-13%, sin afloramientos rocosos ni pedregosidad, valores medios de conductividad eléctrica menores de $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y razón de adsorción de sodio inferiores a 5.31, las propiedades físicas en el perfil 17 tiene textura equilibrada y buena permeabilidad y en el perfil 18 textura poco equilibrada (rica en limo) y permeabilidad moderada, los contenidos en materia orgánica son inferiores al 2% y los carbonatos menor del 30%. Los valores calculados de la reserva de agua para estos suelos es distinta (217 mm y 343 mm , respectivamente), pero en ambos el déficit hídrico está en el mismo intervalo ($300\text{-}400 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$) aunque diferenciado en dos zonas, al norte con valores en torno a $365\text{-}386 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ y la zona más al sur con una falta de agua de $305\text{-}340 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. El exceso de agua en la zona norte es de $6\text{-}27 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ e inexistente en la zona sur. Las limitaciones térmicas son temperatura media anual de $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y precipitación total media de unos $565 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$.



Fig. 3.15: Suelos de la Subclase Ca (en primer plano) y la Subclase Dn (al fondo) en las inmediaciones del núcleo de Aguilar de la Frontera (paraje "Cabeza Cazalla").

Subclase Ce.

Los suelos de la Clase C, donde la mayor limitación es la erosión hídrica, ocupan una superficie de 5623 ha (16.7% del total) en la zona central del área estudiada, en los alrededores de Montilla, en la zona nororiental cerca de Montalbán y La Rambla, al este de Aguilar y en parajes como Casa de Postigo, Caserones, Martinduelamo, El Comandante y otros. Se localizan sobre arenas, limos y margas amarillas mayoritariamente (5509 ha, casi un 98% del total de la Subclase) y otras litologías como margas (79.6 ha), calizas (30.1 ha) y calcarenitas (3.94 ha). La fisiografía que presentan es de llanuras inestables disectadas (5509 ha), lomas inestables disectadas (79.6 ha), niveles de corrosión kárstica (30.1 ha) y llanuras estables no disectadas (3.94 ha). En cuanto a los suelos, son Regosoles calcáricos en su mayoría (5509 ha) y en menor medida Calcisoles háplicos y lépticos (113.7 ha). Antes de describir la limitación mayor, en este caso la erosión, se explican las demás, comenzando por la pendiente, con valores entre 3-16%. La erosión oscila entre 25-50 $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, estando algo más del 50% de la superficie afectada por tasas de erosión hídrica entre 30-40 $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$. Los factores que influyen en la estimación de estas pérdidas de suelo, varían desde los valores del factor R (erosividad de la lluvia), que en un 92%, se encuentran entre 60-66 $J \cdot m^{-2} \cdot cm \cdot hora^{-1}$; la erosionabilidad de los suelos (K) que son altos mayoritariamente ($0.580 t \cdot m^2 \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot J^{-1} \cdot cm^{-1}$); el factor LS entre 1.99-8.19, en donde destaca el intervalo de pendiente de 8-16%, con longitud de pendiente moderadamente larga y larga (50-500 m); hasta el factor cubierta vegetal (C), que toma valores de 0.428 (cultivos arbóreos de secano: olivar y viñedo), en un 86% de la superficie, en donde las prácticas de conservación (P), que maximicen la reducción de la pérdida de suelo, son inexistentes, siendo los valores los que se muestran en la figura 3.16.

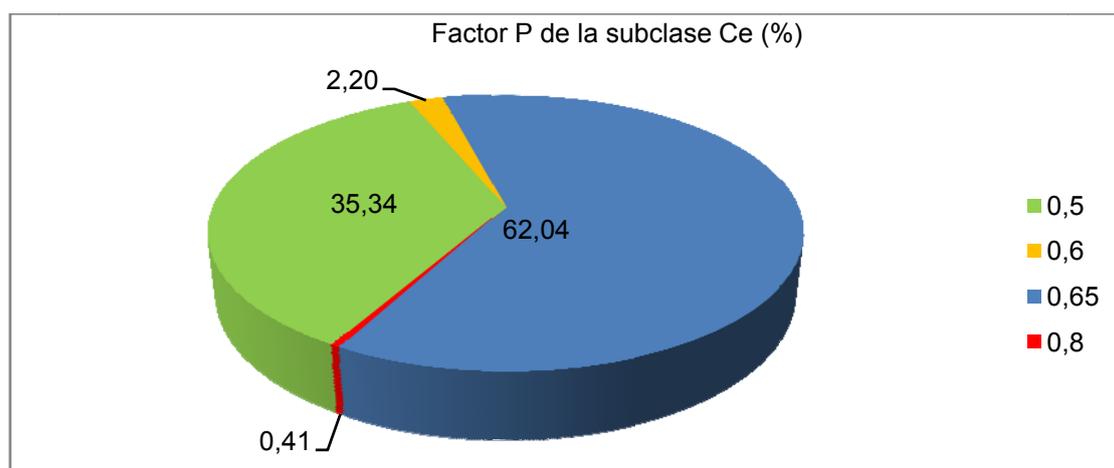


Fig. 3.16: Valores del factor P, correspondientes al cultivo a nivel.

Para finalizar, los suelos de esta subclase presentan como limitación menor a la pendiente y el espesor efectivo.

Subclase Cp.

Las zonas cuya limitación mayor es la pendiente, dentro de la clase C, son de reducidas dimensiones. Concretamente poco más de 2 ha, en una única Unidad de Capacidad de Uso, situada junto a la carretera de Montilla a Montalbán, sobre arenas, limos y margas amarillas. La forma del relieve es de llanura inestable (disectada) y el suelo es un Regosol calcárico (perfil 12). La pendiente es de casi el 18% y su longitud es moderadamente larga (105 m). Presenta una tasa de erosión hídrica inapreciable ($2.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), un espesor de 90 cm, no tiene afloramientos rocosos, la pedregosidad en promedio es del 38% (Bg), sin problemas de salinidad ($0.25 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) ni alcalinidad ($\text{RAS}=3.24$), textura algo enriquecida en limo, lo que hace que las propiedades físicas sean algo deficientes. Los bajos contenidos en materia orgánica (0.48%) y elevados niveles de carbonatos (35%) hacen que las propiedades químicas estén alejadas del ideal, siendo por tanto clasificadas como Cq. No presenta un exceso de agua (Ah) y el déficit hídrico oscila entre $350\text{-}370 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. Esta subclase presenta como limitación menor al espesor efectivo.

Subclase Cq.

Suelos con limitaciones debido a sus propiedades químicas, tales como el contenido en materia orgánica, contenido en carbonatos y capacidad de intercambio catiónico. Pertenecen a esta subclase 717 ha (2.13%) repartidas por toda la zona de estudio (Fig. 3. 17) en áreas de pequeño tamaño (3 ha) y otras mayores (106 ha). Se desarrollan sobre litologías de arenas, limos y margas amarillas, en llanuras inestables disectadas. Son Regosoles calcáricos casi exclusivamente (perfil 12) y Fluvisoles calcáricos (perfil 20). Estos suelos tienen bajo contenido en materia orgánica ($<0.5\%$) y un alto contenido en carbonato cálcico (35%), siendo por tanto el factor limitante mayor. Y lo es debido a que los factores que le preceden (erosión, pendiente, espesor efectivo, rocosidad, pedregosidad, salinidad, alcalinidad y propiedades físicas) son de menor importancia. Así se tiene que la erosión es inferior a $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, la pendiente menor al 14%, espesor efectivo mayor de 80 cm, sin rocosidad ni pedregosidad, salinidad en torno a $0.250 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, alcalinidad (medida como RAS) en torno a 3 y textura enriquecida en limo lo que determina que sean algo deficientes las propiedades físicas. El 12% de la superficie de esta subclase no presenta exceso de agua (Ah), y el resto lo tiene (Bh), en un amplio rango desde $20\text{-}180 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. En cuanto al déficit de agua supera los $300 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, pero sin llegar a los $400 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ (Ca).



Fig. 3.17: Viñedos y olivares pertenecientes a la Subclase Cq. Los suelos son Luvisoles.

Los suelos de esta Subclase presentan como limitaciones menores a la erosión, pendiente y espesor efectivo.

Subclase Da.

Suelos que tienen como limitación mayor el déficit hídrico, que oscila entre 400-600 mm·año⁻¹. Suponen en el área de estudio una superficie de 6282 ha (18.69% del total) repartidos por toda el área estudiada, sobre diversas litologías y suelos (Fig. 3.18).

La litología mejor representada es la de margas yesíferas (2168 ha), seguido de otras como arenas, limos y margas amarillas (1226 ha), calcarenitas (978 ha), arcillas, arenas y limos (776 ha), margas (742 ha). Los tipos de suelos (clasificados hasta segundo nivel. IUSS, 2006) en esta subclase se muestran en la tabla 3.19, donde se observa el área del suelo (segundo nivel) afectado por el déficit hídrico y el valor de éste.

Suelos	Nº perfil	Área (ha)	Área (%)
Calcisol háplico.	1	19.20	0.31
Calcisol háplico.	2	994.25	15.83
Calcisol háplico.	3	690.98	11.00
Calcisol háplico.	5	2279.87	36.29
Calcisol háplico.	9	902.13	14.36
Calcisol háplico.	15	775.74	12.35
Regosol calcárico.	16	477.79	7.61
Fluvisol calcárico.	20	142.50	2.27
Total	8	6282.45	100

Tabla 3.19: Tipos de suelos de la Subclase Da.

Tal y como se observa en la tabla 3.19, los suelos son en su mayoría Calcisoles (5662 ha), acompañados por Regosoles (477 ha) y Fluvisoles (142 ha). Tienen una reserva de agua útil para las plantas muy variable (60-209 mm), en función de varios parámetros: pF a 1/3 y a 15 atm, relacionado a su vez con la textura y la densidad aparente y también hay que señalar a la profundidad del suelo. Se cumple pues que los suelos menos profundos, tienen una menor reserva de agua en el suelo y presentan, por tanto, un mayor déficit hídrico. También hay que señalar que, si bien todos los suelos presentan

valores superiores a $400 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, dependiendo de su localización puede ser diferente. En el caso del perfil 3 (Calcisol háplico), es representativo de los suelos de dos zonas, una al norte y otra en la Sierra de Montilla. Esto es debido a que en la sierra los valores de pluviometría son mayores, respecto a la zona norte (hasta $150 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$) y los de ETP menores, porque la temperatura media es $1,5^\circ \text{ C}$ más baja en la sierra que en el norte. La diferencia, en cuanto al déficit hídrico en el caso de este suelo, es de unos $100 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, sólo por encontrarse en lugares diferentes y ser por tanto diferentes los parámetros termopluviométricos.



Fig. 3.18: Paraje La Campiñuela. Calcisoles y Regosoles de la Subclase Da.

El 86% de la superficie de estos suelos presenta una tasa de erosión entre $25\text{-}50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, pendientes inferiores al 16%, son suelos profundos, sin afloramientos rocosos, con la excepción de los de naturaleza margosa en la zona norte. La pedregosidad no tiene valores altos y no es limitante. La salinidad alcanza valores promedio en torno a $2.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Bs) en una superficie de 977 ha, siendo el resto adecuados. La alcalinidad de las Unidades de Capacidad de Uso de esta subclase, asociados al perfil 3 y 9, con valores de RAS de 6.5 y 5.7, respectivamente, presentan algunas limitaciones (Bn).

La mitad de la superficie de esta subclase tiene propiedades físicas óptimas (Af), en concreto los perfiles 5 y 9, siendo el resto algo deficientes en virtud de una textura poco equilibrada (Bf). Las propiedades químicas, se presentan en la figura 3.19.

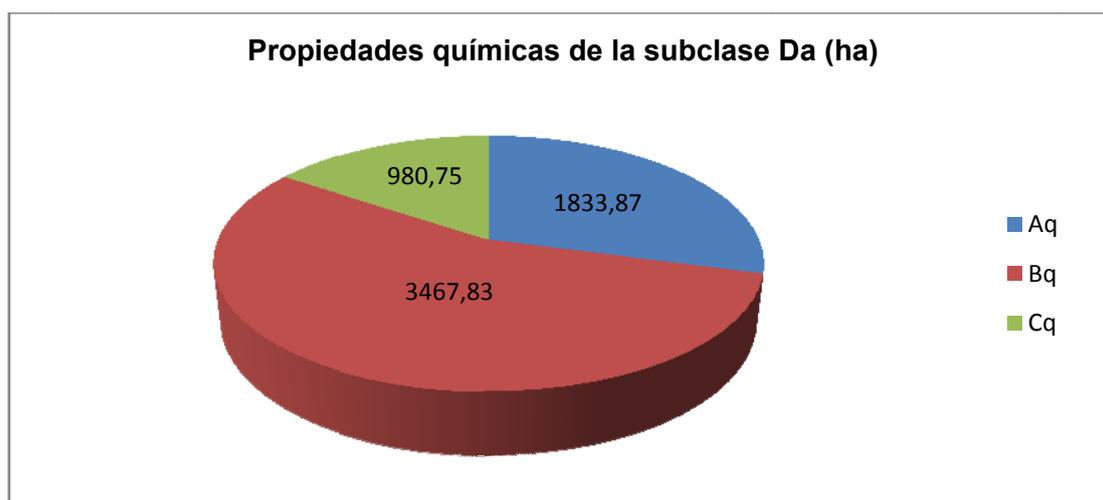


Fig. 3.19: Superficie caracterizada por las propiedades químicas de la Subclase Da (ha).

Presenta como limitaciones menores, la erosión, pendiente, espesor efectivo, afloramientos rocosos y pedregosidad.

Subclase De.

Los suelos con esta limitación mayor, de la clase D, de erosión hídrica ocupan una superficie de 5642 ha, repartidas por toda la zona de estudio, sobre diversas litologías y en terrenos con una pendiente de 4-30% (Fig. 3.22).

El 93% de los suelos tienen un espesor efectivo superior a 80 cm, donde no existen afloramientos rocosos y los valores de pedregosidad son inferiores al 40% en la mitad de la superficie total de esta subclase. No tienen problemas de salinidad, con la excepción de unas 500 ha, con niveles de conductividad eléctrica en torno a $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (promedio). La alcalinidad no supone limitación severa alguna excepto en unas 800 ha en donde el RAS llega a valores de 10. Las propiedades físicas son algo deficientes (Bf) y en las químicas existe una diversidad en cuanto a la clasificación, tal y como se muestra en la tabla 3.20.

En cuanto al exceso de agua, estos suelos lo tienen en un 64%, con niveles que llegan hasta los $300 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ en alguna época del año. El déficit es elevado y muestra como un 75% de la superficie lo sufren de manera severa (Ca y Da).

Propiedades químicas	Área (ha)	Área (%)
Aq	463.54	8.22
Bq	1167.23	20.69
Cq	2115.43	37.49
Dq	1896.17	33.61
Total	5642.37	100

Tabla 3.20: Propiedades químicas de los suelos de la Subclase De (12 factores limitantes).

Los valores de erosión son considerados altos ($50-100 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). A continuación se describen los parámetros involucrados en el cálculo de la misma, mediante la utilización del método de estimación de la USLE (1978).

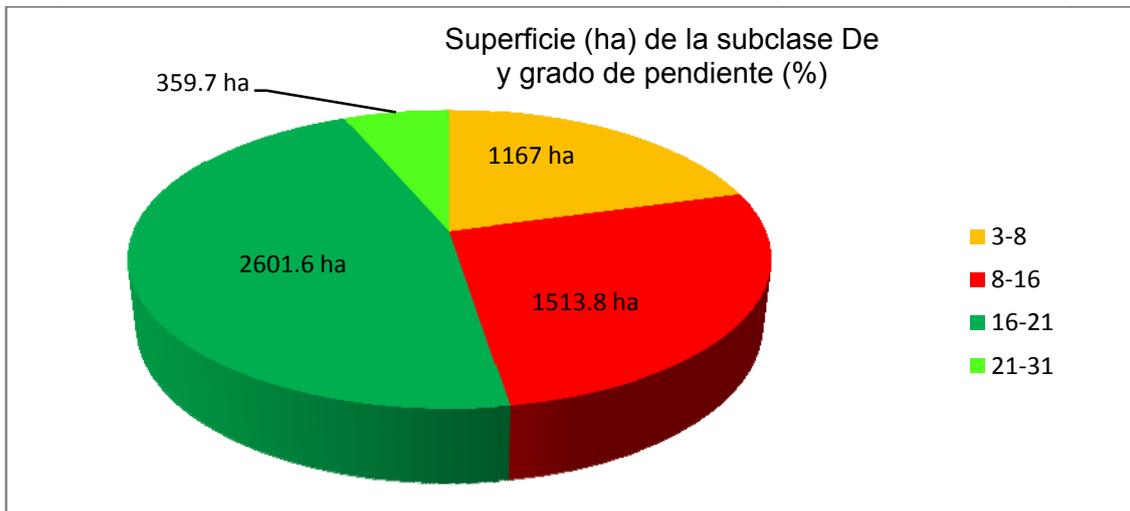


Fig.3.20: Superficie de la Subclase De (ha) y grado de pendiente que presenta

El factor R (USLE, 1978), presenta valores entre $58-76 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{hora}^{-1}$, siendo el 86% de los mismos el correspondiente al intervalo de $60-68 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{hora}^{-1}$. Los mayores valores se localizan en la Sierra de Montilla.

El factor K, erosionabilidad de los suelos, está ligado a propiedades físico-químicas de los suelos, tomando valores entre 0.304 y $0.625 \text{ t}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tabla 3.21) para esta subclase. Hay que destacar que el valor mayor ($0.625 \text{ t}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$), se encuentra en la Sierra de Montilla y es debido, fundamentalmente, a la textura limosa del suelo (Cambisol). Otros factores que influyen son los bajos contenidos en materia orgánica (aumentándose la facilidad de disgregación de los agregados estructurales), la permeabilidad y estructura del suelo.

Nº Perfil	K	Área (ha)	Área (%)
5	0.304	53.55	0.95
18	0.320	13.52	0.24
2	0.388	474.71	8.41
17	0.443	9.98	0.18
16	0.449	8.64	0.15
3	0.493	244.42	4.33
10	0.520	837.12	14.84
13	0.530	918.32	16.28
15	0.553	183.25	3.25
12	0.580	1921.01	34.05
14	0.625	977.85	17.33
Total		5642.37	100

Tabla 3.21: Distribución de superficie afectada por el factor K en el cálculo de la erosión hídrica. El porcentaje está referido al total de la Subclase (De).

El factor LS presenta valores entre 1.94 y 9.15 y valores medios de 5.21. Si se analiza la pendiente, se observa que aproximadamente la mitad de las Unidades de esta Subclase están en el intervalo del 16-21% (Fig.3.20). Análogamente con la longitud de la pendiente, que varía de 35 a 890 m, dominan las longitudes de pendiente moderadamente largas y largas, si la dividimos en intervalos (Fig. 3.21).

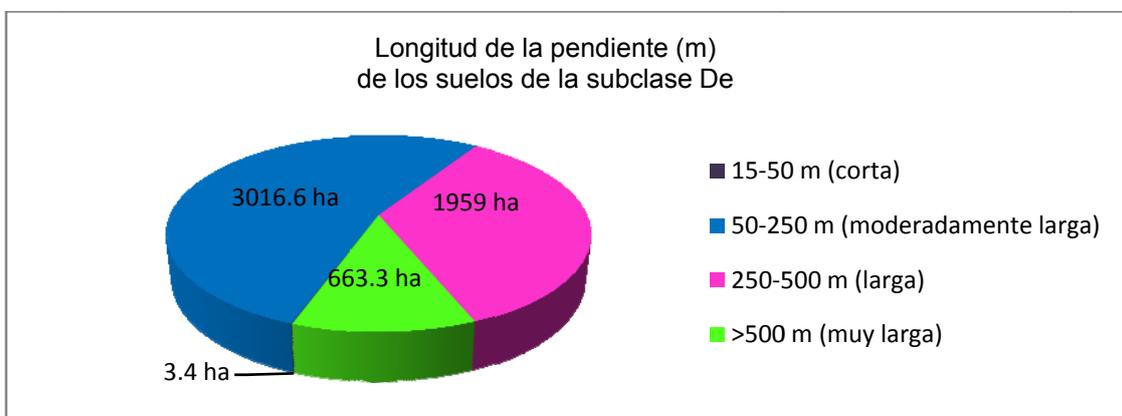


Fig. 3.21: Longitud de la pendiente de los suelos de la subclase De.

Continuando con el siguiente factor de la USLE (1978), el factor C, hay que señalar que predomina el valor 0.428 (por la gran dominancia de cultivos de olivar y viñedo), afectando a 4576 ha. Los cultivos herbáceos en secano (0.466) se encuentran en 976 ha y los terrenos improductivos con 700 ha.

Finalmente el factor P, que evalúa la eficacia en el control de la erosión hídrica mediante diversas medidas, se presenta sin la presencia de valores atribuibles a prácticas de conservación de cultivo a nivel y franjas, no estando presente, al menos de una forma mayoritaria en la Unidad de Capacidad. A los

cultivos en terrazas les ocurre lo mismo. Los valores que presentan son elevados, con un 50% de la superficie entre 0.8-0.9, siendo el resto 0.5 y 0.65.

Los suelos de esta subclase presentan las siguientes limitaciones menores: pendiente, espesor efectivo, afloramientos rocosos y pedregosidad.

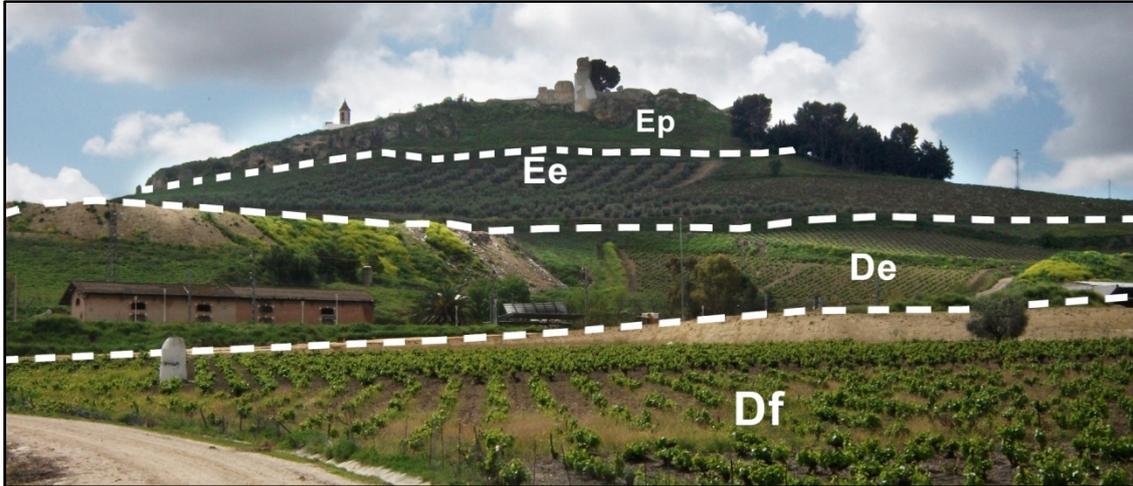


Fig. 3.22: Subclases de Capacidad en las inmediaciones de Aguilar de la Frontera.

Subclase Df.

Los terrenos que presentan esta limitación se encuentran en la esquina noreste de la zona de estudio y al norte de Aguilar (Fig. 3.22), en zonas de poca pendiente y sobre litologías margosas. Los suelos desarrollados son Regosoles calcáricos (perfil 24), los cuales presentan en su textura una fracción dominante (limo) y una permeabilidad deficiente en torno a $0.3 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$, lo que determina principalmente, que pertenezca a esta subclase. Tienen valores de erosión moderados o bajos ($18\text{-}31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), pendiente del 5-12%, espesor efectivo de 220 cm, sin afloramientos rocosos ni pedregosidad, no presentan problemas de salinidad ($\text{CE} < 0.4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) ni alcalinidad ($\text{RAS} < 2.5$), bajos contenidos en materia orgánica (inferior a 1%), carbonatos superior al 50%, sin exceso de agua (Ah), déficit hídrico de unos $300 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ (Ca), y temperatura media anual entre 12-26 °C. Presenta como limitación menor la pendiente y el espesor efectivo.

Subclase Dn.

Esta subclase se encuentra repartida por toda la zona de estudio, ocupa una superficie de 3938 ha, sobre litologías de margas y margas yesíferas, en llanuras estables (Fig. 3.15 y 3.23). Se caracterizan por ser Calcisoles háplicos (perfil 10), tener tasas de erosión moderadas, valores de pendiente entre 8-16% fundamentalmente, espesor efectivo superior a 80 cm, sin afloramientos rocosos, pedregosidad en torno al 62% (Cg), sin problemas de salinidad (conductividad eléctrica igual a $0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y valores medios de alcalinidad, medido como RAS igual a 12, propiedades físicas con textura poco equilibrada

(franco arenosa) y permeabilidad moderada (Bf), contenido en materia orgánica inferior al 1.2% y carbonato cálcico inferior al 30%, con exceso de agua entre 110-175 mm·año⁻¹, localizándose los valores menores en el oeste de la zona estudiada y los mayores en el este. Presentan un déficit hídrico entre 450-510 mm·año⁻¹, siendo por tanto Da.

Presentan como limitaciones menores la erosión, pendiente y espesor efectivo.



Fig. 3.23: Paraje El Chorrillo, al norte de la zona de estudio y Subclases de Capacidad.

Subclase Dp.

Se localiza en diversas zonas, tales como Cerro Navarro (Fig. 3.24), Riofrío, Loma del Vínculo, Cerro del Humo, Fuente Don Marcelo, Cantera Velasco y Los Barrancos. Presentan como limitación mayor la pendiente, con valores entre 21-31%. Se observa que se desarrollan sobre una amplia variedad de litologías, desde margas y margocalizas hasta materiales aluviales recientes. Si a esto se le une la posición fisiográfica en la que se encuentran (Tabla 3.22), se obtienen distintos tipos de suelos, como Calcisoles, Cambisoles y Regosoles.

Fisiografía	Unidades fisiográficas	Área (ha)	Área (%)
Fisiografía llana y suavemente inclinada.	Terraza fluvial no disectada.	10.2	12.7
	Llanuras estables no disectadas.	10.4	13.0
	Llanuras inestables (disectadas).	52.9	66.1
Fisiografía suavemente inclinada a moderadamente inclinada (pendientes rectilíneas).	Meseta estructuralmente estable, ligeramente inclinada, disectada (cuestas disectadas).	4.80	6.00
	Nivel de corrosión kárstica.	1.70	2.2
Total		80	100

Tabla 3.22: Fisiografía de los suelos de la subclase Dp (12 factores).

Estos suelos tienen una erosión hídrica moderada, espesor efectivo por encima de los 80 cm, llegando hasta los 120 cm, sin problemas derivados de afloramientos rocosos. En cuanto a la pedregosidad en el perfil del suelo hay una heterogeneidad de abundancia, naturaleza y tamaño, encontrándonos

desde pedregosidad nula hasta abundante, de tipo calizo y dolomítico y en todos los tamaños (desde grueso hasta fino), incluso dentro de un mismo suelo (perfil 17). No tienen problemas de salinidad, pero presentan algunas limitaciones en la alcalinidad, buenas propiedades físicas con limitaciones no muy severas en los suelos debido a una textura poco equilibrada. En cuanto a las propiedades químicas, sólo tienen valores óptimos los suelos representados por el perfil 9, con niveles de materia orgánica mayores del 2%, siendo el resto valores entre el 1-2% o inferiores al 1% (perfil 12). No presentan limitaciones por exceso de agua dos unidades (de 12 que es el total), teniendo el resto excesos inferiores a $300 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. El déficit hídrico que presentan está comprendido entre $300\text{-}400 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, en el caso de tres unidades y el resto de $400\text{-}600 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. En cuanto a las limitaciones térmicas son las mismas que la subclase anterior. Presentan como limitaciones menores la erosión y espesor efectivo.



Fig. 3.24: Subclases de Capacidad de Uso en Cerro Navarro, al norte de la zona de estudio.

Subclase Dq.

Suelos que ocupan 5937 ha, en una extensa franja que recorre desde el norte al sur en la parte occidental de la zona estudiada, en el valle del Carchena y entre la Sierra de Montilla y los cauces del arroyo Benavente y Riofrío. La litología es diversa desde materiales arcillas, arenas y limos (unas 4835 ha), coluvios y piedemontes (608 ha), margocalizas (315 ha), materiales aluviales recientes (97 ha) y margas (8 ha). Los suelos son fundamentalmente (5000 ha) Luvisoles (Fig. 3.25), acompañados de otros como Cambisoles y Regosoles.

Predominan los valores de erosión moderados ($<50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), con pendientes medias inferiores al 20%, con predominio del intervalo del 3-16% (con casi un 83%), sin problemas de espesor efectivo por ser suelos de gran desarrollo, sin rocosidad ni pedregosidad y sin problemas relacionados con las sales (salinidad y alcalinidad). Las propiedades físicas de estos suelos son relativamente buenas, de textura poco equilibrada dado el alto contenido en limo y con un desarrollo estructural moderado (perfil 13, 14 y 22). Las propiedades químicas son deficientes, debido a los contenidos medios de materia orgánica en el perfil ($<1\%$) y carbonatos totales presentes ($>50\%$). En

cuanto al exceso de agua, hay que señalar que los suelos tienen una capacidad para retener agua disponible para las plantas en torno a los 300 mm/año (perfiles 13 y 14) y unos 500 mm·año⁻¹ (perfil 22), de modo que presentan exceso de agua (Ah) y el segundo lo tiene en unos valores inferiores a los 300 mm·año⁻¹, concretamente desde 2 mm·año⁻¹ hasta 201 mm·año⁻¹, destacando que estos excesos aparecen en zonas donde la pluviometría es mayor y sobre suelos (perfil 14) con una reserva de agua útil menor. Al hablar del déficit hídrico, debemos diferenciar que presentan valores <300 mm·año⁻¹ (Ba) por un lado y 300-400 mm·año⁻¹ (Ca), por el otro. Los primeros suponen casi el 40% de la superficie de la subclase y se dan sobre suelos (perfiles 13, 14 y 22) localizados en la Sierra de Montilla (como se ha mencionado en más de una ocasión, de mayor pluviometría y menor ETP) y los segundos al norte y sur de los anteriores, donde la pluviometría es menor. Las limitaciones térmicas son idénticas a los casos anteriores.

Los suelos de esta subclase Dq, presentan como limitaciones menores, la erosión hídrica, pendiente y espesor efectivo.



Fig. 3.25: Olivar en secano sobre Luvisoles, perteneciente a la Subclase Dq.

Subclase Ee.

Se sitúan en las cercanías de los núcleos de Aguilar (Fig. 3 22), La Rambla, Montalbán de Córdoba, la Sierra de Montilla y otros parajes. Ocupan la superficie de 2034 ha y la litología presente en esta subclase es de arenas, limo y margas amarillas (851 ha), margocalizas (779 ha), margas (181 ha) y otras rocas. Los tipos de suelos desarrollados se muestran en la Fig. 3.26.

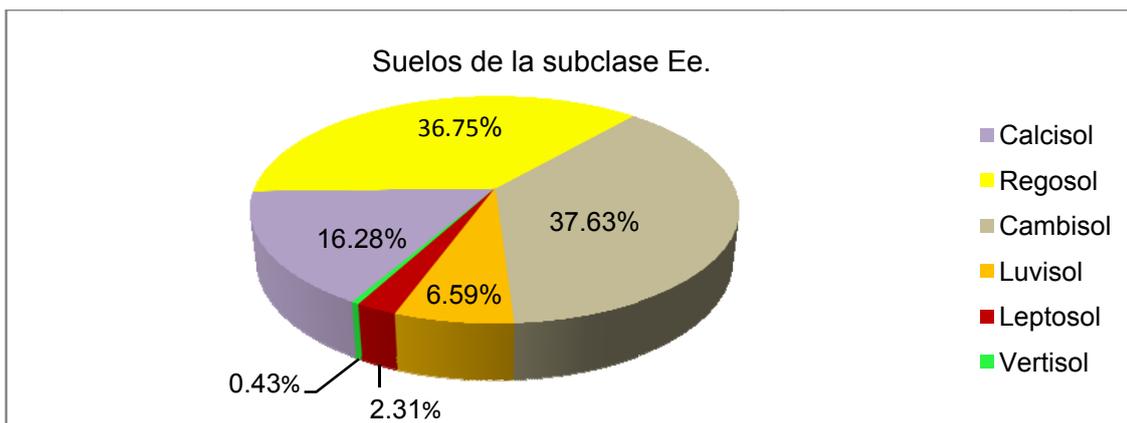


Fig. 3.26: Suelos de la subclase Ee. Porcentajes sobre el total de la subclase (2034 ha).

Tienen tasas de erosión hídrica muy elevadas, de $100-374 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, lo cual constituye pérdidas muy grandes. Si se describe cada uno de los factores que intervienen en la estimación de dichas pérdidas de suelos, el factor R presenta valores de $58-78 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{hora}^{-1}$, con la mitad de la superficie entre $68-78 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{hora}^{-1}$. La erosionabilidad de los suelos está caracterizada por tener valores altos (0.580 y $0.625 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) que afectan al 74% de la superficie de esta subclase (perfil 12 y 14). Los valores de LS oscilan entre 2.47 y 18.3, siendo los valores de 8 a 12 los mayoritarios (65%), debido a la pendiente (%), en la que dominan los intervalos entre el 21-31% y 31-45% (juntos suponen 1540 ha) y longitudes de pendiente largas (250-500 m) y muy largas (>500 m) que suman unas 1200 ha del total de esta subclase. Siguiendo con los demás factores, el correspondiente al uso (C), toma los valores correspondientes a los cultivos de olivar y viñedos (0.466), en su mayoría (unas 1600 ha, 80% del total). Por último, las prácticas de conservación, una vez más no se encuentran presentes de manera efectiva, de modo que son valores altos (0.9 está presente en un 67% de las unidades de esta Subclase).

Siguiendo con la caracterización de los demás factores de esta subclase, como ya se ha dicho la pendiente es pronunciada, siendo los intervalos presentes los de la tabla 3.23.

Pendiente (%)	Área (ha)	Área (%)
3-8	119	5.9
8-16	354.2	17.4
21-31	1358.2	66.8
31-45	181.5	8.8
>45	21.1	1.1
Total	2034	100

Tabla 3.23: Grado de pendiente de los suelos de la subclase Ee.

El espesor efectivo de los suelos es superior a 80 cm, excepto en los suelos del perfil 11, en el que es de 25 cm. No presentan los suelos de esta subclase

rocosidad limitante, excepto en 3 unidades donde es mayor del 50 de la superficie (perfiles 4 y 19). La pedregosidad no causa limitación alguna en unas 1200 ha, encontrándonos un 36% de los suelos con un contenido en gravas entre el 40-60% (Bg) y sólo un 4% en el que es mayor (60-80% de gravas, Cg).

La salinidades inferior a $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en casi un 99% y el resto entre $2-4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Bs). En cuanto a la alcalinidad, no presenta problemas en la mayoría de las unidades de esta subclase (An, 90%), con problemas moderados (Bn), un 6% y el restante 4% (unas 70 ha) presentan problemas severos debido al alto contenido en sodio intercambiable (por encima del 15%) que provoca, entre otras, dispersión de las arcillas y materia orgánica.

Los suelos de esta subclase tienen unas propiedades físicas caracterizadas por no tener limitaciones o ser leves, ya que estos suelos tienen textura equilibrada (casi un 98%) y la presencia de carbonatos, siendo alta, no superan los intervalos a partir de los cuales se manifiestan los efectos de forma considerable. Las propiedades químicas, no son favorables debido a los bajos contenidos en materia orgánica, que dificulta el rendimiento de los cultivos y la gran cantidad de carbonatos, que pueden provocar problemas de clorosis a los cultivos (Fig. 3.27).

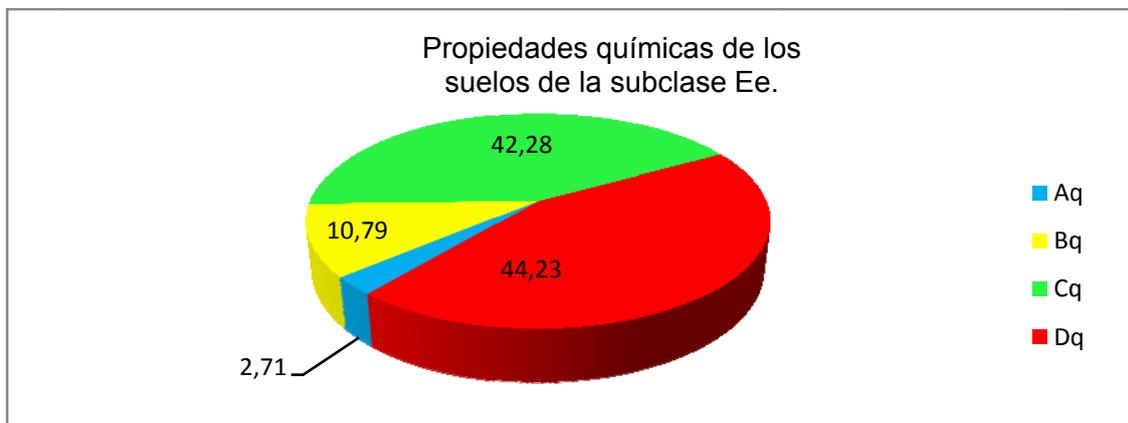


Fig. 3.27: Propiedades químicas de los suelos de la subclase Ee (%).

En cuanto al exceso de agua decir que el 26% no lo tienen y el restante 74% presenta un exceso de agua en el suelo, en algún periodo del año, inferior a $300 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. El déficit hídrico se caracteriza por ser bajo, inferior a $300\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$ (Ba) en un 43% de las unidades que componen esta Subclase; niveles de falta de agua entre $300-400 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ (Ca), un 37% y con niveles mayores (Da), $400-600 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, el 20% de los suelos. Las limitaciones térmicas son como las anteriormente mencionadas (Bc).

Como limitaciones menores se presentan la pendiente, afloramientos rocosos, espesor efectivo y salinidad.

Subclase Ef.

Los suelos de esta subclase se sitúan en las terrazas del arroyo de la Carchena (Fig. 1.21), al sur de la zona de estudio en el margen izquierdo del río Cabra y al sur del arroyo Benavente. Suponen 550 ha y están desarrollados sobre materiales margosos (margas arenosas 56%, margas yesíferas 30% y margas 14%), lo que dan como resultado suelos muy ricos en arcillas, siendo estos Luvisoles (54%), Regosoles (41%) y Vertisoles (casi un 5%). La tasa de erosión es muy baja y baja (67%), moderada en un 21% de las unidades y alta en un 12%. Al describir los factores que influyen en ella, se observa que los valores más representativos de R son entre 60-64 $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{hora}^{-1}$, la erosionabilidad de los suelos (K) es de 0.397 $\text{t}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ en un 54% (perfil 21) y de 0.151 en un 30% (perfil 7). Los valores de LS oscilan entre 2.1-7.1, que no son muy elevados, en parte debido a que las pendientes se encuentran entre el 3-16% y las longitudes de pendiente, en su mayoría, están entre 100-300 m. El valor mayoritario correspondiente al factor C de terrenos agrícolas de olivar y viñedo (0.428) se presenta en un 84%. En cuanto al factor P los valores predominantes (90%) son 0.50 y 0.65.

Las limitaciones en cuanto a la pendiente (p) son inexistentes (Ap) o leves (Bp) en un 93% de la superficie de esta subclase. El espesor efectivo (x) es mayor de 80 cm, en un 65% de las unidades de esta Subclase (perfiles 8 y 21), siendo el resto (perfiles 6 y 7) de 70 cm, por tanto definidos como Bx. Los afloramientos rocosos son inexistentes, con lo que son caracterizados como Ar, al igual que al ocuparnos de la pedregosidad, que es inferior al 40%, concretamente inferiores al 1% (perfiles 6, 7 y 8) y menores del 10% (perfil 21) clasificándose por tanto como Ag.

Tienen una salinidad, medida como conductividad en $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, menor de 0.6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (As). No ocurre igual con la alcalinidad, medida como RAS, con valores inferiores a 5 en un 70% de los suelos de esta subclase (An), siendo el resto Bn, dado que tiene en promedio un valor de 6.6 (perfil 7).

Las propiedades físicas son muy deficientes, debido a que tienen textura arcillosa, con porcentajes de esta fracción superiores al 50% en todos los casos y a la permeabilidad que es muy lenta. Las propiedades químicas que muestran estos suelos son Cq y Dq. En el primero los contenidos en materia orgánica son inferiores al 1% y la cantidad de carbonatos entre 30-50% (perfiles 6, 7 y 21). El segundo caso también presenta materia orgánica menor del 1%, pero los carbonatos son del 58% en promedio (perfil 8).

Los suelos tienen una reserva de agua útil para las plantas muy variable, desde 87.2 hasta 225.7 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$, que unido a la situación geográfica y por tanto a la ETP calculada y realizados los cálculos hídricos, dan excesos de agua inferiores a 300 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$ en el 43% de los suelos (150 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$ para el

perfil 7, de 15 a 30 mm·año⁻¹ en el perfil 8 y de unos 70 mm·año⁻¹ para el perfil 6) y en el restante 57% no presentan exceso de agua (perfil 21). En cuanto al déficit hídrico se presentan Ca y Da. En el primero las carencias de agua están en torno a 300-400 mm·año⁻¹ (perfiles 21 y 8) y en el segundo el intervalo está entre 400-600 mm·año⁻¹ (perfiles 6 y 7). Las limitaciones térmicas son iguales, como en casos anteriores (Bc).

Las limitaciones menores son la erosión, pendiente, espesor efectivo y afloramientos rocosos.

Subclase Ep.

Ocupa una superficie de 80.92 ha y se distribuye por toda la zona estudiada (Fig. 3.22 y 3.24). Se encuentran sobre materiales diversos, desde margas hasta calizas, siendo los suelos desarrollados sobre estas también diversos (Calcisoles, Cambisoles, Regosoles y Leptosoles). Presentan tasas de erosión bajas y muy bajas en un 30%, siendo moderadas en un 8% y altas en 62%. Al pormenorizar en los parámetros que la condicionan tenemos que señalar que la erosividad de las lluvias en un 59% es de las más bajas de la zona estudiada (60-62 J·m⁻²·cm·hora⁻¹), predominan los intervalos de pendiente entre el 21-45%, con los valores de erosionabilidad de los suelos menores o iguales a 0.304, el factor LS se encuentra entre 10-12, la cobertura vegetal es del 43% de olivar (0.428) y el resto con valores muy bajos debido a ser vegetación forestal (0.025), en cuanto a las prácticas de conservación, dado que son inexistentes y unido a las altas pendientes, toman los valores máximos.

Siguiendo con el resto de factores que determinan la Capacidad de Uso de estos suelos, la pendiente ya comentada, se encuentran por encima del 31%, con longitudes de pendiente moderadamente largas (entre 50-250 m). El espesor efectivo de los suelos de esta subclase superan los 80 cm en todos los casos, excepto en dos unidades, una de ellas con una profundidad entre 60-80 cm y otra en la que es de 25 cm.

No presenta afloramientos rocosos en un 70% y el resto los presentan en más del 50% de su área (Er). No tienen problemas de pedregosidad (en un 82%) y el 18% restante presentan contenidos en gravas de 40-60% (Bg).

La salinidad no es superior a 2 dS·m⁻¹, con lo que tiene problemas derivados de este factor (As) y la alcalinidad tampoco se manifiesta en estos suelos de forma mayoritaria (An).

Las propiedades físicas son buenas o muy buenas, ya que son suelos de textura franca, equilibrados y con una permeabilidad buena o moderada, con valores en torno a 4 cm·h⁻¹.

Las propiedades químicas son más deficientes tal y como se muestra en la figura 3.28, con bajos contenidos en materia orgánica (<1%) y gran cantidad de carbonatos totales, que determina que predominen Bq y Cq.

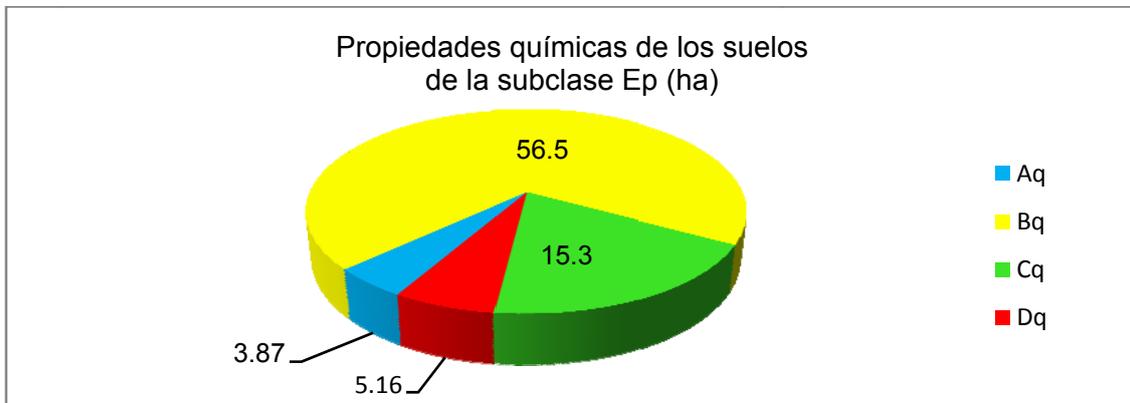


Fig. 3.28: Propiedades químicas de los suelos de la subclase Ep (ha).

En los parámetros climáticos, el exceso de agua, comentar que presentan un exceso medio en torno a los $150 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, con lo que se consideran Bh. El déficit de agua, en casi un 81% está entre $400\text{-}600 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, siendo el resto considerados como Ca (un 13 %) y Ba (6%). Las limitaciones térmicas son similares al resto (Bc).

Los suelos de esta subclase tienen como limitaciones menores a la erosión, el espesor efectivo y los afloramientos rocosos.

Subclase Er.

En esta subclase predominan los afloramientos rocosos. Los suelos de esta subclase ocupan una superficie de 272 ha, el 0.81% del total estudiado. Se encuentran en una franja en el este y son Regosoles y Leptosoles, siendo dominantes los primeros por un amplio margen (más del 90%). Presentan tasas de erosión moderadas y altas, con valores de erosividad de las lluvias de $66\text{-}76 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{hora}^{-1}$, erosionabilidad de $0.250 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$, el factor LS toma valores de 2-9, cubierta vegetal predominante de cultivos de olivar (0.428), sin prácticas de conservación destacables. Las pendientes son superiores al 6%, llegando a superar el 31%, con longitudes de pendiente largas (100-400 m).

El espesor efectivo es superior a 80 cm de manera mayoritaria (perfil 19) y en una unidad es de 30 cm (perfil 23), con lo que se clasifican respectivamente como Ax y Dx. Los afloramientos rocosos están presentes en más del 50% de la superficie de cada Unidad de Capacidad y son de margocalizas, que es la litología sobre la que se desarrollan estos suelos (Fig 3.29).



Fig. 3.29: Suelos de la subclase Er (izq.), en donde se observan los afloramientos rocosos de naturaleza margocaliza (en detalle a la der.).

El contenido, en promedio, de gravas es del 14%, con mayor presencia en el horizonte superior (Ap), disminuyendo en profundidad.

En cuanto a la salinidad, está en torno a $0.3-0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, muy por debajo de lo es considerado como problemático, por lo que los suelos son As. La alcalinidad tampoco da problemas a los cultivos, con valores de RAS cercanos a cero.

Las propiedades físicas se caracterizan por tener a la arcilla como fracción dominante en la textura de estos suelos, lo que determina una permeabilidad deficiente, como así lo corroboran los datos de conductividad hidráulica de $0.28 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ (Ef). Las propiedades químicas se definen como Bq, contenidos de materia orgánica superiores al 1% e inferiores al 2% y gran cantidad de carbonatos.

Los parámetros relacionados con el clima son como siguen. El exceso de agua en estos suelos está entre $180-260 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, por lo que se clasifican como Bh. El déficit hídrico se encuentra entre $400-600 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ (Da), debido entre otros a la pequeña reserva de agua de estos suelos, no pudiéndose contrarrestar la fuerte evapotranspiración. Las limitaciones térmicas son las mismas que en casos anteriores.

Esta subclase presenta como limitaciones menores la erosión hídrica, pendiente, espesor efectivo y pedregosidad.

Subclase Ex.

Suelos donde el espesor efectivo es inferior a 25 cm. Suponen casi el 6% de la zona estudiada (1988 ha) y se encuentran en el Cerro de Rompebonetes, Malabrigo, Cerro Atalaya (Fig. 3.30), Cerro Guerrero y Cerro del Boticario. Se

localizan, fundamentalmente sobre materiales margosos, junto con otras litologías. Los suelos son Leptosoles calcáricos (perfiles 4 y 11) situados en posiciones fisiográficas de lomas estables no disectadas y en menor medida, disectadas. No tienen afloramientos rocosos debido a la naturaleza blanda y fácilmente deleznable de la litología margosa, con la excepción de aquellos suelos (perfil 4) que se hallan sobre calizas o margocalizas.

La erosión que presentan está entre $17-95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, debido a la erosionabilidad de los suelos ($0.507 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) y a la pendiente, que está por encima del 16%, llegando hasta el 31%. En cuanto al resto de factores que afectan a la Capacidad de Uso de estos suelos, no presentan problemas derivados de la salinidad y la alcalinidad. Las propiedades físicas son algo deficientes, en virtud de una textura poco equilibrada (rica en limo) fundamentalmente, con lo que son clasificadas como Bf.



Fig. 3.30: Al fondo, Leptosoles calcáricos sobre margas en el Cerro Atalaya (Subclase Ex).

Las propiedades químicas se caracterizan por un alto contenido en materia orgánica (en torno al 5%), aunque tiene una cantidad considerable de carbonatos.

Respecto al déficit hídrico, lo primero sería señalar que la reserva de agua útil para las plantas de estos suelos es de 64 mm (perfil 11) y de 21 mm (perfil 4), que unido a la ETP, da como resultado que el déficit de estos suelos se encuentra entre $400-600 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. También cuenta con un exceso de agua en el suelo, entre $60-100 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. Las limitaciones térmicas son idénticas a las de Subclases anteriores.

Estos suelos presentan como única limitación menor a la pendiente, los afloramientos rocosos y la salinidad.

3.4.2. Subclases de Capacidad de Uso (11 factores).

En esta ocasión desestimamos la aplicación como factor limitante, del déficit hídrico (a), aplicándose el resto de la metodología como en el caso anterior. Los resultados obtenidos son los siguientes (tabla 3.24):

Clase	Subclase	Área (Ha)	Área (%)
B	Be	2756.1	8.20
	Bn	331.3	0.99
	Bp	289.1	0.86
	Bq	54.3	0.16
C	Ce	7891.1	23.4
	Cp	47.73	0.14
	Cq	1168.2	3.48
	Cx	465.7	1.39
D	De	5642.3	16.7
	Df	77.91	0.23
	Dn	3938.6	11.7
	Dp	80.02	0.24
	Dq	5937.6	17.6
E	Ee	2034.1	6.05
	Ef	550.8	1.64
	Ep	80.9	0.24
	Er	272.9	0.81
	Ex	1988.0	5.92
Total		33607.2	100

Tabla 3.24: Subclases de Capacidad de Uso, considerando 11 factores limitantes

Subclase Be.

Con una extensión de 2756 ha (8% del total), se observa un aumento considerable al eliminar el déficit hídrico de los factores limitantes. Se encuentran en zonas diversas, al norte del valle del Carchena, al sureste de Montilla, en el sur de la zona estudiada, arroyo del Salado y otras áreas menores.

La tasa de erosión es baja (entre 12-25 t·ha⁻¹·año⁻¹) en su totalidad, debido a la baja erosionabilidad de los suelos y la pendiente, que no supera el 16%, con casi la mitad por debajo del 8%.

En cuanto a los suelos, son Calcisoles (perfil 1, 3, 5, 9, 17 y 18) en un 87% de las Unidades de esta Subclase, Regosoles con casi el 12% de la Subclase (perfil 16) y Luvisoles (perfil 21) con un 0.36%. Son suelos profundos (>80 cm), en un 88% de los casos, con espesores que llegan hasta los 160 cm en Calcisoles y 255 cm en Luvisoles.

Existen afloramientos rocosos (2-10% de la superficie, Br) en el 12% de las unidades de esta Subclase, siendo en el resto inexistentes. La pedregosidad no es un factor limitante, con valores de grava en torno al 5%, salvo un caso, como en Regosoles (perfil 16) en el que ronda el 30%.

Los valores de conductividad eléctrica entre 2-4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Bs), los presentan un 11% de los suelos, siendo el resto menor de 2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. La alcalinidad no supone un factor limitante importante en el 83% (An), siendo el resto de la subclase Bn (perfiles 3, 9 y 17) que presentan un RAS, en promedio, de 6.53, 5.67 y 5.32, respectivamente. Estos suelos son Calcisoles.

Las propiedades físicas no suponen problemas para los suelos de esta subclase en un 74% de la superficie, dado que la textura es equilibrada y la permeabilidad buena. Las propiedades químicas, sin embargo, son algo deficientes, debido a los bajos niveles de materia orgánica, en torno al 1-2% y una cantidad de carbonatos totales algo mayores de los deseables. Por tanto, el 86% se clasifica como Bq.

No se presentan limitaciones severas por el exceso de agua de estos suelos, al menos en una época del año. El 88% tiene un exceso de agua entre 180-200 $\text{mm}\cdot\text{año}^{-1}$ (Bh). Al sur de la zona de estudio un 12% de esta subclase no presenta exceso de agua (perfil 18 y 21). Las limitaciones térmicas son iguales que en el caso anterior.

Esta subclase presenta como factores limitantes menores la pendiente, espesor efectivo y pedregosidad.

Subclase Bn.

Esta subclase no aparece en la metodología en la que se aplican los 12 factores. Suponen una superficie total de unas 331 ha (casi un 1% del total) en torno al río Cabra y arroyo del Salado, por tanto, en posiciones fisiográficas de terrazas fluviales no disectadas y sobre litologías de arcillas, arenas y limos. Los suelos desarrollados son Calcisoles en su totalidad (perfil 9 y 17).

Estos suelos tienen niveles de pérdida de suelo inapreciables y muy bajos, desde 0.25-11.6 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ (Ae). La pendiente es inferior al 8%, con lo que no presentan limitación respecto este factor. El espesor efectivo es superior a 80 cm, sin afloramientos rocosos ni pedregosidad. Tampoco presentan problemas de salinidad al tener conductividad eléctrica inferior a 0.3 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. En cambio la alcalinidad tiene valores algo mayores de los deseables como idóneos, con un valor medio de RAS de 5, por lo que se clasifica como Bn.

Las propiedades físicas son buenas, al igual que las químicas. El exceso de agua está en torno a $130 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ en la totalidad de esta subclase. Las limitaciones térmicas son iguales que en el caso anterior.

Presenta como limitación menor a la erosión hídrica.

Subclase Bp.

Al igual que la anterior, en la metodología original (12 factores), no aparece esta subclase. Se localizan en pequeñas áreas repartidas por toda la zona estudiada, con una superficie de 289 ha (0.86% del total), sobre litologías de arcillas, arenas y limos (141 ha), margas yesíferas (135 ha) y materiales aluviales recientes (13 ha). La fisiografía de estas zonas son de terrazas fluviales (154 ha), llanuras estables disectadas (131 ha) y lomas inestables disectadas (3 ha). Los suelos que se desarrollan son Calcisoles háplicos (perfiles 5, 9 y 18).

Las tasas de erosión hídrica varían entre $0.6\text{-}11.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Estos valores son bastante bajos, debido a la erosividad de las lluvias ($58\text{-}62 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{hora}^{-1}$), pendientes inferiores al 16% y un factor K bastante bajo en comparación con otros suelos ($0.205, 0.304$ y $0.320 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$). La pendiente no es acusada y oscila entre 7-12%, con longitudes de pendiente moderadamente largas (30-240 m).

El espesor de los suelos está por encima de 80 cm, llegando incluso hasta los 160 cm (perfil 18), sin afloramientos rocosos ni pedregosidad limitante.

Estos suelos no tienen problemas por presencia de sales, con la excepción de una Unidad de Capacidad de Uso de unas 3 ha, en la que los valores de conductividad eléctrica, en promedio, son de unos $5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (perfil 18). La alcalinidad no es limitante (An) en una superficie de 134 ha, mientras que empieza a serlo (RAS igual a 5.60) en 154 ha (perfil 9).

Las propiedades físicas se caracterizan por tener una textura equilibrada y valores de conductividad hidráulica que llegan hasta los $1.5 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ en una superficie de 286 ha (perfiles 5 y 9), por lo que se clasifican como Af. Existe una pequeña área de 3 ha (perfil 18) en donde la textura no es tan equilibrada (enriquecida en arcilla) y la conductividad hidráulica baja hasta $0.3 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$, con lo que clasifica como Bf. Las propiedades químicas son buenas en un 53% de la subclase (perfil 9 y 18) debido a los contenidos en materia orgánica que llegan hasta el 3% (perfil 9) y contenidos en carbonatos bajos. Se clasifican como Bq a los suelos del perfil 5 (el 47% restante de esta subclase), por tener menor contenido de materia orgánica (entre 1-2%) y presentar un alto contenido de carbonatos.

Presentan problemas derivados del exceso de agua en casi la totalidad de los suelos, con valores entre 130-180 mm·año⁻¹. Limitaciones térmicas idénticas al anterior.

La limitación menor de esta subclase es la erosión hídrica.

Subclase Bq.

Tampoco estaba presente con la metodología original y está representada en sólo 8 Unidades de Capacidad de Uso, que suponen un total de 54 ha.

Los materiales sobre los que se desarrollan los suelos son de margas yesíferas (45 ha) y aluvial reciente (9 ha). Tienen fisiografía de llanuras inestables disectadas y los suelos son Calcisoles háplicos (perfil 5).

Las tasas de erosión hídrica oscilan de inapreciables a muy bajas (inferiores a 11 t·ha⁻¹·año⁻¹). La pendiente es inferior al 3% en unas 34 ha, con longitudes de pendiente entre 45-250 m, es decir que son moderadamente largas. El espesor del suelo es de 120 cm (perfil 5) y se clasifica como Ax. No tiene afloramientos rocosos ni pedregosidad que supongan limitaciones.

La salinidad, medida como conductividad eléctrica, es inferior a 0.3 dS·m⁻¹. la alcalinidad no supone problema alguno para los suelos de esta subclase, con valores de RAS inferiores a 2.

Las propiedades físicas son correctas, en virtud de una textura equilibrada y permeabilidad adecuadas, no así las propiedades químicas que adolecen de valores de materia orgánica bajos, entre 1-2% y un contenido en carbonatos que pueden crear problemas nutricionales a los cultivos.

El exceso de agua, se encuentra en los 170 mm·año⁻¹, siendo por tanto la única limitación menor de esta subclase. Las limitaciones térmicas son idénticas a las anteriores Subclases.

Presenta como limitación menor a la erosión hídrica.

Subclase Ce.

Esta subclase aumenta significativamente, respecto a la resultante de aplicar la metodología original, con una superficie de 7891 ha (23.48% del total estudiado).

Se encuentra distribuida por toda la zona de estudio, sobre diversos materiales, entre los que destacan las arenas, limos y margas amarillas (77%), mayoritariamente en llanuras inestables disectadas (89%). Los suelos desarrollados son Regosoles (72%) y Calcisoles (28%).

Las pérdidas de suelo por erosión hídrica se encuentran comprendidas entre las 25-50 t·ha⁻¹·año⁻¹, de las cuales la mitad de las Unidades de Capacidad están entre 25-35 t·ha⁻¹·año⁻¹. Al describir los factores que contribuyen a estos niveles de erosión hídrica, se debe decir que presentan unos valores de erosividad de las lluvias en torno a 60-68 J·m⁻²·cm·hora⁻¹, una erosionabilidad de los suelos (K) de 0.58 t·m²·h·ha⁻¹·J⁻¹·cm⁻¹ en el 70% de la superficie, pendientes entre el 8-21%, con longitudes moderadamente largas y largas, un factor C de 0.428, correspondiente a cultivos de olivar y viñedos y 0.466 de los herbáceos de secano. El factor P tiene valores en torno a 0.5-0.8.

La clasificación de los suelos de esta subclase en función de la pendiente, se muestra en la Fig. 3.31.

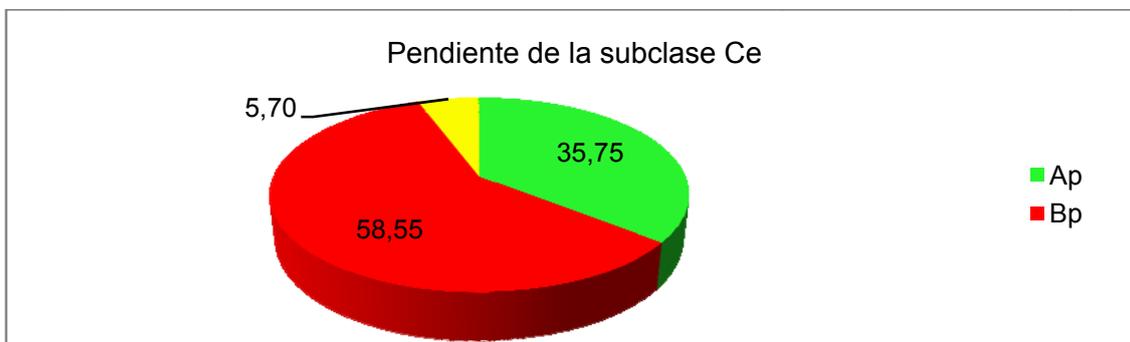


Fig. 3.31: Suelos de la Subclase Ce, según la pendiente (p).

En cuanto al espesor efectivo, son suelos profundos (llegando hasta los 160 cm, perfil 18) en más de 7200 ha, sin problemas de afloramientos rocosos, con la excepción de los situados en el norte de la zona de estudio, con una superficie de unas 150 ha. La pedregosidad es del 40-60%, en unas 5500 ha (Bg).

Sin problemas de salinidad y alcalinidad destacables, propiedades físicas algo deficientes por una textura algo desequilibrada y cantidad de carbonatos totales. Las propiedades químicas son bastante deficientes en un 76% de los suelos de esta subclase. Los bajos contenidos en materia orgánica (inferiores al 1%) de los perfiles 12 y 15 y los altos contenidos en carbonatos totales, determinan que el 76% sean clasificados como Cq, en los la viabilidad de los cultivos puede verse comprometida y/o disminuya su rendimiento por déficit de nutrientes.

El exceso de agua en el suelo es inferior a 300 mm·año⁻¹, determinado en gran parte en la capacidad del suelo para almacenar agua útil para las plantas, de forma que se presentan valores bajos, entre 20-50 mm·año⁻¹ (perfil 12) y más altos, de 280-300 mm·año⁻¹ (perfil 3).

Las limitaciones menores de esta subclase son: pendiente, espesor efectivo, afloramientos rocosos y pedregosidad.

Subclase Cp.

Los suelos clasificados en esta subclase aumentan tras aplicar la metodología de los 11 factores. Aumenta su superficie hasta las 47.7 ha (0.14% del total). Sobre litologías blandas, tales como margas yesíferas y arcillas, arenas y limos, se desarrollan los suelos de esta subclase, que son mayoritariamente Calcisoles, con menos de un 3% de Regosoles. Se localizan en fisiografías de terrazas fluviales no disectadas y llanuras inestables disectadas.

Las tasas de pérdida de suelo por erosión hídrica estimadas son bajas o muy bajas, con valores de erosionabilidad de los suelos bajos (0.205 y $0.304 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) donde la cobertura vegetal hace que el suelo más erosionable ($0.580 \text{ t}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$) sea de los que menos tasa de erosión presenta. La erosividad (R) de las lluvias es de las más bajas de la zona de estudio, con valores entre 58 - $62 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{hora}^{-1}$. El factor LS no supera el valor de 7. La pendiente alcanza porcentajes del 20% (siempre mayores al 16%) y con longitudes de pendiente cortas a moderadamente largas (entre 35 y 165 m). La profundidad de los suelos llega hasta los 120 cm (perfil 5), sin afloramientos rocosos ni pedregosidad destacable.

La salinidad de los suelos está por debajo de $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y la alcalinidad presenta algunos casos en donde el RAS está en 5.6 (perfil 9), siendo en el resto no problemáticos.

Estos suelos tienen textura equilibrada y permeabilidad adecuadas al cultivo, las propiedades químicas son buenas en un 57% y el resto algo deficientes debido a los bajos niveles de materia orgánica y carbonatos presentes. El exceso de agua del suelo oscila entre los 145 - $195 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ (Bh).

Las limitaciones menores que presentan son la erosión y el espesor efectivo.

Subclase Cq.

El resultado de aplicar la metodología de los 11 factores, supone que esta subclase aumente su representación en la zona de estudio, hasta las 1168 ha. Los suelos de esta Subclase son Calcisoles, Regosoles y Fluvisoles (Fig. 3.32), sobre arenas, limos y margas amarillas mayoritariamente. Localizados en posiciones fisiográficas de llanuras inestables disectadas y llanuras de inundación actual.

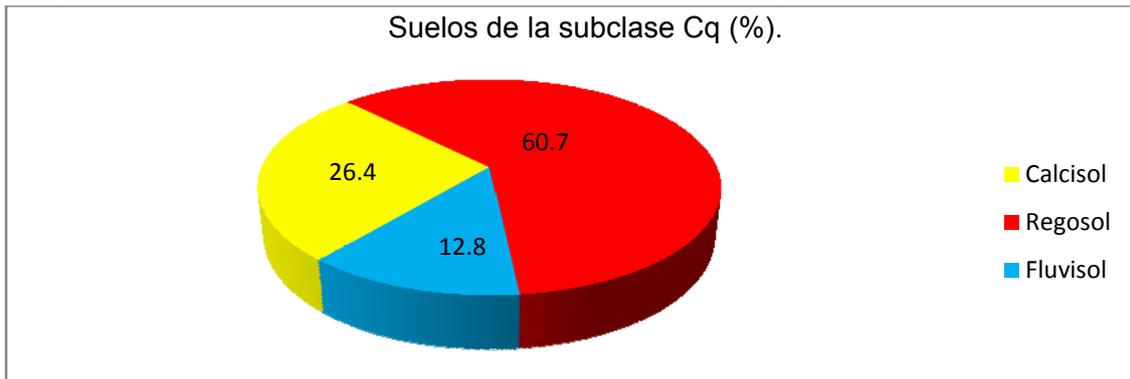


Fig. 3.32: Tipos de suelos de la subclase Cq. Los porcentajes están referidos al total de esta subclase (1168 ha).

Sufren tasas de pérdida de suelo bajas, de 12-25 t·ha⁻¹·año⁻¹ en la mayor parte de ellos (86%), y el resto con tasas inferiores (<12 t·ha⁻¹·año⁻¹). Los valores de pendiente se encuentran por debajo del 16%, a mayor valor de erosionabilidad del suelo, mayores tasas de erosión, con alguna excepción debida a la cobertura vegetal de tipo forestal. El espesor de los suelos llega hasta los 230 cm, en Fluvisoles (perfil 20) siendo menor en el caso de los Regosoles de esta Subclase (90 cm, perfil 12), llegando hasta los 60 cm en Calcisoles (perfil 2). No presenta afloramientos rocosos y la pedregosidad está por debajo del 40%, con excepción de los regosoles (perfil 12), que tienen valores que llegan hasta el 60%.

Estos suelos no presentan problemas de salinidad, con la excepción del perfil 2, que está ligeramente por encima de 2 dS·m⁻¹ y los valores de la relación de adsorción de sodio, que determinan la alcalinidad, tampoco son preocupantes.

Todos los suelos de esta subclase tienen una textura poco equilibrada, con una fracción que empieza a ser abundante, en este caso el limo (perfiles 2, 12 y 15) y la arcilla (perfil 20). En cuanto a la permeabilidad es buena en los primeros y algo deficiente en los segundos.

Las propiedades químicas son deficientes (Cq) en base a contenidos en MO inferiores al 1% y unas cantidades de carbonatos totales que pueden causar problemas de nutrición, por encima del 30% y que llegan a ser del 40% en algún suelo (perfil 20). En cuanto al exceso de agua en el suelo, en alguna época del año, no lo presentan un 19% de las Unidades de Capacidad de esta subclase y las que lo superan lo hacen hasta niveles de unos 70 mm·año⁻¹ (perfil 20) y de unos 160 mm·año⁻¹ (perfil 2).

Esta Subclase presenta como limitaciones menores a la erosión, la pendiente, espesor efectivo y afloramientos rocosos.

Subclase Cx.

Esta subclase no aparece en la metodología original de 12 factores, ocupa una superficie de 465 ha y se localizan, principalmente, en la zona mitad norte de zona estudiada, sobre calcarenitas y en forma de llanuras estables no disectadas. Los suelos son Calcisoles (perfil 2) y presentan tasas de erosión entre $12-25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, con pendientes entre 16-21% o inferiores.

El espesor efectivo de estos suelos es de 60 cm, sin afloramientos rocosos, ni pedregosidad, con niveles de salinidad, en promedio de $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y sin problemas de alcalinidad ($\text{RAS}=4.5$). Las propiedades físicas algo deficientes por la textura algo enriquecida en limo y arena y con una permeabilidad de $1.22 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$ en superficie. Las propiedades químicas son adecuadas, con un contenido en materia orgánica por encima del 2% y carbonatos del 11%. Los excesos de agua, determinados por la reserva del suelo (de 100 mm) y la localización geográfica, alcanzan los 180 mm/año, con mínimos en los $140 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$.

Las limitaciones menores mejorables son la erosión, pendiente y afloramientos rocosos.

Los resultados obtenidos para el resto de Subclases (De, Df, Dn, Dp, Dq, Ee, Ef, Ep, Er y Ex), son idénticas a las obtenidas mediante la metodología en los 12 factores, por lo que no se volverán a describir.

3.4.3. Subclases de Capacidad de Uso (9 factores).

Dado que los resultados obtenidos de aplicar los 9 factores limitantes, son idénticos a los obtenidos con la metodología de los 11 factores, no se hará la descripción de las Subclases, solo se muestra la tabla 3.25.

Clase	Subclase	Área (Ha)	Área (%)
B	Be	2756.1	8.20
	Bn	331.3	0.99
	Bp	289.1	0.86
	Bq	54.3	0.16
C	Ce	7891.1	23.4
	Cp	47.73	0.14
	Cq	1168.2	3.48
	Cx	465.7	1.39
D	De	5642.3	16.7
	Df	77.91	0.23
	Dn	3938.6	11.7
	Dp	80.02	0.24
	Dq	5937.6	17.6
E	Ee	2034.1	6.05
	Ef	550.8	1.64
	Ep	80.9	0.24
	Er	272.9	0.81
	Ex	1988.0	5.92
Total		33607.2	100

Tabla 3.25: Distribución de las Subclases de Capacidad de Uso (9 factores limitantes).

3.5. Unidades de Capacidad de Uso.

3.5.1. Unidades de Capacidad de Uso (12 factores).

Unidad Bep.

Los suelos pertenecientes a esta Unidad de Capacidad de Uso, suponen en el área de estudio una superficie de 3.88 ha situadas al suroeste del núcleo de Aguilar de la Frontera, distribuidas en una única unidad. Tienen como limitación mayor la erosión (e), con una tasa de pérdida de suelo por la erosión hídrica de $13.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y como limitación menor el espesor efectivo (x), que es de 160 cm.

Unidad Cae.

Se localizan en el paraje Piedras del Ruedillo, en dos unidades, con un total de 8.55 ha. Presentan como limitación mayor el déficit hídrico (a), de unos $370 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ y como limitación menor la erosión (e), con tasas de pérdida de suelo de $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.

Unidad Cap.

La superficie total es de 60.2 ha y la componen 6 unidades, localizadas en dos zonas separadas. La primera se encuentra en el norte en los parajes Fuentespino y Haza de la Vaca, la segunda se sitúa en el sur en Cabeza Cazalla y Mina Matapeces. Tienen como limitación mayor el déficit hídrico (a),

con valores para las unidades del norte de $384 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ y de $340 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ para las del sur. La limitación menor es la pendiente (p), que oscila entre 4.5% para la zona más septentrional y del 6% para la meridional.

Unidad Cax.

La integran 13 unidades distribuidas en una franja al sur, desde Cerro Porras hasta Cortijo del Río y otra al noroeste, en los parajes Haza de la Vaca y Fuentespino, que ocupan una superficie de 305.7 ha. Presentan como limitación mayor al déficit hídrico (a), que alcanza valores entre $330\text{-}380 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. La limitación menor es el espesor efectivo (x), dado que son suelos profundos, con 120, 160 y 255 cm (perfil 17, 18 y 21).

Unidad Cep.

Ocupa una superficie de 2101.9 ha, con 107 unidades y localizadas en los alrededores de los núcleos urbanos de La Rambla, Montilla y sur de Aguilar de la Frontera. Tienen como limitación mayor a la erosión, debido fundamentalmente a la erosionabilidad de los suelos. La limitación menor que presentan es la pendiente, que oscila entre 2-7%.

Unidad Cex.

Esta Unidad de Capacidad de Uso se localiza en la zona central del área de estudio, alrededores del núcleo urbano de La Rambla, este de Aguilar de la Frontera y en parajes conocidos como El Comandante, Caserones y Cerro Guerrero. Ocupa una superficie de 3521.5 ha (10.5% del total estudiado) con 109 unidades que tienen como limitación mayor la erosión, gracias a la contribución de la erosionabilidad de los suelos y al grado de pendiente. Tienen como factor limitante menor al espesor efectivo, que es de 90 cm (perfil 12), 120 cm (perfil 17) y 160 cm (perfil 18).

Unidad Cpx.

La integra una única unidad, de 2.34 ha, localizada en el paraje El Fontanar. Tiene como limitación mayor la pendiente, que llega al 18% y como limitación menor el espesor efectivo, con una profundidad de 90 cm (perfil 12).

Unidad Cqe.

Se encuentra presente en los parajes de Huerta Retamosa, Fuente del Álamo, La Capillanía, El Almidón y Cerro Romano. Ocupan una superficie de 62.5 ha (0.19%) y tiene como limitaciones menores las propiedades químicas, ya que los contenidos en materia orgánica son bajos (0.48%) y los carbonatos presentes elevados (34%). La limitación menor es la erosión, con tasas de pérdida de suelo de $6\text{-}11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.

Unidad Cqp.

Formado por 12 unidades, se encuentra en La Povedana, Llanos de la Huerta de Alvear, Cañada de Culebrón y Cortijo del rey. La superficie ocupada es de 143.5 ha (0.43%) y se caracteriza por tener como limitación mayor las propiedades químicas por idénticas razones que la unidad anterior. La pendiente es la limitación menor, con valores en torno al 5%.

Unidad Cqx.

Los suelos pertenecientes a esta Unidad de Capacidad de Uso ocupan una superficie de 511.3 ha (1.52%), la componen 32 unidades y se localizan al norte del núcleo de La Rambla y en los parajes Cerro de Acirate, La Canaleja, Huerta de la Alameda, Cantarranas, Jarata y Hormigosa. La limitación mayor es la de las propiedades químicas y la menor es el espesor efectivo del suelo, que está por encima de los 80 cm.

Unidad Dae.

La superficie de esta unidad es de 770.9 ha (2.29% del total), distribuidas a lo largo de la llanura de inundación actual del río Cabra, en el sector noroeste de la zona de estudio y en zonas dispersas al oeste, con 88 unidades en total. Presenta el déficit hídrico como limitación mayor, que llega a ser de $570 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$, en la zona oeste. La limitación menor es la erosión, siempre inferior a $12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.

Unidad Dag.

La integran 13 unidades localizadas en el noreste del área de estudio en parajes como Olivar de los Morenos, La Viuda y La Sierrecilla, con 300.3 ha en total (0.89%). La limitación mayor es la falta de agua, de $520 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ hasta $545 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$.

Unidad Dap.

Ocupa una superficie de 2042.8 ha (6.08%), localizadas en el valle del arroyo del Salado, río Cabra, zona central, estación de Montemayor, Matallana, El Viñaco, La Campiñuela (Fig. 3.33) y Los Zapateros. La limitación mayor es el déficit hídrico, con los valores máximos calculados (en torno a $570 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$) situados en el arroyo del Salado. La limitación menor es la pendiente, con valores inferiores al 8%.

Unidad Dar.

Se localiza al sur y al oeste de La Rambla, en los parajes Lagar de la Salud, Lagaritos, Tabarra y Huerta San Francisco. Son en total 49 unidades, 672.31 ha (2.00%) y tienen como limitación mayor el déficit hídrico. Alcanza valores mínimos de $460 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ y máximos de $485 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. En esta unidad la limitación menor son los afloramientos rocosos, que son inexistentes.

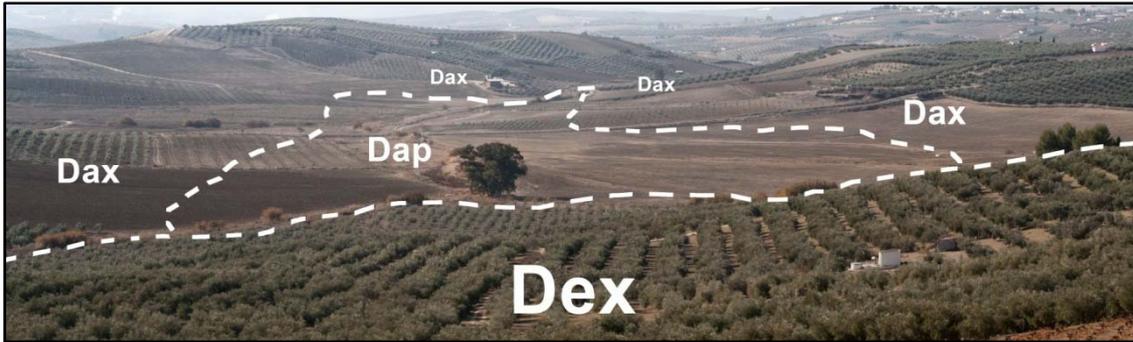


Fig. 3.33: Paraje La Campiñuela, en Montilla.

Unidad Dax.

Con 147 unidades y 2496.1 ha (7.43%) se localiza en el norte de la zona de estudio, sur del término municipal de Montalbán de Córdoba, sureste de Montilla (Fig. 3.33) y en la Vega del Carchena. La limitación mayor es el déficit hídrico, con valores entre $420-540 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. El espesor efectivo es la limitación menor que presentan estos suelos, que es de 90 cm (perfil 9), 100 cm (perfil 1), 120 cm (perfiles 3, 5 y 15).

Unidad Deg.

La integra 1 única unidad de 8.64 ha, situada en el paraje Los Arenales, donde la limitación mayor es la erosión, con valores de pérdida de suelo de $58 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y la limitación menor la pedregosidad, con un contenido en gravas del 25% (perfil 16).

Unidad Dep.

Está presente en los parajes de La Povedana, La Cruz de los Pollitos, Huerta Delgado, Alambique, Lagar San Miguel, Juan Colín, El Lastre y El Ciprés. La superficie total es de 1068.6 ha (3.18%) y tiene como limitación mayor la erosión, con tasas de $50-98 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y como limitación menor la pendiente, entre el 4-8%.

Unidad Der.

La componen 23 unidades, que se encuentran presentes en Fuente del Masegar, Caramolos, Huerta del Chorrillo y San Carlos. El área es de 255.1 ha (0.76%). La limitación mayor es la erosión, que este unidad tiene tasas de $50-99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, siendo la limitación menor la rocosidad.

Unidad Dex.

Distribuida por toda la zona de estudio (Fig. 3.33) y con una presencia muy importante en la Sierra de Montilla (Fig. 3.34). Esta Unidad de Capacidad de Uso posee una superficie de 4310.1 ha (12.8% del total), siendo la limitación mayor la erosión hídrica y la limitación menor el espesor efectivo.

La tasa estimada de pérdida de suelo se encuentra en el intervalo $50-100 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, debido al grado de pendiente y la erosionabilidad de los suelos. La profundidad de los suelos está por encima de 80 cm, concretamente, 90 cm (perfil 12), 120 cm (perfiles 3, 4, 5, 14, 15 y 17), 130 cm (perfil 13) y 160 cm (perfil 18).

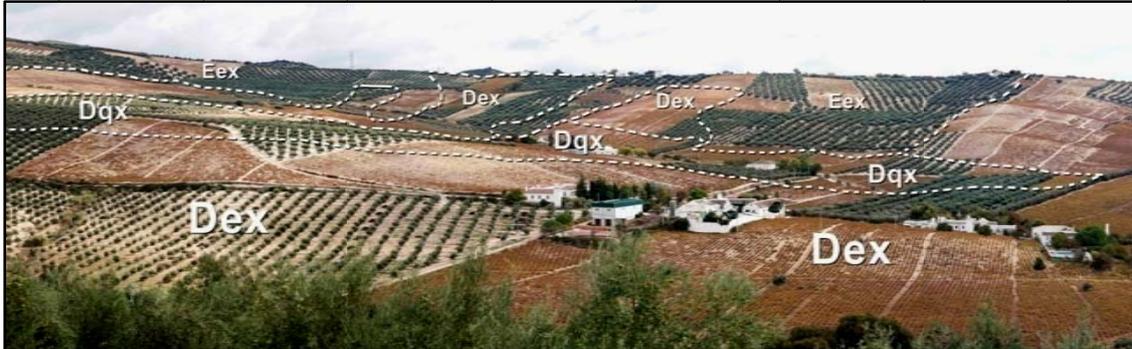


Fig. 3.34: Paraje Benavente (Sierra de Montilla), en donde se aprecian algunas Unidades de Capacidad de Uso (aplicando 12 factores limitantes).

Unidad Dfp.

La integran 2 unidades con una superficie en el área estudiada de 11 ha (0.03%), se encuentra en el margen derecho del arroyo Garabato, al noreste del Cortijo de Matallana. La limitación mayor es la de las propiedades físicas, dado que presentan una textura arcillosa y permeabilidad de $0.30 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$. La limitación menor es la pendiente (con un 5%).

Unidad Dfx.

Son dos las localizaciones, una al norte y otra al sur (66.9 ha). La situada al norte se encuentra anexa a la unidad Dfp, con el mismo tipo de suelo y mismas carencias en las propiedades físicas. La del sur se localiza al norte de del núcleo de Aguilar de la Frontera. Ambas tienen limitaciones debidas a la textura y permeabilidad y la limitación menor es el espesor efectivo.

Unidad Dne.

Formada por 4 unidades, se encuentra en los parajes Mayorazgo, Llanos de Malabrigo, río Cabra y arroyo de la Carchena. El área es de 27.4 ha (0.08%) y presenta como limitación mayor a la alcalinidad, con valores de RAS de 10. La limitación menor es la erosión, con pérdidas de suelo inapreciables ($<0.75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) o muy bajas ($9-10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$).

Unidad Dnp.

La superficie de esta unidad es de 1464 ha (4.36% del área estudiada), con 91 unidades, localizadas en innumerables parajes, tales como, Carrascal, la vega del Carchena, Llanos de Huerta Alvear, Los Salados, Prado Medel, El Prado, La Cobertilla, Chaparrales y Llano de María Josefa. Tiene como limitación mayor a la alcalinidad, con valores promedios de RAS de 10. La

limitación menor es la pendiente, que se encuentra por debajo del 8%, con 1200 ha en el intervalo 3-8%.

Unidad Dnx.

Está presente en parajes como Cajilones, Cárcamo, Puente de los Borrachos, Las Zorreras, La Trinidad, Anacleto y La Cobertilla, entre otros. El área total es de 2446 ha (7.28%) y la limitación mayor es la alcalinidad, como en las dos unidades anteriores, pues tienen el mismo suelo. El espesor efectivo es la limitación menor.

Unidad Dpe.

Con sólo 3 unidades en La Tercia, Cerro del humo y Loma del Vínculo y una superficie de 13.3 ha (0.04%), es otra de las Unidades de Capacidad con escasa representación en la zona de estudio. La limitación mayor es la pendiente, con unos valores del 25-31% y la menor la erosión, con tasas de 3-6 $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$, que son valores muy bajos gracias a la cobertura forestal.

Unidad Dpx.

Situada en Cerro Navarro, laderas del arroyo La Zarza, Cerro Gallardito, Montepalma y Cantera Velasco, la componen 10 unidades (66.7 ha, 0.20%), que tienen limitación mayor a la pendiente, que llega a ser del 21% hasta el 31%. La limitación menor es el espesor efectivo de los suelos, que es de 90 cm (perfiles 9 y 12) y de 120 cm (perfiles 3, 5 y 10).

Unidad Dqe.

La superficie total es de 55 ha (0.16%), cuenta con 6 unidades, que se localizan a lo largo del curso fluvial del río Cabra y al oeste del Cortijo de los Salinas. La limitación mayor son las propiedades químicas, debido a los bajos contenidos en materia orgánica (<1%) y altos en carbonatos totales (>50%). La limitación menor es la erosión, con tasas inferiores a 5 $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$. Estos valores tan bajos son debidos a la protección que ofrece la cobertura vegetal de arbolado y a la pendiente.

Unidad Dqp.

Esta Unidad de Capacidad de Uso es de las más extensas, cuenta con 102 unidades que suman 3383 ha (10%). Está en los parajes de Las Vegas, El Alcalde, El Puntal, Cortijo Blanco, El Gallo, La Matilla, Llano Cuello, Molino de Zafra, Pozotechado, La Inglesa, Balsa de Hierro, Cortijo de Córdoba y Molino de Santiago. Todas tienen como limitación mayor las propiedades químicas, como en el caso anterior y limitación menor a la pendiente, ya que está entre el 2-8%.

Unidad Dqx.

Es la tercera Unidad de Capacidad de Uso de la subclase Dq, siendo la limitación mayor las propiedades químicas. La superficie total es de 2498 ha (7.44%) y se encuentra en Cortijo Blanco, El Alcaide, La Carchena, La Pinta, La Primilla, La Barrera, La Sorda, Benavente (Fig. 3.35), Sotollón, Pineda y El Comprado. En cuanto a la limitación menor, el espesor de los suelos, hay que decir que llegan a ser bastante profundos, de 120 cm (perfil 14), 130 cm (perfil 13) y 240 cm (perfil 22).

Unidad Eep.

Ocupa un área de 105 ha (0.31%). Son 3 unidades y se localizan en los parajes de Canillo, Huerta Delgado, Camino Caracórdoba y Cantarranas. Tiene como limitación mayor a la erosión, con tasas muy elevadas ($105 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). La limitación menor es la pendiente, que se encuentra en el 5%.

Unidad Eer.

Lo constituyen 7 unidades, localizadas en El Artillo, Las Peñuelas, La Tenería, El Castillo y Cortijo de Cabeza Gorda. En total son 57 ha (0.17%) con la erosión como limitación mayor, que alcanza valores desde 115 hasta $287 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. La limitación menor son los afloramientos rocosos, dada la naturaleza blanda de margas y margas arenosas subyacentes.

Unidad Ees.

Se localiza en 1 unidad en el paraje La Tercia, con un área de 6.23 ha (0.02%) con tasas de erosión de $190 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, que es la limitación mayor. La limitación menor es la salinidad, con valores de CE de $0.27 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

Unidad Eex.

El área total es de 1865 ha (5.55%). La forman 121 unidades, localizadas en la Sierra de Montilla (Fig. 3.35) y en parajes tales como La Minilla, Huerta del Pilar, Fuente del Masegar, Cerro de Caramolos, Carrascal, Las Torres y San Cristóbal, entre otros. La limitación mayor es, como en los tres casos anteriores, la erosión hídrica, que alcanza valores de $374 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. La limitación menor es el espesor efectivo, con profundidades que llegan a los 125 cm (perfil 19), siendo los demás de 90 cm (perfil 12) y 120 cm (perfiles 3, 5, 10, 14, 15 y 17).

Unidad Efe.

Situada en lugares como Lomas de Chacón, Cañada Poyato, Cortijo de Navahondilla, La Troya y Carchena, la integran 9 unidades, con un área de 139 ha (0.41%) y tienen limitación mayor a las propiedades físicas de los suelos, debido a que presentan una textura dominada por la fracción arcilla, que llega hasta el 60% (perfil 7) y una permeabilidad de $0.2 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$. La limitación menor es la erosión, con tasas muy bajas ($6\text{-}11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), debido al factor de

erosionabilidad de los suelos, que es de los más bajos (0.151) y a la pendiente, inferior al 12%.

Unidad Efp.

Localizada en Cabeza Gorda, Cortijo del Río, Juan Blanco, Sierrezuela y Cortijo del Privilegio, con 9 unidades y un área de 132.5 ha (0.39%). Presenta limitaciones derivadas de la textura arcillosa (>50% fracción arcilla en todos los casos) y baja conductividad hidráulica (<0.25 cm·h⁻¹) en las propiedades físicas de los suelos. La limitación menor es la pendiente, que se encuentra entre 3-6%.

Unidad Efr.

La superficie de esta unidad de Capacidad de Uso es de 40 ha (0.12%) y se localiza en parajes como El Polvillo, Los Matadores, Navahondilla y El Vicario. La limitación mayor está en las propiedades físicas de los suelos (perfiles 6 y 7) y la menor en los afloramientos rocosos, con menos de un 2% de los mismos. En este caso son litologías de margas y margas yesíferas.

Unidad Efx.

Se encuentra en lugares conocidos como La Vega del Carchena, Cortijo del Río, Cañada de los Marranos y La Mina. La conforman 13 unidades, con una superficie total de 239 ha (0.71%) con idéntica limitación mayor, derivada como en los tres casos anteriores, de las deficientes propiedades físicas de los suelos (textura arcillosa y baja permeabilidad) e igual limitación menor, en este caso, el espesor efectivo que llega a 110 cm (perfil 8) y 230 cm (perfil 21).

Unidad Epe.

Situada en Cerro Navarro y Baraona, la integran 3 unidades, que suponen 15.5 ha (0.05%). Tienen como limitación mayor la pendiente, que presenta valores entre 35-55%. La limitación menor es la erosión, con tasas muy bajas (<10 t·ha⁻¹·año⁻¹), dado que la erosionabilidad de los suelos es pequeña y al factor de cobertura vegetal, que tiene un valor mínimo (0.025), que hace que reduzca significativamente la estimación de dicha erosión hídrica y que protege a los suelos de la erosividad de la lluvia.

Unidad Epr.

Otra unidad de Capacidad de Uso con 1 única unidad. Se localiza en El Vicario y su área es de 4.8 ha (0.01%). La limitación mayor es la pendiente (>31%) y la menor los afloramientos rocosos.

Unidad Epx.

El área ocupada es de 60 ha (0.18%). Está presente en Los Yesares, Las Salinillas, La Tenería, Cerro Macho y Los Cortijillos. La pendiente es la

limitación mayor, que llega a valores del 39%. La limitación menor es el espesor efectivo.

Unidad Ere.

Se encuentra presente en el Cortijo la Capitana, la integra 1 unidad, con una superficie de 13 ha (0.04%). La limitación mayor son los afloramientos rocosos, presentes en más del 50% de la superficie y de naturaleza margocaliza. La limitación menor es la erosión, de $11.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, debido a la baja erosionabilidad de los suelos (0.250) y la pendiente (<11%).

Unidad Erg.

La única unidad que la integra se encuentra al este del Cortijo de Baraona, el área es de 3.4 ha (0.01%). Los afloramientos rocosos son superiores al 50% de la superficie de la unidad y son de calizas grises con sílex (Fig. 3.35). La pedregosidad es la limitación menor de estos suelos, con un 28% de gravas (perfil 23).



Fig. 3.35: Nódulo de sílex en calizas grises del Cretácico Superior.

Unidad Erp.

Situado en el paraje El Añorón, la unidad que la integra tiene una superficie de 7 ha (0.02%), la limitación mayor son los afloramientos rocosos, de margocalizas y menor a la pendiente, con valores del 6%.

Unidad Erx.

Está presente en los parajes de San Felipe, Atanores, Llanos del Espinar, Magdalena, Canales y Caserío El Vicario. El área es de 249 ha (0.74%) y la limitación mayor son los afloramientos rocosos de margocalizas. La limitación menor es el espesor efectivo, que llega hasta los 125 cm (perfil 19).

Unidad Exp.

Se encuentra, esta unidad de Capacidad de Uso en Las Ocho Fanegas, Lagunilla, Fuente Rodas, El Romeral, Chaparrales, Lomas de Chacón, Casilla del Hospital, Las Cañadas y Cerro Porrás. La superficie total, de sus 30 unidades, es de 314 ha (0.94%). Tiene como limitación mayor el espesor efectivo, de tan sólo 25 cm (perfil 11) y como limitación menor a la pendiente, que no supera el 7.6%.

Unidad Exr.

Está localizada en los parajes del Cordel del Chorrillo, Huerta del Melero, Las Viñas, Espíritu Santo, La Zarza, Malabrigo, Los Cansinos, La Moncloa, Atalaya, Carrera de Córdoba, Las cañadas y Los Silillos. La forman 105 unidades y el área total ocupada es de 1660 ha (4.94%). La limitación mayor es el espesor efectivo, con tan sólo 25 cm (perfil 11) y la limitación menor son los afloramientos rocosos, que son inexistentes, dada la naturaleza blanda de los mismos (margas).

Unidad Exs.

Se sitúa en La Casilla de Madrid y La Tercia y la forman 3 unidades, con una superficie de 13 ha (0.04%). La limitación mayor es el espesor de los suelos, que llegan sólo hasta los 10 cm (perfil 4). La limitación menor que presentan es la salinidad, con valores de conductividad eléctrica de $0.27 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

3.5.2. Unidades de Capacidad de Uso (11 factores).

Unidad Beg.

La superficie es de 273 ha (0.81%), y se encuentra al norte de la zona de estudio, en lugares como La Sierrecita, La Viuda, Olivar de los Morenos, Haza de la Vaca y Los Arenales. Son en total 9 unidades que presentan como limitación mayor la erosión hídrica, con tasas entre $15\text{-}22 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. La limitación menor es la pedregosidad de los suelos, de un 26% (perfil 16).

Unidad Bep.

Unidad de Capacidad de Uso con mayor representación que la anterior, localizada en San Joaquín, Fuentespino, Los Cuervos, la vega del arroyo del Salado, El Fontanar, Navalaseras, Guta, Mina Matapeces y otros, con una superficie de 1148 ha (3.42%) y 62 unidades que presentan la limitación mayor a la erosión, que varía entre $12\text{-}24 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. La limitación menor es la pendiente, entre 2-7%.

Unidad Bex.

Está presente en los parajes de Las Cuevas, La Cabeza, Cerro Triguillo, El Ejido, Piedra Luenga, Huerta del Concejo, San Rafael, La Alcantarilla, Cabeza Cazalla y la Casilla del Padre Herrera. Son en total 73 unidades, que suponen

1334.3 ha (3.97%) y con valores de erosión, que es la limitación mayor, entre 12-24 t·ha⁻¹·año⁻¹. La limitación menor es el espesor efectivo, que llegan a ser de 160 cm (perfil 18).

Unidad Bne.

Localizado en la vega del río Cabra, y arroyo del Salado, son 36 unidades que en superficie llegan a las 331 ha (0.99%), con limitación mayor la alcalinidad, con valores de RAS cercanos a 5. La imitación menor es la erosión, que no llega a superar los 11 t·ha⁻¹·año⁻¹, gracias a una baja erosionabilidad de los suelos y pendiente que no llega al 8% y gran parte no supera el 5%.

Unidad Bpe.

Esta unidad está situada en lugares bastante cercanos de los cursos fluviales del río Cabra, arroyo del Salado, Carchena, Panchía, Guta y Pradomedel. Son 38 unidades y la superficie total es de 289 ha (0.89%). Presenta a la pendiente como la limitación mayor, entre el 7-12% y limitación menor a la erosión, gracias a los factores de erosionabilidad de los suelos y erosividad de las lluvias, con valores bajos.

Unidad Bqe.

Con 8 unidades y una superficie de 54 ha (0.16%) se encuentra presente en parajes como Jarata, Piedra Luenga, Cortijo de Franco, La Piedra y Cerro del Humo. Presenta como limitación mayor las propiedades químicas, debido a los bajos contenidos en materia orgánica y altos en carbonatos totales (perfil 5). La limitación menor es la erosión, con tasas inferiores a 11 t·ha⁻¹·año⁻¹.

Unidad Ceg.

La superficie es de 26 ha (0.08%) y la integran sólo 4 unidades. Se localiza en San Joaquín, La Viuda, Olivar de los Morenos y Haza de la Vaca. La limitación mayor es la erosión, con valores entre 29-49 t·ha⁻¹·año⁻¹, debido a la erosionabilidad y la pendiente. La limitación menor es la pedregosidad, que es del 25% (perfil 16).

Unidad Cep.

La integran 163 unidades, el área es de 2821 ha (8.39%) y está presente en los alrededores de La Rambla, zona central de la zona de estudio y en parajes como Los Cobos, Hormigosa, Huerta Nidos, Cerro Porras y Los Arenales. La limitación mayor es la erosión hídrica (<50 t·ha⁻¹·año⁻¹), dada la alta erosionabilidad de los suelos y la menor limitación es la pendiente.

Unidad Cer.

La superficie de esta unidad de Capacidad de Uso es de 309 ha (0.92%) con 24 unidades y localizadas en Los Pollos, La Primilla, Los Tajones de Dios, Huerta del Duque, Cerro de Calamorros y la Fuentecilla. La limitación mayor es

la erosión, con tasas $< 50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y la limitación menor, los afloramientos rocosos de calcarenitas.

Unidad Cex.

La componen 178 unidades, con un total de 4734 ha (14.09%), se distribuyen por toda la zona de estudio, destacando las de los parajes de Saavedra, Los Zapateros, La Lámpara, Cerro de la Tonta, Caserones, El Cuadrado, Cerro del Boticario y Los Cañaverales. La limitación mayor es la erosión, con tasas $< 50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y como limitación menor, el espesor efectivo, que llega hasta 120 cm (perfiles 3, 5, 15 y 17).

Unidad Cpe.

El área de esta unidad es de 15 ha (0.05%). Se encuentra en los parajes de Pusini, Puente de Montilla, sur del Cerro Gallardito y El Fontanar. La limitación mayor es la pendiente, entre 10-20% y la limitación menor es la erosión, con valores muy bajos debido al efecto de protección de la cubierta vegetal.

Unidad Cpx.

La superficie total es de 32 ha (0.10%), con 6 unidades, localizadas en el arroyo de la Zarza, El Fontanar, Chaparrales, El Ajamil y Fuente Don Marcelo. La limitación mayor es la pendiente, que llega a ser de hasta 19.5% y la limitación menor es el espesor efectivo, mayoritariamente de 90 cm (perfil 9) y 120 cm (perfil 5).

Unidad Cqe.

Se encuentra en La Capillanía, La Toledana, Fuente del Álamo, Cerro Romano, El Almidón y Cabeza Gorda. La forman 15 unidades y la superficie total es de 166.2 ha (0.49%). La limitación mayor es debida a las propiedades químicas, con materia orgánica inferior al 1% y carbonatos por encima del 35%. La limitación menor es la erosión hídrica, que es inapreciable o muy baja. La razón es la pendiente y la cubierta vegetal.

Unidad Cqp.

Formada por 19 unidades, el área total es de 236 ha (0.70%) está presente en El Pradillo, Huerta del Arroyo, Los Cobos, Llano Panadero y arroyo de Panchía. La limitación mayor es debida a las propiedades químicas, con materia orgánica inferior al 1% y carbonatos por encima del 35% (perfiles 12, 15 y 20). La pendiente es la limitación menor, que no supera el 11%, siendo en la mitad de su superficie inferior al 3%.

Unidad Cqr.

Se localiza en Cerro Calamorros y Los Zapateros. La forman 3 unidades y el área es de 11 ha (0.03%). La limitación mayor son las propiedades químicas

(perfil 2), por idénticas razones que en los dos casos anteriores. La limitación menor es la rocosidad.

Unidad Cqx.

Se localiza al norte del núcleo urbano de La Rambla, sur del término municipal de Montalbán de Córdoba, en Camino Caracórdoba, Lagaritos, Hormigosa y Cantera Velasco. La superficie es de 754 ha (2.25%) y la forman 39 unidades con la limitación mayor en las propiedades químicas (perfiles 12, 15 y 20) y la limitación menor en el espesor efectivo.

Unidad Cxe.

La forma 1 unidad presente al este de la estación de ferrocarril de Montilla, la superficie es de 8 ha (0.02%). La limitación mayor es debida al espesor efectivo, inferior a 60 cm (perfil 2) y la limitación menor, la erosión.

Unidad Cxp.

La superficie total es de 106 ha (0.32%), formada por 9 unidades localizadas en Matallana, Casa del Capitán, El Coscojar y Las Cañadas, entre otros. La limitación mayor es el espesor del suelo, de unos 60 cm (perfil 2) y la limitación menor es la pendiente, inferior a 7.2%.

Unidad Cxr.

La integran 22 unidades, con un total de superficie de 351 ha (1.05%) se localizan en Marizorrilla, Cerro del Monte, Cerro Carreras, Cerro de la salina, La Canaleja, Lagaritos, Cerro del Alamillo y Tabarra. La limitación mayor es el espesor efectivo, de 60 cm (perfil 2) y la menor, los afloramientos rocosos de calcarenitas, presentes en menos del 2% de la superficie de la unidad.

Para el resto de Unidades de Capacidad de Uso los resultados obtenidos son idénticos a los descritos en el apartado 3.6.1.

3.5.3. Unidades de Capacidad de Uso (9 factores).

Los resultados obtenidos, de las Unidades de Capacidad de Uso aplicando 9 factores, son idénticos a los del apartado 3.6.2.

3.6. Influencia de los cambios de uso en las propiedades de Luvisoles.

El tipo de suelo estudiado se clasifica como LVcc/cr (IUSS-ISRIC-FAO, 2006). La principal característica de estos suelos son la alta cantidad de arcillas en el horizonte Bt, debido a la migración de partículas de arcilla (Tabla 3.21). Los Luvisoles son suelos fértiles y bien desarrollados, adecuados para una gran variedad de cultivos típicos del área Mediterránea, tales como cereales, árboles frutales, olivar y viñedos (Zdruli *et al.*, 2011).

Con respecto a la profundidad del suelo, no existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en el tiempo (46 años) para el mismo uso del suelo (TA1 y TA2), sin embargo, durante el cambio de uso de TA1 a V y OL la profundidad del suelo se redujo, desde los 240 cm en TA1 hasta los 182 cm y 176 cm en V y OL, respectivamente (Tabla 3.21 y Fig. 3.36). Esta reducción de la profundidad del suelo para el V y OL, fue causada por la pendiente acusada, la longitud de la misma, la curvatura y la posición relativa (diferentes posiciones en la ladera de la finca de estudio podrían ser la explicación, en parte, de esta reducción de profundidad).

Estos suelos están caracterizados por bajas concentraciones de MO en zonas profundas, especialmente en V y OL, pudiendo ser explicado por la textura del suelo (suelo arenoso).

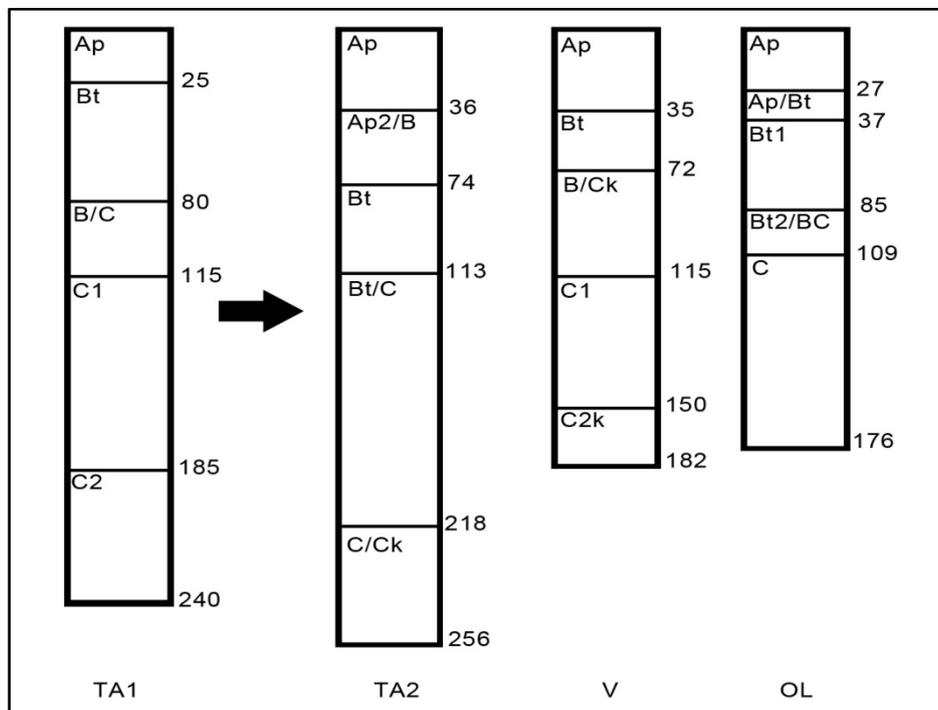


Fig. 3.36: Perfiles completos de suelo. TA1 (tierra arable en 1965), afectado por cambio de uso del suelo (CUS) a TA2 (tierra arable), V (viñedo) y OL (olivar). El CUS sucedió en 1965 (TA1), después de 41 años, TA2, V y OL. Los números, en cm, son la profundidad del suelo.

En todos los casos (TA1, V y OL) la concentración del COS disminuye con la profundidad, excepto en TA2, causado por la alta concentración de MO en el horizonte Bt (Tabla 3.26). En V y OL, muestran un incremento de CO y NT en el horizonte superficial.

El NT y la relación C:N presentan una tendencia decreciente con la profundidad, para todos los usos, con excepción de TA2. Para OL, esta disminución puede ser debido a un incremento del contenido en arcillas del suelo (Tabla 3.26). Por el contrario, en TA2 y V la entrada de residuos están restringidos a la superficie del suelo. Como consecuencia de ello, la relación C:N del suelo puede estar estratificada mostrando una tendencia decreciente con la profundidad en la parte superior del perfil del suelo. La relación C:N en la superficie del suelo es mayor que en los horizontes más profundos del suelo, especialmente en V (12.23:1) y OL (9.44:1), poniéndose de manifiesto que a menor valor de la relación C:N, mayor es la tasa de mineralización del C.

Los resultados obtenidos de la reserva de COS, muestran que ésta se ve afectada por los cambios de uso del suelo. Los valores mayores se encontraron bajo TA1 ($332.6 \pm 28 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) seguido de TA2 ($229.0 \pm 32 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), V ($157.2 \pm 35 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) y OL ($116.7 \pm 21 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) (Tabla 3.27 y Fig. 3.37).

Suelo	Hor.	Prof. (cm)	Espesor (cm)	Grava (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	DR (Mg m ⁻³)	pH H ₂ O	MO (g·Kg ⁻¹)	OS (g·Kg ⁻¹)	ΣCOS (g·Kg ⁻¹)	NT (g·Kg ⁻¹)	ΣNT (g·Kg ⁻¹)	C:N
TA1 (n=5)	Ap	0-25	25±3.1	1.5±0.8*	29.8±2.2	13.3±1.8	56.9±2.9	1.43±0.21	7.1±0.3	19.0±1.1	11.1±1.2		0.89±0.02		12.47
	Bt	25-80	55±4.2	0.9±0.4*	27.1±2.8	10.8±3.4	62.1±2.1	1.53±0.12	7.2±0.7	17.4±1.0	10.1±0.5		0.75±0.06		12.47
	B/C	80-115	35±3.3	1.3±0.5*	21.5±2.1	25.7±2.7	52.8±3.1	1.58±0.31	7.7±0.4	15.8±0.7	9.2±0.2	44.9	0.71±0.02	3.55	12.96
	C1	115-185	70±6.3	1.2±0.3*	25.4±3.2	30.7±4.1	43.9±6.2	1.69±0.21	7.6±0.8	13.8±0.6	8.1±0.6		0.67±0.17		12.09
	C2	185-240	55±4.1	2.4±1.1	29.9±5.3	33.6±3.2	36.5±3.9	1.74±0.34	7.7±0.3	11.0±0.8	6.4±0.5		0.53±0.09		12.07
	Ap	0-36	36±2.2	3.3±0.9	32.8±3.1	41.6±3.4	25.6±3.2	1.43±0.16	7.6±0.9	16.2±2.4	9.5±1.2		1.53±0.06		7.97
TA2 (n=7)	Ap2/B	36-74	38±3.5	3.1±0.5	28.5±2.7	32.2±1.7	39.3±2.8	1.45±0.34	7.5±0.4	10.7±1.7	6.3±0.6		0.86±0.03		7.32
	Bt	74-113	39±3.6	2.4±1.5	35.1±4.3	28.3±4.2	36.6±4.6	1.43±0.11	7.6±0.6	13.1±0.8	7.7±0.3	31.8	0.98±0.02	3.99	7.86
	Bt/C	113-218	105±6.2	2.3±0.8	29.9±2.6	42.2±4.8	27.9±3.7	1.47±0.36	7.9±0.4	9.5±1.6	5.6±0.5		0.62±0.05		9.03
V (n=5)	C/Ck	218-256	38±2.1	2.9±0.9	45.4±9.8	33.6±2.6	21.0±1.6	1.57±0.48	7.8±0.3	4.6±0.9	2.7±0.5		0.35±0.06		7.71
	Ap	0-35	35±1.8	3.3±1.1	39.3±3.4	46.4±3.1	14.3±2.1	1.42±0.31	8.1±0.7	21.6±1.2	12.6±0.9		1.03±0.05		12.23
	Bt	35-72	37±2.9	3.0±0.9	42.0±2.7	34.0±2.9	24.0±3.1	1.47±0.26	8.1±0.2	10.5±0.6	6.1±0.5		0.63±0.03		9.68
	B/Ck	72-115	43±6.5	1.8±0.6*	40.5±5.1	40.1±3.9	19.4±2.3	1.51±0.21	8.3±0.6	7.5±0.3	4.4±0.2	29.5	0.55±0.01	2.81	8.00
	C1	115-150	35±2.4	1.4±0.3*	43.4±4.8	33.8±4.5	22.8±3.9	1.51±0.14	8.3±0.8	7.0±0.6	4.1±0.4		0.33±0.06		12.42
	C2k	150-182	32±3.2	2.3±0.7	30.6±3.7	41.6±5.7	27.8±3.4	1.51±0.22	8.4±0.1	3.9±0.4	2.3±0.3		0.27±0.03		8.52
OL (n=10)	Ap	0-27	27±3.9	2.3±0.3	29.4±2.4	14.9±6.7	38.5±1.2	1.25±0.24	7.9±0.5	17.3±2.4	10.1±1.1		1.07±0.06		9.44
	Ap/Bt	27-37	10±1.2	1.5±0.5*	32.1±3.7	34.7±2.5	33.2±2.5	1.39±0.32	7.9±0.7	11.1±1.7	6.5±0.6		0.87±0.03		7.47
	Bt1	37-85	48±9.4	0.7±0.4*	30.1±6.2	26.4±4.6	45.3±6.3	1.29±0.12	8.0±0.6	8.7±0.2	5.1±0.5	28.8	0.85±0.04	3.84	6.00
	Bt2/Bc	85-109	24±2.6	1.1±0.3*	22.2±5.4	31.3±5.4	46.5±6.1	1.31±0.17	8.0±0.1	6.3±0.6	3.7±0.6		0.53±0.07		6.98
	C	109-176	67±4.2	1.2±0.4*	29.1±3.6	32.8±3.8	38.1±3.4	1.33±0.21	8.1±0.1	5.7±0.3	3.4±0.4		0.52±0.06		6.54

Tabla 3.26: Propiedades físico-químicas de los Luvisoles cálcico/crómicos en tierra arable (rotación anual de trigo-cebada), viñedo y olivar. TA1: tierra arable en 1965, TA2: tierra arable en 2006, V: viñedo en 2006 y OL: olivar en 2006. Los datos son valores medios ± desviación estándar (σ). Tamaño de muestra (n)= 5, 7, 5 y 10. Hor.: Tipo de horizonte. Prof.: Profundidad del suelo. DR.: Densidad relativa.

Suelo	Hor.	Prof. cm	COS Mg·ha ⁻¹	Reserva COS Mg·ha ⁻¹	NT Mg·ha ⁻¹	Reserva NT Mg·ha ⁻¹	C:N
TA 1 n=5**	Ap	0-25	39.7±2.3		3.18±0.23		12.47
	Bt	25-80	84.9±3.2		6.31±0.98		13.47
	B/C	80-110	50.9±2.1	332.6±28	3.92±0.65	26.41±6	12.96
	C1	115-185	95.8±6.2		7.93±0.95		12.09
	C2	185-240	61.3±3.2		5.07±0.65		12.07
TA 2 n=7**	Ap	0-36	48.9±2.4		7.87±0.63		7.97
	Ap ₂ /B	36-74	34.7±1.6		4.74±0.22		7.32
	Bt	74-113	42.9±2.1	229.0±32	5.46±0.35	29.73±8	7.86
	Bt/C	113-218	86.4±3.8		9.57±0.54		9.03
V n=5**	C/Ck	218-256	16.1±0.9		2.09±0.12		7.71
	Ap	0-35	62.6±2.3		5.12±0.36		12.23
	Bt	35-72	33.2±1.4		3.43±0.42		9.68
	B/Ck	72-115	28.6±2.3	157.2±35	3.57±0.38	15.17±3	8.00
	C1	115-150	21.7±1.2		1.74±0.24		12.42
OL n=10**	C2k	150-182	11.1±0.7		1.31±0.09		8.52
	Ap	0-27	34.1±2.1		3.61±0.65		9.44
	Ap/Bt	27-37	9.1±0.5		1.21±0.25		7.47
	Bt1	37-85	31.6±2.1	116.7±21	5.26±0.32	16.37±4	6.00
	Bt ₂ /BC	85-109	11.6±1.1		1.66±0.09		6.98
	C	109-176	30.3±2.7		4.63±0.23		6.54

Tabla 3.27: Reserva de Carbono Orgánico del Suelo (RCOS), Reserva de Nitrógeno Total del Suelo (RNT) y relación C:N en Luvisoles cálcico/crómicos. Los datos son valores medios ± desviación estándar (σ). Tamaño de muestra (n)= 5, 7, 5 y 10. Hor.: Horizonte del suelo.

La reserva de COS a largo plazo (46 años) se redujo por el cambio de uso (de TA1 a V y OL) y el laboreo (de TA1 a TA2). El COS almacenado varía dentro del perfil del suelo, con valores altos en el horizonte Bt para TA1, TA2 y OL, sin embargo, en V encontramos los mayores valores de COS en la superficie del suelo. La reserva de COS en los horizontes superficiales, en TA1 y TA2, varió de 39.7 Mg·ha⁻¹ a 48.9 Mg·ha⁻¹, respectivamente.

En nuestro estudio, las concentraciones de NT son relativamente altas en áreas donde los valores de COS son altos, mostrando una relación C:N positiva (Tabla 3.27 y Fig. 3.37). Se obtiene una disminución de NT cuando aumenta el contenido en arcilla del suelo.

Un problema fundamental ha sido analizar el impacto del cambio de uso en la reserva de COS, NT y relación C:N. El cambio de TA1 a TA2 afectó al stock de COS, reduciéndose un 31.2% y el cambio de uso de TA1 a V y OL lo redujo un 52.7% y un 64.9%, respectivamente (Tabla 3.26 y Tabla 3.27).

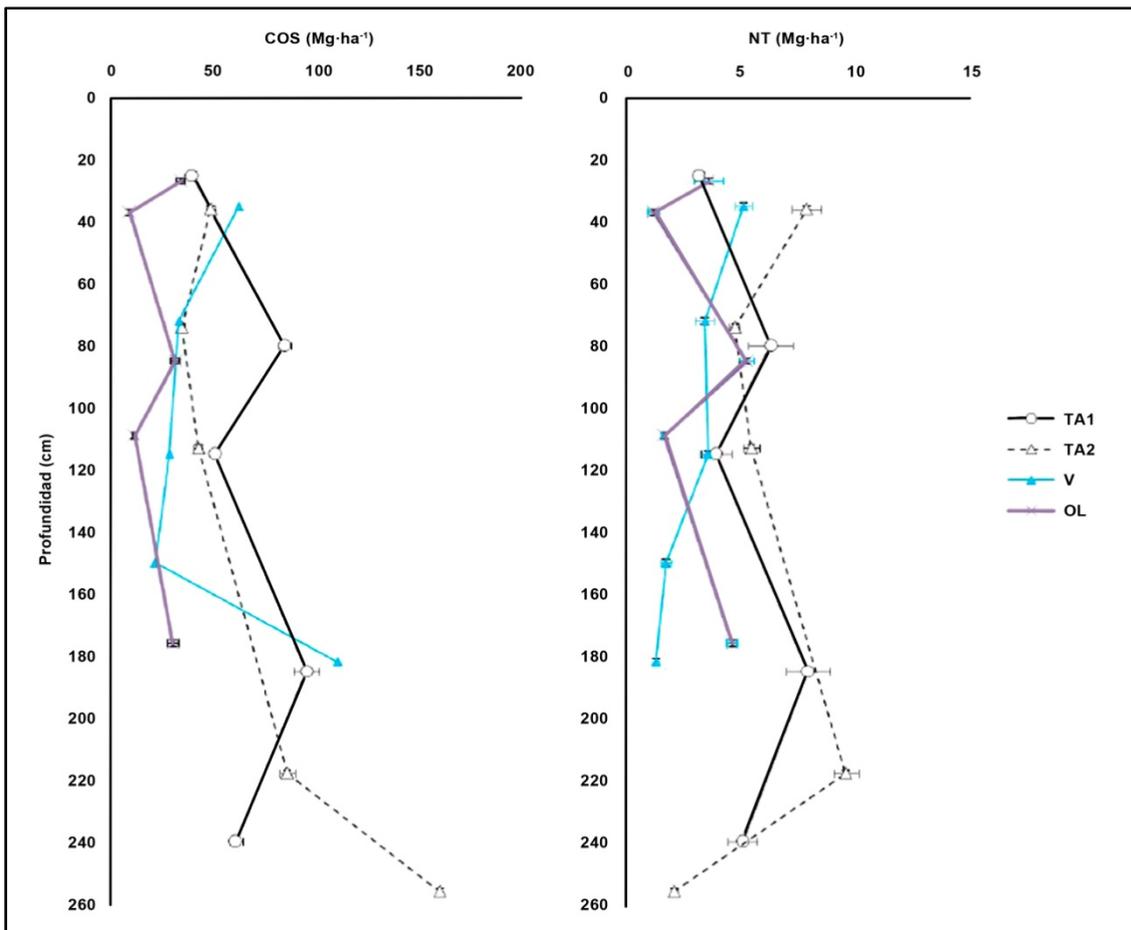


Fig. 3.37: Distribución en profundidad de la RCOS y RNTS bajo tierra arable (TA1 y TA2), viñedo (V) y olivar (OL). Los datos son valores medios $\pm \sigma$. ($n=5, 7, 5$ y 10). (n =tamaño de muestra).

La pérdida de reserva de COS estaba influenciada por el manejo (Tabla 3.23), TA1 tenía un mínimo laboreo, presenta una mayor producción de biomasa y como resultado, el suelo estaba siempre cubierto con vegetación, incrementándose la estabilidad de la MO. Los valores menores de la reserva de COS estaban en OL, con reducciones del 64.9% respecto a TA1. Esta reducción de TA1 a TA2, V y OL, puede ser explicada por procesos de degradación (perdidas de vegetación y manejo insostenible) que da como resultado un empobrecimiento continuo en el contenido de MO, causando baja productividad del suelo.

La relación C:N era mayor bajo TA1 respecto a TA2, V y OL (Tabla 3.26 y Fig. 3.37).

Uso del suelo	Abreviación	Año		Características
Tierra Arable	TA1	1965	Maquinaria rudimentaria. Mínimo laboreo	Sistemas que usaban fuerza animal (arado con mulas) con arado reversible ligero. Fertilización no-mineral y sin pesticidas.
Tierra Arable	TA2	2006	Maquinaria pesada	Rotación anual de cultivos de invierno trigo-cebada. Fertilización mineral o pesticidas.
Viñedo	V	2006	Nuevos equipamientos mecanizados. Laboreo convencional	Viñedos plantados en espaldera tradicional. Fertilización mineral o pesticidas. Tres o cinco pasadas de chisel al año hasta una profundidad de 15 o 20 cm desde principios de primavera hasta principios de otoño. Una pasada anual con grada de discos y de arado cultivador en primavera, seguido de un arado de púas en verano. Fertilización mineral, pesticidas y control de malas hierbas con herbicidas.
Olivar	OL	2006		

Tabla 3.28: Categorías de usos del suelo en los Luvisoles estudiados.

En OL y V, el COS almacenado en la superficie del suelo (horizonte Ap) era mayor que en el resto del perfil (Fig. 3.38).

Sin embargo TA1 puede incrementar las entradas de C en la superficie del suelo, debido a la incorporación de restos orgánicos derivados de la producción de cereal, sin embargo en el horizonte Bt, esta relación era inversa (el COS se incrementa en Bt con respecto al horizonte Ap). Este efecto puede ser explicado por la textura del suelo (suelos arenosos) y por el manejo, porque el COS se reduce en superficie y esto puede ser atribuido a la lixiviación de compuestos orgánicos solubles a horizontes profundos, incrementándose los agregados del suelo.

Los resultados obtenidos muestran que bajo TA1 está la mayor reserva de COS y con cambio de uso y laboreo a largo plazo (46 años) se redujo esta reserva de COS.

En todos los casos, el IE del COS aumentó con la profundidad, a excepción de TA2 (Fig.3.39), causado por la baja concentración de CO en Ap2/B (horizonte de transición entre Ap y Bt, causado por el uso de maquinaria pesada). El IE del COS desde la superficie a zonas profundas (IE1, IE2, IE3 y IE4) incrementa debido al cambio de uso en todas las situaciones (TA2, V y OL) (Fig. 3.39)



Fig. 3.38: Luvisoles estudiados. TA1: tierra arable, sistema que usa fuerza animal (arado con mulas). TA2: tierra arable con maquinaria pesada. V: viñedo tradicional. OL: olivar.

Valores altos del IE del COS son consecuencia del COS en superficie, debido a la cobertura superficial del suelo con los restos de paja y al cambio en la distribución de raíces.

El IE del NT muestra una tendencia similar que la del IE del COS. El IE de la relación C:N aumenta en profundidad, en TA1 y OL, pero no existen diferencias significativas con respecto al uso del suelo. Esto se explica (en OL y TA1) por la mayor cantidad de restos orgánicos (residuos y raíces), con lo que el C se lava y la relación C:N aumenta. Bajo TA1, la entrada de residuos está concentrada en superficie debido a la cobertura superficial de paja en el suelo, de manera que el IE de la relación C:N está estratificado. Estos ligeros cambios en la relación C:N sugieren un grado de descomposición del CO que decrece hacia la superficie. Esto sugiere que el manejo y cambio de uso no afecta a la acumulación de CO en este tipo de suelos. En TA2, V y OL había garantizado el suministro de MO desde los horizontes superficiales a los horizontes profundos, lo cual sugiere una acumulación de C en el perfil bajo estos sistemas.

Los mayores valores de IE fueron en OL y V, comparado con TA1 y TA2, estaba debido probablemente a la presencia de una capa de hierba y a la menor aplicación de herbicidas.

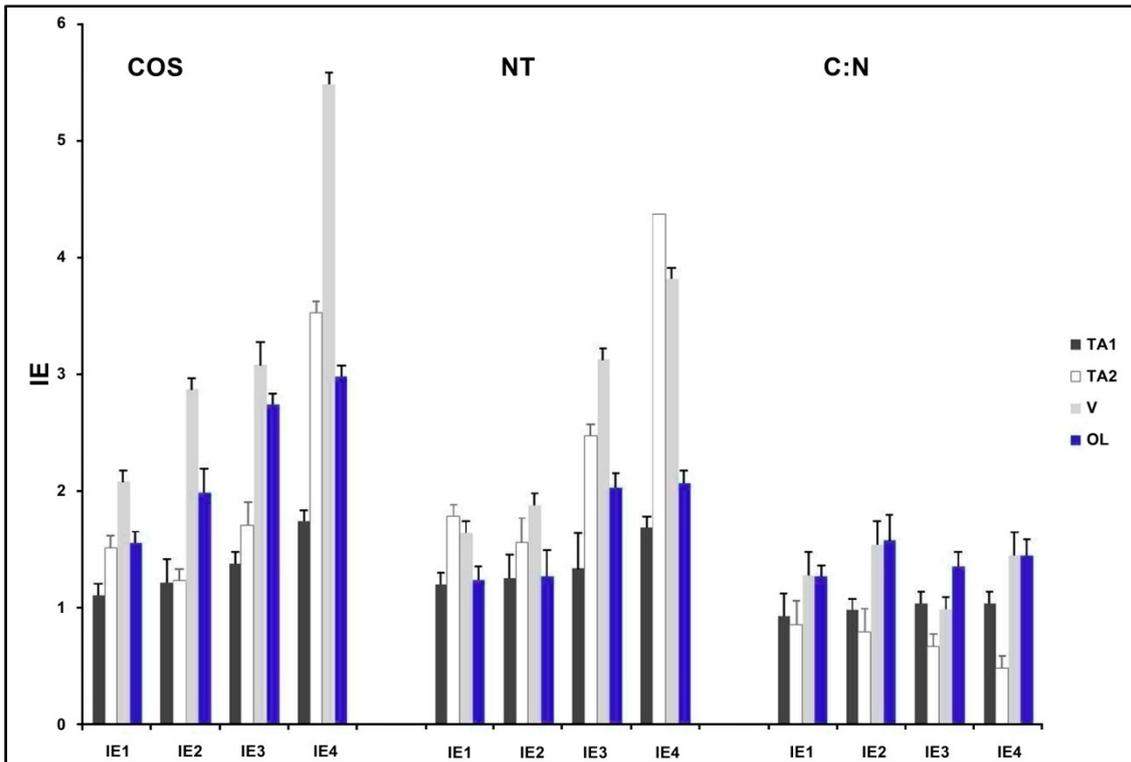


Fig. 3.39: Índices de estratificación (IE) de RCOS, RNT y relación C:N, bajo tierra arable (TA1 y TA2), viñedo (V) y olivar (OL). Los datos son valores medios $\pm\sigma$. (n=5, 7, 5 y 10). (n=tamaño de muestra).

4. Discusión.

4.1. Características de los suelos.

Los grupos de suelos presentes en el área de estudio cartografiados y delimitados cartográficamente poseen un nivel de detalle que hasta el momento no se conoce en dicha zona. El antecedente de suelos en la zona estudiada, realizado a escala 1:400.000 (Fig. 1.19), muestra un mapa más simplificado y con menor diversidad edáfica, obviando como grupo de suelos de referencia a los Calcisoles y otorgando más superficie a unos y menos a otros (Tabla 4.1). Lógicamente la escala de trabajo conlleva este fenómeno, unido a una metodología de clasificación de suelos más moderna (IUSS-ISRIC-FAO, 2006).

RSG	Área (ha)	Área (%)
Cambisol	817.9	2.43
Fluvisol	4954.5	14.74
Luvisol	4798.3	14.28
Regosol	15680.4	46.66
Vertisol	7356	21.89
Total	33607.2	100

Tabla 4.1: Grupos de suelos de la zona de estudio (CMA, 2009c).

Estos suelos se caracterizan por altos contenidos en carbonatos, texturas limosas en muchos casos y bajos contenidos en materia orgánica.

La naturaleza de la litología presente, sobre la que se desarrollan estos suelos, condiciona la aparición de horizontes subsuperficiales enriquecidos en carbonato cálcico, bajo horizontes de tipo cámbico (Cambisoles) o argílicos (Luvisoles) (Gil *et al.*, 2003). Estos contenidos pueden originar problemas de nutrición en las plantas, debido al antagonismo existente con otros elementos químicos esenciales (Porta, 1986).

Los bajos contenidos en materia orgánica del suelo, están relacionados con factores diversos. Para Gallardo *et al.* (2000) estos bajos contenidos en MO se deben a las condiciones semiáridas mediterráneas, que se acentúan en los suelos meridionales.

4.2. Efectos de los cambios de uso del suelo (CUS) y el manejo en las propiedades físico-químicas de los Luvisoles de la zona de estudio.

Los cambio de uso y manejo también tienen efecto en diferentes propiedades de los suelos, tal y como se ha comprobado en los Luvisoles de la zona estudiada (Parras-Alcántara *et al.*, 2003). El cambio de uso de TA1 a TA2, V y OL, provoca una reducción de profundidad en el cultivo de V y OL (Fig.

3.36). A este respecto McKenzie y Austin (1993) obtuvieron resultados similares en suelos de Australia. En contraste, Bakker *et al.* (2005) en Lesvos (Grecia) en un cambio de uso del suelo (de TA a V y de pastos a OL) entre 1956 y 1996, justificó esta reducción de profundidad asociándolo a los nuevos equipos mecanizados (maquinaria pesada) y a la erosión hídrica. Estas causas también podrían ser otras razones que justifiquen la reducción de la profundidad de los suelos estudiados.

Los bajos contenidos en MO en zonas profundas en Luvisoles, bajo V y OL, se explica por la textura del suelo, en consonancia con González y Candás (2004), que encontraron que la formación de agregados minerales y MO disminuye en la superficie de suelos arenosos, favoreciéndose así altos niveles de MO transformada, lo cual explica las bajas concentraciones de MO a mayor profundidad en el suelo estudiado (Tabla 3.26).

Otros autores, como Hernaz *et al.* (2009), encuentran que los suelos de regiones Mediterráneas semiáridas, presentan bajos contenidos en CO debido a los altos niveles de mineralización de la MO y a la ausencia de residuos de cosecha después de periodos de sequía. El incremento de CO y N, en V y OL, para el horizonte superficial está de acuerdo con lo obtenido por Albretch y Kandji (2003), que obtuvieron resultados similares para suelos con cobertura arbórea. Los valores de CO del suelo obtenidos en TA1 ($11.1 \pm 1.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) son mayores que los obtenidos por Don *et al.* (2007), que establece valores de $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ para cultivos de cereal en España, pudiendo estar causado la acumulación de hojarasca y raíces muertas en el horizonte superficial del suelo.

El aumento de la relación C:N con la profundidad, en el caso de TA2, es observado también por Sá *et al.* (2001) y según Diekow *et al.* (2005) se explica por grandes cantidades de compuestos orgánicos lixiviados de la parte alta del suelo hacia horizontes profundos. La disminución de NT y de la relación C:N se explica por el incremento del contenido en arcillas. Con frecuencia, elevados contenidos en arcilla se asocian con una alta descomposición de la MO y con menores valores de la relación C:N (Puget y Lal, 2005; Yamashita *et al.*, 2006). En el caso de TA1 y V, los residuos de cosecha podrían favorecer altos niveles de la relación C:N en el suelo (Puget y Lal, 2005). Adicionalmente, la retención de residuos pueden aumentar la proporción de COS (Xu *et al.*, 2011) con un grado bajo de descomposición y valores altos de la relación C:N (Yamashita *et al.*, 2006). Bajo TA2, los residuos se incorporan uniformemente hasta los primeros 20 cm de espesor debido a las labores agrícolas, fenómeno que observan numerosos autores en sus estudios (Sá y Lal, 2009; Wright *et al.*, 2007). Los valores obtenidos de la relación C:N, están en la línea de lo obtenido por Bradly y Weil (2008), que mostraron valores que variaban entre 8:1 y 15:1, con un promedio de 12:1 y lo indicado por Lal *et al.* (1995) que

muestra que los valores de la relación C:N son bajos y por tanto, las tasas de mineralización del C son elevadas.

Los resultados del stock del COS muestran que el cambio de uso y manejo causa una disminución del mismo, tal y como obtiene Rodríguez-Murillo (2001) para los grupos de suelos de la Península Ibérica, siendo de $66.0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para los Luvisoles y para los usos del suelo de $50.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $42.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $39.9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para TA, V y OL, respectivamente. La reserva de COS para Andalucía (Mapa del stock de COS en Andalucía) es de $53.2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $57.3 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para Luvisoles en TA y cultivos permanentes, respectivamente (Muñoz-Rojas *et al.*, 2012). Las diferencias entre la reserva del COS de la Península Ibérica y Andalucía y los obtenidos en este estudio se deben a la profundidad del suelo, en el que se utiliza el perfil completo del suelo, con cuatro o cinco horizontes, mientras que Rodríguez-Murillo (2001) utilizó descripciones de perfiles de suelos de hasta 1 m de profundidad y Muñoz-Rojas *et al.* (2012b) utilizó secciones de control de 0-25, 25-50 y 50-75 cm.

Los efectos del cambio de uso y el laboreo en la reserva del COS a largo plazo, están en consonancia con los resultados de Novara *et al.* (2012) que obtiene resultados similares en cambio de uso de TA a V, explicando que esta tendencia puede deberse a la mezcla en superficie de los suelos durante el laboreo. La reserva del COS en TA obtenidos ($39.7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para TA1 y $48.9 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para TA2) son inferiores a los de González y Candás (2004), que en suelos arcillosos de Segovia, encontraron valores cercanos a $54 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en TA. Esta diferencia en la reserva de COS está causada por la textura, porque los suelos incluidos en esta investigación eran menos arcillosos que arenosos (Tabla 3.26). De acuerdo con Burke *et al.* (1989) los valores altos de la reserva de COS en suelos arcillosos están causados por los mecanismos de estabilización de las arcillas en el suelo. Este efecto puede ser observado en TA1 y OL, que aumentan el contenido de arcillas con respecto a TA2 y V. Por el contrario, el COS almacenado era mayor en el subsuelo (horizontes Bt y Bt/C) de TA1 y TA2, que puede ser debido a la traslocación de C en forma de compuestos disueltos, actividad de la fauna del suelo y/o el efecto del enraizamiento profundo de los cultivos (Shrestha *et al.*, 2004).

Por otra parte, Muñoz-Rojas *et al.* (2012a) encontró un incremento de COS en Luvisoles (14%) después de la conversión de TA a cultivos permanentes en Andalucía entre 1956 y 2007, causado por las limitaciones que afectan al manejo en cultivos permanentes sobre el secuestro del COS (Smith, 2004). Por otra parte, Vallejo *et al.* (2003) indican que la reserva de COS es mayor en cultivos herbáceos, que es un efecto que también ha mostrado Nair *et al.* (2009). Ambos autores también indican que el potencial de secuestro en herbáceos incrementa las raíces, transfiriéndose lentamente grandes cantidades de CO en el suelo y contribuyendo a aumentar el contenido en el

subsuelo, acumulándose con el tiempo, e indicando así que estos sistemas son más efectivos en el secuestro de C que otros usos.

La relación entre contenidos altos de NT y COS, según Sakin *et al.* (2010) y Côté *et al.* (2000) puede deberse a que las arcillas disminuyen la oxidación del COS y la mineralización del N disminuye cuando aumenta el contenido de arcilla en el suelo. De acuerdo con McLauchlan (2006), el contenido de arcilla está correlacionado positivamente con el tamaño y con la cantidad de los agregados además de estar relacionado con la tasa de mineralización del nitrógeno (que disminuye).

El efecto del cambio de uso y manejo en el stock del COS, NT y en la relación C:N, no coincide con lo obtenido por Novara *et al.* (2012), que obtiene un incremento, en Cambisoles de Sicilia, del 105% en la reserva de COS, por un cambio de uso de TA a V; ni con los resultados de Guo y Gifford (2002), que obtienen un aumento del 18% en la reserva de COS de TA a plantaciones arbóreas. La reducción del CO almacenado en el suelo y la influencia del manejo está corroborado por Novara *et al.* (2012) que en TA1 (mínimo laboreo) posee mayor estabilidad en la MO. La reducción de la reserva de COS (de TA1 a OL) son obtenidos también por Rodríguez-Murillo (2001) y Padilla *et al.* (2010), ambos casos con cambio de uso de matorral a OL.

La pérdida de COS en cultivos puede ser debido a la reducción de entradas de MO, así como a la reducción de la protección física del suelo contra la erosión y el incremento de la tasa de descomposición como consecuencia del laboreo (Jordán *et al.*, 2010; Moscatelli *et al.*, 2007). La relación C:N está en la línea de los resultados de Blanco-Canqui y Lal (2008) y Lou *et al.* (2012), que puede explicarse por la contribución de la entrada de residuos bajo diferentes tipos de laboreo. West y Post (2002), Puget y Lal (2005), Blanco-Canqui y Lal (2008) argumentaron que la reserva de COS en el horizonte superficial es mayor que en profundidad debido al laboreo y a la protección física del suelo originada por la MO fresca (sin descomponer). Sin embargo, Diekow *et al.* (2005) obtienen resultados similares en cultivos de leguminosas de Brasil, y lo explican por la lixiviación de compuestos orgánicos a horizontes profundos.

El efecto del cambio de uso obtenido sobre el stock de COS, está de acuerdo con Franzluebbers y Arshad (1996) y Melero *et al.* (2009), que sugieren que el mínimo laboreo puede incrementar el contenido de COS en experimentos de larga duración.

El aumento obtenido del IE del COS con la profundidad y el efecto del cambio de uso, que provoca una mejora de la calidad del suelo, puede explicarse según lo expuesto por Caravaca *et al.* (2002), que expone que este cambio se debe a las alteraciones de las propiedades físico-químicas de los

suelos y comunidad biótica del suelo. Los valores del IE del COS, para suelos degradados, ocasionalmente alcanzan el valor de 2.0 (Franzluebbers, 2002). Otros estudios han mostrado un rango en los valores del IE de 1.1 a 1.9 para laboreo convencional (Franzluebbers, 2002; Franzluebbers *et al.*, 1996; Hernanz *et al.*, 2009; Sá y Lal, 2009). El IE del NT muestra una tendencia similar al anterior y puede ser explicada por altas cantidades de restos de raíces que favorecen su lavado, este hecho además provoca una mayor relación C:N (Puget y Lal, 2005). El cambio del IE de la relación C:N en TA1, sugiere que el grado de descomposición del COS decrece hacia la superficie (Lou *et al.*, 2012). Esto apunta a un leve efecto del cambio de uso y el sistema de laboreo en la acumulación de C en el suelo. Balesdent y Balabane (1996) no encontraron diferencias significativas en el IE en una granja de Geauga (Ohio). El importante papel de la capa herbácea en la protección del suelo de los procesos erosivos (Novara *et al.*, 2011) y su contribución al contenido de MO, puede explicar las semejanzas entre el OL y el V.

Muchos autores han aplicado la metodología del IE (Franzluebbers, 2002), la mayoría de los casos utilizando secciones de control (Muñoz-Rojas *et al.*, 2012b) y en otros casos utilizando el perfil completo del suelo (Corral-Fernández *et al.*, 2013). Cuando se utilizan secciones de control se comparan espesores similares de suelos, sin embargo cuando se utiliza el perfil completo del suelo (por horizontes) para estudios de usos del suelo o cambios de manejo a largo plazo, estas comparaciones pueden ser más complicadas.

Se puede observar en este estudio que el COS, NT y la relación C:N disminuyen después del cambio de uso y con los tipos de manejo (Tabla 3.26); por el contrario el IE se incrementa (Fig. 3.37) cuando los usos del suelo y el manejo cambian. Esta situación puede parecer contradictoria porque esta disminución del COS, NT y relación C:N debe involucrar un decrecimiento de los IEs. Este resultado contradictorio puede ser debido a la definición de IE (una propiedad del suelo en la superficie dividida por la misma propiedad del horizonte inferior) para los casos: COS, NT y relación C:N.

La primera consideración del método es que el espesor del suelo disminuye por el cambio de uso de TA1 a V y OL (Tabla 3.26 y Fig. 3.36), sin embargo el espesor del horizonte superficial se incrementa, asociado con los nuevos usos del suelo (nuevos equipos mecanizados-maquinaria pesada). La segunda consideración es causada por el espesor del horizonte subsuperficial, que decrece su profundidad; estos factores analizados juntos explican que los valores de los IEs disminuyan. La tercera cuestión es causada por el cambio de uso y manejo a largo plazo que promueve y favorece el desarrollo de un nuevo horizonte de diagnóstico, por ejemplo, TA1 [Bt (25-80 cm)], TA2 [Bt (74-113 cm) y Bt/C (113-218 cm)] y OL [Bt1 (37-85 cm) y Bt2/BC (85-109 cm)]. Si

integrarnos estos horizontes, el espesor del horizonte subsuperficial aumenta en profundidad y este nuevo escenario redujo los IEs debido al cambio de uso.

4.3. Capacidad de Uso de los suelos.

A este respecto, otra de las estimaciones realizadas en este trabajo, han sido los niveles erosivos de las Unidades de Capacidad de Uso. Estos suelos presentan unas tasas de pérdida de suelo muy elevados. Superan con creces, en el área estudiada, las $25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en una superficie de casi 26000 ha, lo que supone un 77% de la superficie. Estos resultados están en la línea de lo expuesto por MMA (2008). Este estudio de erosión a nivel nacional, se realiza según la metodología de la RUSLE (Renard *et al.*, 1997; Foster *et al.*, 2003; Foster, 2004; Foster 2005) y presenta algunas diferencias en cuanto a superficie total de cada nivel erosivo (Tabla 4.2), debidas a la metodología, escala de trabajo y menor información de suelos (en el presente estudio se analiza 1 perfil cada 1400 ha). Acerca de esto, según MMA (2008), se realiza una toma de datos y muestras en campo de los suelos, se analizan en laboratorio y luego se traslada la información a cada pixel ($25\times 25 \text{ m}$) a los mapas. El número de parcelas experimentales, es de 1 muestra cada 2500 ha de superficie, pudiéndose aumentar hasta en un 10% la intensidad del muestreo.

Nivel de erosión	Tasa de erosión ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$)	Área (ha)	Área (%)
No data	-	1111.1	3.29
Inapreciable	0-5	1515.2	4.49
Muy Bajo	5-10	3104.7	9.21
Bajo	10-25	8780.1	26.1
Moderado	25-50	9495.2	28.1
Alto	50-100	6536.3	19.4
Muy Alto	100-200	2663,3	7.90
Irreversible (fase lítica)	>200	521.9	1.55
Total		33727.8	100

Tabla 4.2: Tasa de erosión de los suelos de la zona de estudio (MMA, 2008).

Dado el mayor detalle del mapa (la unidad mínima cartografiada es de $25\times 25 \text{ m}$, es decir, 625 m^2) (Fig. 4.1), los núcleos urbanos y superficies artificiales representadas aparecen de forma distinta a los de la Fig. 3.9.

Comparando los resultados de este estudio con del estudio MMA 2008, se observa que la tasa de erosión entre $25-50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ obtenido en el presente estudio es casi el doble que la propuesta por MMA (2008), lo que implica que el cálculo de la erosión está sobredimensionado, no correspondiendo con la realidad. A este respecto, al aplicar modelos empíricos y extrapolarlos a situaciones distintas de las que fueron diseñados, se obtienen estos datos no

acordes con la realidad (Albadalejo y Stocking, 1989). Otra de las razones de estos resultados puede estar debido al cálculo del factor k mediante los nomogramas propuestos (USLE, 1978), ya que según Auerswald *et al.* (2014) estas ecuaciones tienen restricciones en suelos con altos contenido en limo, como les ocurre a muchos de los perfiles estudiados.

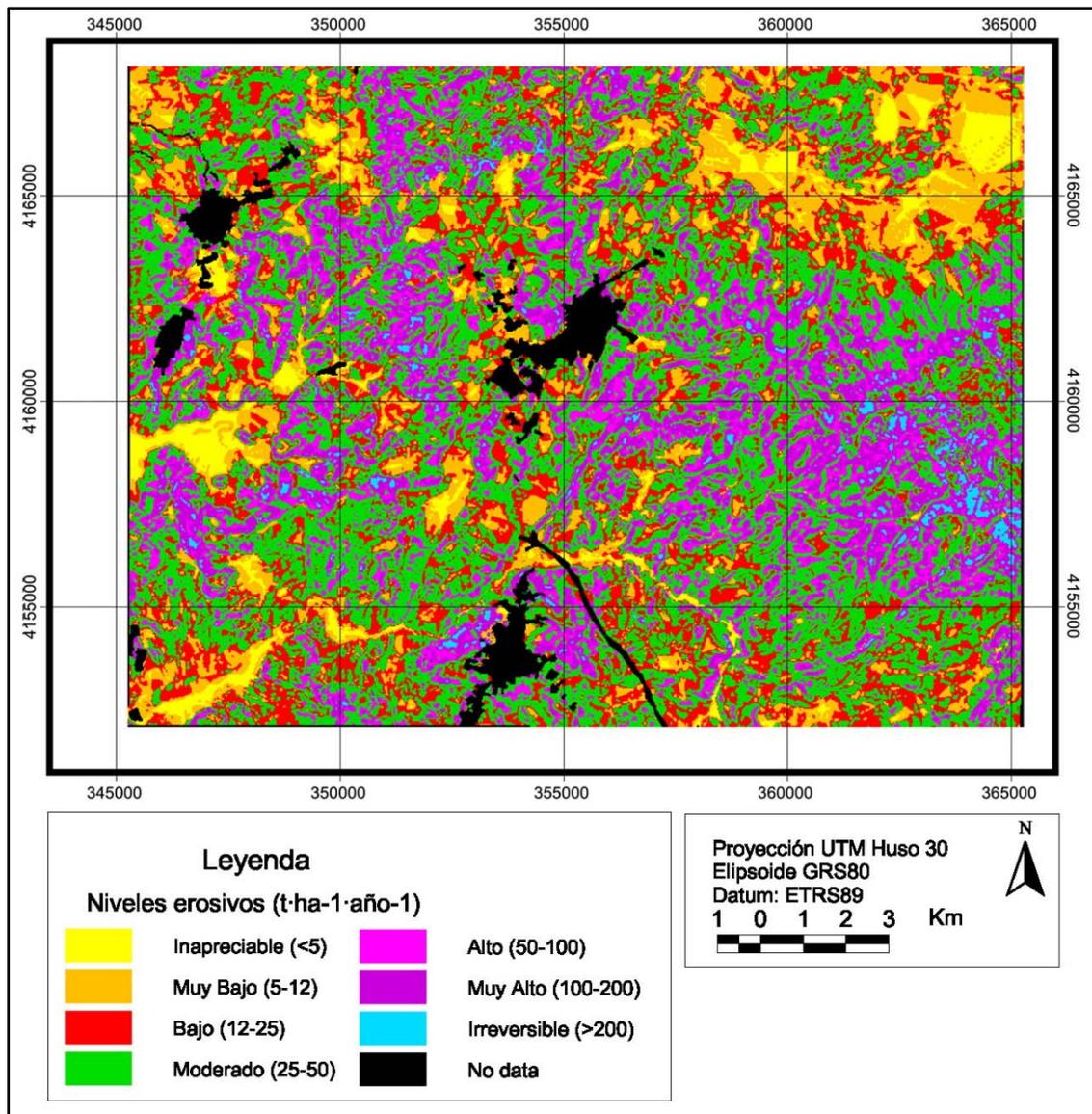


Fig.4.1: Niveles erosivos de los suelos de la zona de estudio (MMA, 2008).

En cuanto a los factores de la USLE (1978), hay que señalar que el factor R muestra valores entre $58-80 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, diferenciándose entre valles y Sierra. Esta distribución diferenciada de los valores máximos y mínimos del factor R es obtenida también por ICONA (1988), aunque en el caso de este estudio los valores son mayores, llegando hasta los $150 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$. Según MMA (2008), en el área de estudio, los valores de R se encuentran comprendidos en el intervalo de $100-150 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$. Esta diferencia puede deberse a las ecuaciones de regresión y al mayor número de variables utilizadas.

Algunos de los valores del factor K obtenidos (USLE, 1978), tienen valores muy elevados en Regosoles (perfil 12 y 16), Luvisoles (perfil 13), Calcisoles (perfil 10) y Cambisoles (perfiles 14 y 15). Esto es debido a contenidos bajos en materia orgánica, estructura moderadamente desarrollada y texturas franco arenosas o limosas. Esto último en la línea de lo expuesto por Dukier *et al.* (2001) que identifica una correlación positiva entre la erosionabilidad del suelo y los contenidos en limo+arena fina del suelo. Algunos valores de la erosionabilidad de los suelos obtenidos se encuentran en consonancia con Moreira (1991), como por ejemplo los suelos sobre albarizas del Mioceno (Unidades Cartográficas 15, 28 y 44, con valores de K de 0.632, 0.570 y 0.560 $t \cdot m^2 \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot J^{-1} \cdot cm^{-1}$, respectivamente), aunque los datos son algo más elevados (perfil 10, $K = 0.520 t \cdot m^2 \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot J^{-1} \cdot cm^{-1}$).

Los valores del factor LS recogidos en ICONA (1987) no se muestran en el mapa con la suficiente precisión como para realizar una comparación, dada la escala a la que se realiza el mapa (1:400000). En cambio el factor C obtenido está en consonancia con los de ICONA (1987) aunque la escala es distinta, en este caso la visualización en el mapa es más fácil. Finalmente el factor P muestra que no existen prácticas de conservación a la escala de trabajo establecida, si bien se han detectado pequeñas parcelas, no cartografiadas, en donde se observan que las pérdidas de suelo son menores simplemente por el hecho de tener una cobertura de herbáceos. Esto se manifiesta en un menor número de regueros presentes en una ladera en comparación con otra explotación sin dicha cobertura (Kosmas *et al.*, 1997; Cerdà, 1996). Se detectan como mucha frecuencia, el laboreo siguiendo las líneas de máxima pendiente, lo que favorece mayores pérdidas de suelo (Poesen *et al.*, 1997; Dercon *et al.*, 2007)

El método empleado para el cálculo de las variables termopluviométricas (Sánchez-Palomares *et al.*, 1999), ha sido utilizado para determinar precipitaciones y temperaturas, a partir de las cuales obtener los índices necesarios en la determinación, por ejemplo, del factor a (déficit hídrico) de la Capacidad de Uso de los suelos estudiados. Para dicho proceso es necesario, como ya se ha mencionado en este trabajo, su implementación en un SIG. Diversos autores utilizan los valores medios (P y T) medidos en estaciones termopluviométricas (Cendrero *et al.*, 1990; Sánchez, 1995; Lozano *et al.*, 2003), para realizar los cálculos necesarios y luego por razón de cercanía, darles el valor calculado (de la estación) a la Unidad de Capacidad de Uso. Esta forma de asignar valores por proximidad, provoca una subjetividad que podría evitarse si se optase por utilizar el modelo propuesto por Sánchez Palomares *et al.* (1999). Son muchos los autores que se han valido de estas ecuaciones de regresión para representar variables termopluviométricas, a partir de datos medios en sus investigaciones (Mezquita *et al.*, 2005; Del Barrio *et al.*, 2006; Jovellar, 2008; López-Senespleda *et al.*, 2012).

La metodología aplicada en la Capacidad de Uso ha sido empleada por distintos autores en diferentes localizaciones de la geografía española (Sánchez *et al.*, 1984; Sánchez, 1995; Antolín *et al.*, 1997) con variaciones y adaptaciones, al igual que el presente trabajo.

La aplicación de la metodología con los 12 factores, conlleva un resultado poco favorable, en cuanto a la Capacidad de Uso de estos suelos. Recordemos que la clase A (máxima capacidad y limitaciones nulas) es inexistente y la representación de la clase B (Capacidad de Uso elevada y limitaciones leves) es anecdótica. Dicho esto, la zona de estudio es un área dominada por la clase C (capacidad media y limitaciones acentuadas) con casi el 20% y la clase D (capacidad baja y limitaciones severas), con el 65% de la superficie. La clase E (Capacidad de Uso muy baja y limitaciones muy severas) está presente casi el 15%. Esto puede ser debido a que el uso que se le da al suelo está determinado por la productividad a corto plazo y no por la capacidad que tengan los mismos. En esta línea, Oñate y Peco (2005) obtuvieron resultados similares en la cuenca del Guadaletín (Murcia). Entre todas las limitaciones mayores que pueden tener los suelos estudiados, la erosión hídrica es la que afecta a mayor superficie (39.6%), siendo el resto de limitaciones el déficit de agua (19.8%), propiedades químicas (19.8%), alcalinidad (11.7%), espesor efectivo (5.9%), propiedades físicas (1,8%), rocosidad (0.81%) y pendiente (0.5%).

Esta consideración de la erosión, como el factor limitante más importante de la zona de estudio, es corroborada e identificada por multitud de autores (Moreira, 1986; Le Bissonnais *et al.*, 2001; Gil *et al.*, 2003; Guzmán, 2004) como uno de los mayores problemas en zonas agrícolas.

Si se comparan los resultados obtenidos de Capacidad de Uso con otros trabajos, como los de Capacidad General de Uso (De la Rosa y Moreira, 1984) (Fig. 4.2) y Clases Agrológicas a escala 1:50000 (CAP, 1999) (Fig. 4.3), se pone de manifiesto que los suelos con mejores aptitudes y menores limitaciones se localizan en zonas de valles y poca pendiente y los suelos con mayores limitaciones se encuentran en la Sierra de Montilla y zonas con grandes pendientes. Las diferencias se deben a que en estos trabajos el esfuerzo en la realización de los estudios edáficos es menor (7 perfiles y 14 perfiles de suelos para toda la provincia de Córdoba, respectivamente) y a la metodología y escala de trabajo que es distinta. La metodología de De la Rosa y Moreira (1984) sigue los principios de FAO (1976) y los mapas de Capacidad General de Uso están a escala 1:400000.

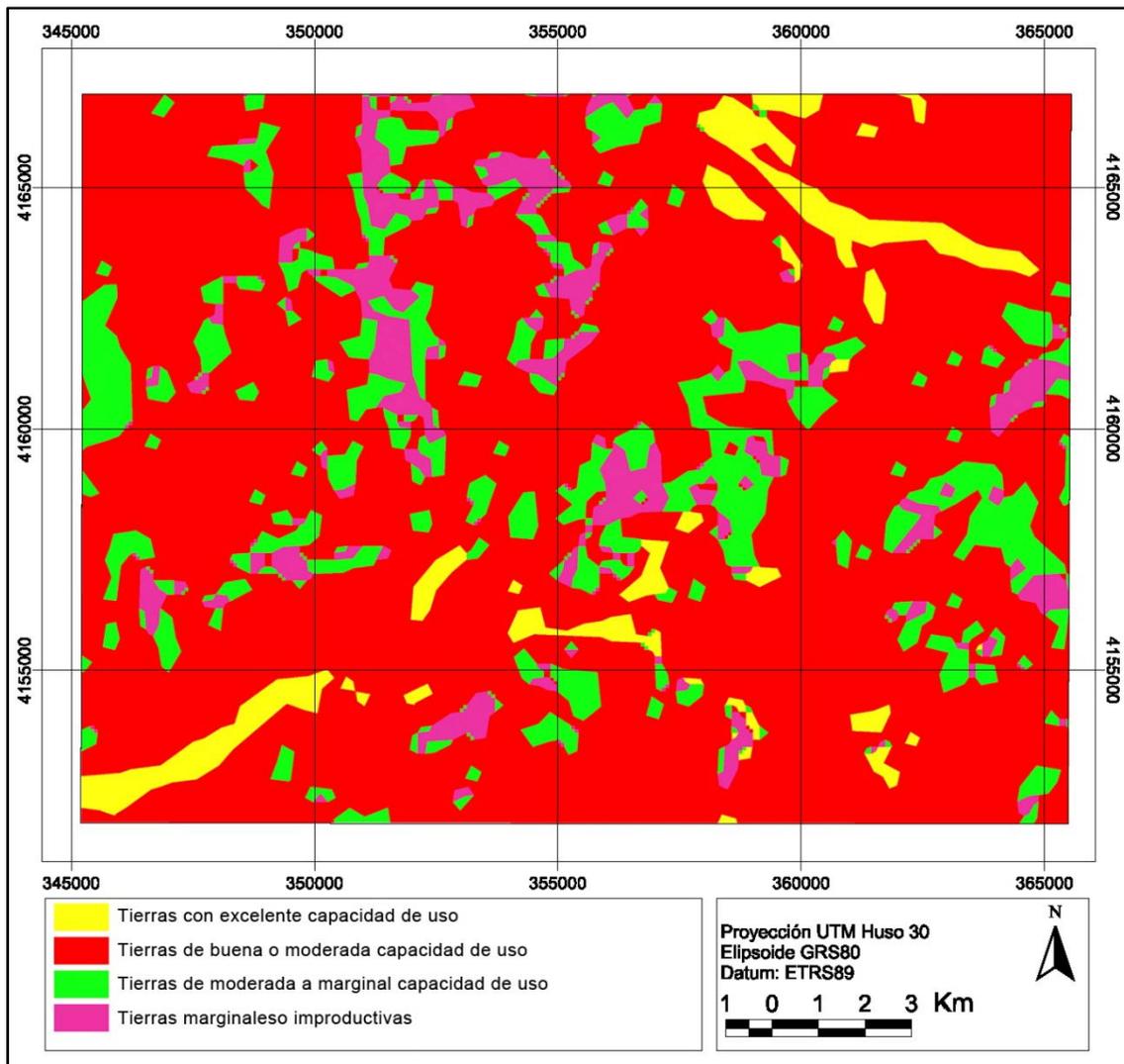


Fig. 4.2: Capacidad de Uso General de la zona de estudio (De la Rosa y Moreira, 1984).

La Capacidad de Uso de los suelos de la zona estudiada difiere de manera importante si su evaluación se realiza utilizando la metodología de 12 factores o de 11 factores. La clave está en el déficit de agua, ya que si se favorece un mayor contenido de agua en el suelo, mediante aportes regulares o puntuales, no se convertirá en un factor limitante de estos suelos y la Capacidad de Uso será mayor. De esta forma el principal factor limitante, utilizando la metodología de 11 factores, sigue siendo la erosión (54.5% superficie), seguido de las propiedades químicas (21.3%), alcalinidad (12.7%), espesor efectivo (7.30%), propiedades físicas (1.87%), pendiente (1.48%) y rocosidad (0.81%).

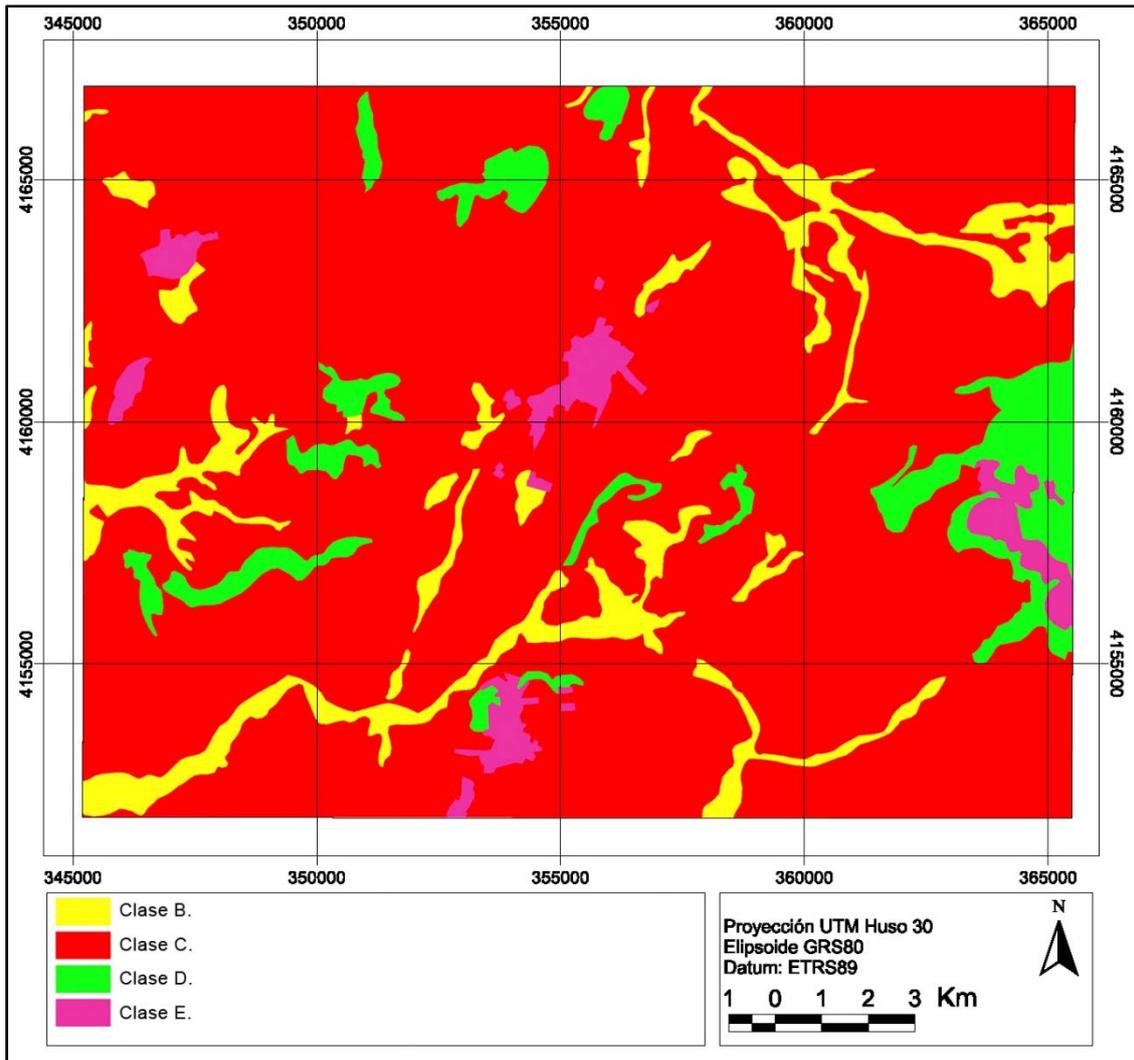


Fig. 4.3: Clases Agrológicas de la zona de estudio (CAP, 1999). Para su mejor comprensión se han agrupado, según Sánchez (1995) y codificado en los mismos colores.

5. Conclusiones.

En la presente investigación se ha planteado un objetivo general, desdoblado en dos. El primero orientado a conocer cómo son los suelos y que cabida tienen en cuanto a los usos que en ellos se desarrollan y en segundo lugar dirigido a saber cómo los cambios en estos usos han afectado a las propiedades edáficas (principalmente químicas). Siguiendo estos dos aspectos, las conclusiones a las que se ha llegado en esta investigación son:

1. Generar la información previa a la realización del presente trabajo (análisis descriptivo y de diagnóstico) de los usos del suelo, en formato vectorial y con toda la información necesaria en bases de datos asociadas y con la misma escala, que han facilitado el desarrollo del mismo (Tesis de Licenciatura y DEA).

2. Respecto a la metodología empleada en la evaluación de la Capacidad de Uso, su aplicación ha permitido conocer las fortalezas y limitaciones del método. Las principales limitaciones del método han sido, en primer lugar, el no disponer de una red de pluviógrafos lo suficientemente densa como para tener datos precisos. Se solventa dicha limitación aplicando una correlación empleada en otros estudios y que sólo precisa datos pluviométricos. La segunda limitación, ha sido la caracterización climática de las Unidades en base a la mayor o menor cercanía de una estación meteorológica, esto se solventó con la aplicación de un modelo de estimaciones termopluviométricas, publicado en el año 1999 y que nos evitaba el uso de técnicas geoestadísticas, que tampoco resolvía el problema de forma satisfactoria. En cuanto a las fortalezas del método, el estudio y conocimiento de la Capacidad de Uso de los suelos es una poderosa herramienta en la planificación territorial que puede evitar situaciones en donde se ponga en peligro los recursos naturales, en este caso el suelo y se utilice en la identificación de los factores que merman la productividad de los cultivos y que limitan la sostenibilidad de los mismos.

3. Los suelos estudiados presentan una Capacidad de Uso menor de lo que cabría esperar de ellos, en virtud de los estudios previos existentes hasta el momento, realizados a escala más pequeña y con un esfuerzo menor en cuanto a los estudios edáficos se refiere. Tienen una Capacidad de Uso de tipo medio y bajo, es decir se clasifican en Clase C, D y E. Con la adaptación metodológica para el área de estudio, las Clases de Capacidad e Uso se ven mejoradas con respecto a la metodología convencional, apareciendo Clases B, C, D y E.

4. Los factores limitantes que condicionan la Capacidad de Uso son la erosión hídrica, el déficit hídrico y las propiedades químicas, fundamentalmente.

5. El cambio de uso y manejo del suelo, estudiado a largo plazo (46 años) en Luvisoles, muestra como la profundidad del perfil se redujo en olivar y viñedo, debido a la erosión hídrica (cambios en el manejo). Tiene un impacto negativo en el suelo, reduciéndose las concentraciones de carbono y nitrógeno. Estos stocks varían a lo largo del perfil, presentando los valores más altos en superficie (horizonte Ap) y en el horizonte Bt, en el primer caso debido al profundo laboreo, mientras que en el segundo está causado por la traslocación de C en forma disuelta, la actividad de la fauna del suelo y/o los efectos de las raíces de los cultivos. La distribución de carbono presenta una correlación positiva con respecto a la distribución del nitrógeno.

6. El cambio de uso y manejo, provocan la disminución del contenido de carbono, debido a las pérdidas de vegetación y al manejo insostenible del suelo, que dan como resultado un empobrecimiento en materia orgánica, provocando baja productividad y afectando a las propiedades químicas. Además de afectar a la protección física del suelo incrementándose la erosión hídrica. Sin embargo, el análisis de la calidad de los suelos (índice de estratificación) muestra que tras 46 años del cambio de uso y manejo del suelo, estos valores aumentan, mostrando un efecto positivo en el suelo especialmente en olivar y viñedo, no apreciándose ese efecto en el cereal con manejo tradicional.

7. El uso de perfiles completos de suelos son necesarios en climas templados, debido a que grandes cantidades de carbono pueden ser almacenados en profundidad. Esto es esencial en los cambios de uso y manejo del suelo, porque el carbono puede ser transportado a los horizontes más profundos.

6. Bibliografía.

Acosta-Martínez, V., Klose, S., Zobeck, T.M., 2003. Enzyme activities in semiarid soils under conservation reserve program, native rangeland, and cropland, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 166, 699–707.

Aguilar, J., 1992. La evaluación de suelos en España. Ponencias, seminario: Evaluación de suelos. UIMP, Valencia.

Albadalejo, J., Stocking, M.A., 1989. Comparative evaluation of two models in predicting storm soil loss from erosion plots in semi-arid Spain. *Catena* 16, 227-236.

Albretch, A., Kandji, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 99, 15–27.

Almorox, J., 1993. La erosión en un ambiente mediterráneo, discusión metodológica y aplicación al término de Alcalá del Valle. Tesis Doctoral ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

Almorox, J., De Antonio, R., Saa, A., Díaz, M.C. y Gascó, J.M., 1994. Métodos de estimación de la erosión hídrica. Ed. Agrícola Española. Madrid.

Almorox, J., López Bermudez, F., Rafaelli, S., 2010. La degradación de los suelos por erosión hídrica: métodos de estimación. Universidad de Murcia. Murcia.

Antolín, C., Añó, C., Carbó, E., Álvarez, D., 1997. Capacidad de uso del suelo en la Comunidad Valenciana. Una aproximación a la planificación territorial. *Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, 3-2, 387-392.

Añó, C., Sánchez, J., 2002. Orientaciones de uso agrario. Una metodología para la planificación de usos del suelo en la Comunidad Valenciana. CSIC.

Arc GIS (versión 10). 2010. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, CA. Licencia del Área de Conocimiento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría. ETSIAM. Universidad de Córdoba.

Ardizzone, J.A., Arozarena, A., Delgado, J., Herrero, M., Villa, G., Vivas, P., 1991. Aplicación de la teledetección a la cartografía topográfica en el Instituto Geográfico Nacional (IGN): serie de orto-imágenes a escalas 1/100.000 y 1/250.000. En: Teledetección y Medio Ambiente. IV reunión científica de la Asociación española de Teledetección. Agencia de Medio Ambiente. Consejería de Cultura y Medio ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

Arnold, J.G., Fohrer, N., 2005. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. *Hidrol. Process.* 19-3, 563-572.

Arnold, J.G., Williams, J.R., 1987. Validation of SWRRB- Simulator for water resources in rural basins. *Journal of water resources planning and management*, 113-2, 243-256.

Arnold, J.G., Williams, J.R. Griggs, R.H., Sammons, N.B., 1990. SWRRB: a basin scale simulation model for soil and water resources management. A&M Press. Texas.

Arnoldus, H.M.J., 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. *Assesment of Erosion*. Bood and Gabriels ed., John Wiley & Sons.

Asensi, A., Diez-Garretas, B., 1989. Matorrales y jarales del sector Rondeño. *Doc. Physoloc.*, 11, 263-274.

Aubert, G., 1965. Classification des sols. *Cahiers. ORSTOM. Pedologie* III-3, 269-287.

Auerswald, K., Fiener, P., Martin, W. y Elhaus, D., 2014. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: An alternative equation for determining USLE nomograph soil. *Catena*, 118. 220-225.

Ayres, Q.C., 1936. *Soil erosion and its control*. McGraw-Hill, New York.

Azevedo, A.L., Cardoso, J.C., 1962. Soil Classification in Portugal and its application in agricultural research. *Trans. Comm. IV y V International Society of Soil Science*, New Zealand.

Badía, D., Martí, C., Alcañiz, J.M., 1993. Evaluación de la capacidad agrológica de la comarca de la Alta Garrotxa (Girona). V Reunión nacional del Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 509-516.

Bakker, M.M., Govers, G., Kosmas, C., Vanacker, V., Oost, K., Rounsevell, M., 2005. Soil erosion as a driver of land-use change, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 105, 467–481.

Baldwin, M., Kellogg, C.E., Thorp J., 1938. *Soil Classification*. *Soils and Men: Yearbook of Agriculture 1938*. U.S. Government Printing Office, 979–1001.

Balesdent, J., Balabane, M., 1996. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils, *Soil Biol. Biochem.*, 28, 1261–1263.

Baver, L.D., 1938. Ewald Wollny - a pioneer in soil and water conservation research. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 3, 330-333.

Beasley, D.B., 1977. ANSWERS: a mathematical model for simulating the effects of land use and management on water quality. Ph. D. Tesis. Purdue University. West Lafayette, Indiana.

Beasley, D.B., Huggings, L.F., 1991. ANSWERS (Areal nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) User's manual. Publication, 5. Agricultural Engineering Department. University of Georgia-CPES, Tifton, GA.

Beasley, D.B., Huggins, L.F., Monke, E.J., 1980. ANSWERS- a model for watershed planning. *Trans. Am. Soc. Eng.*, 23. 938-944.

Beek, K.J., 1981. From soil survey interpretation to Land Evaluation. Part I&II. *Soil Survey and Land Evaluation*, I, 6-12 y II, 18-25.

Bellot, F., Ron, M.E., Carballal, R., 1979 Mapa de Vegetación de la Alcarria Occidental. Madrid. *Trab. Dep. Bot. Y Fis. Veg.*, 10, 3-32.

Benito Rueda, E., Gómez-Ulloa, A., Díaz-Fierros, F., 1986. Descripción de un simulador de lluvia para estudios de erodibilidad del suelo y estabilidad de los agregados al agua. *Anales de Edafología y Agrobiología*, XLV. 1115-1126.

Bertalanffy, L.V., 1968. *General System Theory*. George Brazilller Inc. New York.

Bertrand, G., 1970. *Ecologie de l'espace géographique. Recherches pour une science du paysage*. Societé de Biogéographique, 195-205.

Blanco-Canqui, H., Lal, R., 2008. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on farm assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72, 693-701.

Bock, L., Calembert, J., Mathiu, L., 1981. Reflexiones sur les aptitudes des terres enmilien mediterranéen. *Pedologie*, XXXI.

BOE, 1940. Orden de 23 de julio de 1940, por el que se encarga al Consejo Agronómico la formación del Mapa Agronómico, Técnico y Comercial de productos Agrícolas. 49-50.

BOE, 1995. Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Ministerio

de Agricultura, Pesca y Alimentación. Boletín Oficial del Estado, de 28 de diciembre, 310, 37310-37333.

BOJA, 2008. Anuncio de 4 de agosto de 2008, de la Delegación Provincial de Córdoba, de certificación del Acuerdo del Plan General de Ordenación Urbanística de Monturque (Exp., P-60/07). Junta de Andalucía. Sevilla.

Boluda, R., Molina, M.J., Sánchez, J., 1984. Definición y metodología de Unidad de Paisaje. Importancia de la geología ambiental en su descripción. I Congreso Español de Geología. Segovia. 611-621.

Bonneau, M., Souchier, B., 1987. Edafología II: constituyentes y propiedades de los suelos. Ed Masson. Barcelona.

Bordás, V., Sánchez, J., 1988. Estudio comparado sobre los diferentes métodos de valoración de la erosión hídrica en las áreas piloto representativas de la provincia de Valencia (España). Anales de Edafología y Agrobiología, XLVI, 11-12, 1277-1290.

Bouma J., Wagenet R.J., Hoosbeek M.R., Hutson J.L., 1993. Using expert systems and simulation modeling for land evaluation at farm level: A Case Study from New York State. Soil Use & Manag., 9, 131-139.

Bower, C.A., Reitemeier, R.F., Fireman, M., 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkaline soils. Soil Science, 73. 251-261.

Brady, C., Weil R.R., 2008. The nature and properties of soils, 14 Ed., Pearson Prentice hall. Upper Saddle River. New Jersey. Columbus, Ohio, USA.

Braun-Blanquet, Bolós, O., 1958. Anales de la Estación de Experimentación Aula Dei, 5. CSIC.

Brinkman, R., Smith, A.J., 1973. Land evaluation for rural purposes. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen.

Burke, I., Yonker, C., Parton, W., Cole, C., Flach, K., Schimel, D., 1989. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils, Soil Sci. Soc. Am. J., 53, 800-805.

CAP-CSIC, 1987. Mapa de suelos de Andalucía a escala 1:400000. Sevilla.

CAP, 1999. Clasificación del suelo de la provincia de Córdoba desde el punto de vista agrario: Clases Agrológicas. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

Caravaca, F., Masciandaro, G., Ceccanti, B., 2002. Land use in relation to chemical and biochemical properties in semiarid Mediterranean environment. *Soil Till. Res.*, 68, 23–30.

CEC, 1985. Soil map of the European Communities (1:1000000). Commission of the European Communities. DG VI Agriculture and Environment. European Union. Luxemburgo.

CECAF-CMA, 2002. Vuelo fotogramétrico analógico a partir de la escala 1:33000 del año 1956-1957 en BN del Ejército Americano. Acceso Web: www.juntadeandalucia.es/medioambiente/rediam/servicio_descargas_ortofotos

Cendrero, A., Díaz de Terán, J.R., 1987. The environmental map system of the University of Cantabria, Spain. En Arndt, P., Lütting, G. (Ed.): Mineral resources extraction, environmental protection and land-use planning in the industrial and developing countries. Schweizerbart, Stuttgart. 149-181.

Cendrero, A., Nieto, M., Robles, F., Sánchez, J., 1986. Mapa Geocientífico de la provincia de Valencia. Diputació Provincial de València-Universitat de Valencia-Universidad de Cantabria.

Cendrero, A., Sánchez, J., Antolín, C., Arnal, S., Díaz, J.R., Francés, E., Martínez, V., Moñino, M., Nieto, M., Nogales, I., Pérez-Chacón, E., Ríos, C., Robles, F., Romero, A., Suárez, C., 1990. Geoscientific maps for planning in semiarid regions: Valencia and Gran Canaria, Spain. *Eng. Geol.*, 29, 291-319.

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. (CEBAC), 1962. Estudio Agrobiológico de la Provincia de Sevilla. Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Cortijo del Cuarto. Sevilla.

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. (CEBAC), 1965. Estudio Agrobiológico de la Provincia de Cádiz. Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Cortijo del Cuarto. Sevilla.

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto. (CEBAC), 1971. Estudio Agrobiológico de la Provincia de Córdoba. Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Cortijo del Cuarto. Sevilla. 73-241.

Cerdà, A., 1996. Soil aggregate in three Mediterranean environments. *Soil Technology*, 9, 133-140.

Cerdà, A., Lavee, H., Romero-Díaz, A., Hooke, J., Montanarella, L., 2010. Preface, *Land Degrad. Dev.*, 21, 71–74.

Christian, C., Steward, G.A., 1953. General reports on surveys of Chaterine-Darwin region. Australian Land Research Series. CSIRO. Australia.

Christian, C., Steward, G.A., 1968. Methodology of integrated survey. In : UNESCO: Aerial surveys and integrated studies. UNESCO Natural Resources Research, IV, 233-280.

Christian, C.S., 1958. The concept of lands unit and land systems. *Proc. 9th Pacific Science Congr.*, 20, 74-81.

Christian, C.S., Steward, G.A., 1968. Methodology of integrated survey. Aerial surveys and integrated studies. *Proc. of the Toulouse Conf.*, 1, 233-280.

Clarke, G.R., 1950. Productivity Ratings. *Trans. IV International Congress of Soil Science. Volumen I.*

CMA, 2007. Levantamiento de información ambiental referida a unidades geomorfoedáficas para diversas zonas de Andalucía occidental (OG-019/07). Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

CMA, 2009a. Conjunto de datos de Geomorfología de Andalucía: fisiografía, unidades geomorfológicas, procesos geomorfológicos y cuencas marinas. Red de Información Ambiental de Andalucía. Datos Ambientales de Andalucía: Geodiversidad. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

CMA, 2009b. Información de aguas subterráneas procedente del mapa hidrogeológico de Andalucía (1:400000) realizado por el IGME. Red de Información Ambiental de Andalucía. Datos Ambientales de Andalucía: Aguas. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

CMA, 2009c. Conjunto de datos de Edafología de Andalucía: Capacidad de Uso, elementos traza, fondos marinos y unidades edáficas. Escala 1:400000. Red de Información Ambiental de Andalucía. Datos Ambientales de Andalucía: Geodiversidad. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

CMA, 2009d. Datos climáticos pertenecientes a la serie temporal comprendida entre los años 1971-2000. Red de Información Ambiental de Andalucía. Datos Ambientales de Andalucía: Clima. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

CMA, 2009e. Red hidrográfica procedente del Mapa Topográfico de Andalucía 1:10000 y adaptada para su integración en la base de datos de información general de aguas superficiales. Año 2008. Red de Información Ambiental de Andalucía. Datos Ambientales de Andalucía: Aguas. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Conant, R.T., Paustian, K., 2002. Potential soil carbon sequestration in overgrazed grassland ecosystems. *Glo. Biogeochem. Cy.*, 16-4, 1-90. DOI: 10.1029/2001GB001661.

Conforti, M., Pascale, S., Robusteli, G., Sdao, F., 2014. Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy).

COPT, 2005. Ortofotografía digital en color de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Sevilla.

COPT-CMA, 2005. Modelo Digital del Terreno. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Agricultura y Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

COPT-CAP-CMA, 2004. Ortofotografía digital pancromática de Andalucía en blanco y negro (0.5 m de resolución). Vuelo 2001-2002. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Agricultura y Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. D.L.: M-51343-2004.

COPT-CAP-CMA, 2005. Modelo Digital del Terreno. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Agricultura y Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. D.L.: M-31768-2005.

COPT-CAP-CMA, 2005. Ortofotografía digital en color de Andalucía. Vuelo de junio-octubre de 2004. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Agricultura y Pesca y Medio Ambiente Junta de Andalucía. D.L.: M-50892-2005.

COPT, 2009. Ortofotografía digital en color de Andalucía. Vuelo de junio-julio de 2007. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. D.L.: SE-2.343-2009.

CORINE-CEC, 1992. CORINE soil erosion risk and important land resources. An assessment to evaluate and map the distribution of land quality and soil erosion risk. Office for official publications of the European Communities. Luxemburgo.

Corral, L., Parras, L., 2004. Levantamiento de información ecológica básica referida a unidades geomorfoedáficas en el ámbito sur de la provincia de Sevilla, oeste de Cádiz y Sierra Morena central de Córdoba. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Corral, L., Parras, L., 2005. Levantamiento de información ambiental referida a unidades geomorfoedáficas para diversas zonas de Andalucía occidental. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Corral, L., Parras, L., 2007. Levantamiento de información ambiental referida a unidades geomorfoedáficas para diversas zonas de Andalucía occidental. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Corral-Fernández, R., Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B., 2013. Stratification ratio of soil organic C, N and C:N in Mediterranean evergreen oak woodland with conventional and organic tillage. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 164, 252–259.

Côté, L., Brown, S., Paré, D., Fyles, J., Bauhus, J., 2000. Dynamics of carbon and nitrogen mineralization in relation to stand type, stand age and soil texture in the boreal mixedwood. *Soil Biol. Biochem.*, 32, 1079–1090.

Das, G., Agarwal, A., 1990. Development of a conceptual sediment graph model. *Transactions in Agriculture. ASAE*, 33-1, 100-103.

Davidson D., Theocharopoulos S.P., Bloksma R.J., 1994. A land evaluation project in Greece using GIS and based on boolean and fuzzy set methodologies. *Int. J. Geogr. Inf. Sys.*, 8, 369-384.

De Bolós, M., 1992. *Manual de la Ciencia del Paisaje*. Ed. Masson. S.A. Barcelona.

De la Rosa, D., 2008. *Evaluación Agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 404 p. + CD-ROM.

De la Rosa, D., 2013. Una agricultura a la medida de cada suelo: desde el conocimiento científico de la experiencia práctica a los sistemas de ayuda a la decisión. Discurso de ingreso en la Real Academia Sevillana de Ciencias. Sevilla.

De la Rosa, D. Cardona, F., Almorza, J., 1981. Crop yield predictions based on properties of soils in Sevilla, Spain. *Geoderma*, 25, 267-274.

De la Rosa, D., Moreira, J.M. (Coord.), 1987. Evaluación Ecológica de los Recursos Naturales de Andalucía. Aproximación al conocimiento necesario para planificar el uso y protección de las tierras. Servicio de Evaluación de Recursos Naturales. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla. 192 p. + 4 mapas a escala 1:400000.

De la Rosa, D., Mudarra, J.L., 1979. La utilización de los índices de productividad para pronosticar la aptitud relativa de los suelos. Anales de Edafología y Agrobiología, 38, 1725-1735.

De la Rosa, D., Mayol, F., Moreno, J.A., Bonson, T., Lozano, S., 1999. An Expert System/Neural Network Model (ImpelERO) for Evaluating Agricultural Soil Erosion in Andalucía Region. Agr., Ecos. & Env., 73, 211-226.

De la Rosa, D., Mudarra, J.L., Romero, R., Aranda, A., 1984. Characterization and evaluation of agricultural Benchmark soil from Seville, Spain. S. Sci. Soc. Am. J., 48, 358-362.

De Roo, A.P.J., Jetten, V.G., 1999. Calibrating and validating the LISEM model for two data sets from the Netherlands and South Africa. Catena, 37. 3-4 (October). 477-493.

De Roo, A.P.J., 1996. The LISEM project: an introduction. Hidr. Proc., 10-8, 1021-1025.

De Roo, A.P.J., Offermans, R.J.E., Cremers, HHDT, 1996b. LISEM: a single event physically-based hydrologic and soil erosion model for drainage basins: II. Sensivity analysis, validation and application. Hidr. Proc., 10-8, 1119-1126.

De Roo, A.P.J., Wesseling, C.G. and Ritsema, C.J., 1996a. LISEM: a single event physically-based hydrologic and soil erosion model for drainage basins: I. Theory, input and output. Hidr. Proc., 10-8, 1107-1117.

Del Barrio, G., Harrison, P.A., Berry, P.M., Butt, N., Sanjuan, M.E., Pearson, R.G., Dawson, T., 2006. Integrating multiple modelling approaches to predict the potential impacts of climate change on species' distributions in contrasting regions: comparison and implications for policy. Envi. Sci. & Pol., 9, 129-147.

Delgado, G., Aguilar, J., 1985. Caracterización de la capacidad agrológica de los suelos de la zona de Linares, basado en un mapa agrológico. Anales de Edafología y Agrológica, 43, 1515-1525.

Dendy, F.E., Bolton, G.C., 1976. Sediment yield-runnof-drainage area relationship in the United States. J. of Soil & Water Cons., 35-1, 264-266.

Dent, D., Young, A., 1981. Soil Survey and Land Evaluation. George Alland & Unwin. London.

Dercon, G., Govers, G., Poesen, J., Sánchez, H., Rombaut, K., Vandebroek, E., Loaiza, G., Deckers, J., 2007. Animal-powered tillage erosion assessment in the southern Andes region of Ecuador. *Geomorphology*, 87, 4-15.

Díaz de Terán, J.R., 1985. Estudio geológico-ambiental de la franja costera de Junquera-Castro Urdiales (Cantabria) y establecimiento de bases para su ordenación territorial. Tesis Doctoral (inérita). Facultad de Geología. Universidad de Oviedo.

Díaz-Fierros, F., Gil, F., Puga, M., 1982. Aplicación del método de evaluación de tierras de la FAO a Galicia. *An. de Edaf. y Agrob.*, 41, 2125-2144.

Diekow, J., Mielniczuk, J., Knicker, H., Bayer, C., Dick, D.P., Kögel-Knabner, I., 2005. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil & Till. Res.*, 81, 87-95.

Djorovic, M., Grailovic, S., 1974. Quantitative classification of torrent waterways. Institute for Forestry and Wood Industry. Beograd.

DOCE, 1992. Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. *Diario Oficial de la Com. Eur.*, de 22 de julio de 1992, 206, 7-50.

Don, A., Schumacher, J., Scherer-Lorenzen, M., Scholten, T., and Schulze, E., 2007. Spatial and vertical variation of soil carbon at two grassland sites. Implications for measuring soil carbon stocks, *Geoderma*, 141, 272-282.

Dorronsoró, C., 2003. Clasificación y cartografía de suelos. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. En: <http://www1.universia.net/catalogaxxi/pub/>

Duchaufour, P., 1975. Manual de Edafología. Edit. Toray-Mason. Barcelona.

Duclos, G., 1971. Appreciation de l'aptitude a la mise en valeur des sols de Provence. *Bulletin de l'association française pour l'etude du sol*, 6.

Duiker S.W., Flanagan D.C., Lal, R., 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45. 103-121.

Duley, F.L., Miller, M.F., 1923. Erosion and surface run-off under different soil conditions. Missouri Agr. Expt. Sta. Research Bui., 63.

Dunn, M.C., 1974. Landscape evaluation technique: an appraisal and review of the literature. Centre for Urban and Regional Studies. Birmingham University.

Durand, J.H., 1965. Un mode d'interpretation des données pedologiques. Agronomie Tropicale, 10.

Eaton, J.M., McGoff, N.M., Byrne, K.A., Leahy, P., Kiely, G., 2008. Land cover change and soil organic C stocks in the Republic of Ireland 1851–2000. Climatic Change, 91. 317–334.

Ellison, W.D., 1944. Studies of raindrop erosion. Agricultural Engineering, 25, 131-136, 181-182.

Elwell, H.A., 1977. Soil Loss estimation system for Southern Africa. Department of Conservation and Extension. Research Bulletin, 22.

Elwell, H.A., 1984. Soil loss estimation: a modeling technique. En Erosion and sediment yield: some methods of measurement and modeling. Ed. Hadley y Walling. 15-36.

Emberger, E., 1932. Sur une formule climatique et ses applications en botanique. La Météorologie. París. 423-432.

Escribano, M.M., De Frutos, M., Iglesias, E., Mataix, C., Torrecilla, I., 1991. El Paisaje. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. MOPU. Madrid.

Escribano, M.M., Frutos, M., Iglesias, S., Mataix, C., Torrecilla, I., 1989. El Paisaje. Unidades temáticas ambientales de la Dirección General de Medio Ambiente. MOPU. Madrid.

Escribano, R., 1978: Estudios de planificación física. El Valle de Liébana; Tomos I y II, E.T.S. de Ingenieros de Montes, Madrid.

FAO, 1976. A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin, 32. Roma.

FAO, 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. The Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.

FAO, 2006. Guidelines for soil description. 4th edition. Rome.

FAO-PNUMA, 1984. Directivas para el control de la degradación de suelos. The Food and Agriculture Organization of the United Nations- Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente. Roma.

FAO-UNESCO, 1974. Soil map of the world. Vol. 1. Legend. Paris.

Fenton, T.E., 1981. Estimating soil erosion by remote sensing techniques. Ed. C.J. Johansen and J.L. Sanders: Remote sensing for resource management. Soil Conservation Society of America. Iowa. 217-231.

Fernández Fernández, M.M., Aguilar Pérez, M.I., Carrique Pérez, J.R., Tortosa Domingo, J., Gracia García, C., López Rodríguez, M., Pérez Morales, J.M., 2001. Suelo y Medio Ambiente en invernaderos. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla.

Fernández García, F., 2000. Introducción a la Fotointerpretación. Ed. Ariel. Barcelona.

Fisher, P., Abrahart, R.J., Herbinger, W., 1998. The sensibility of two distributed non-point source pollution models to the spatial arrangement of the landscape. *Hidr. Proc.*, 11-3, 241-252.

Flanagan, D.C., Nearing, M.A., 1995. Water Erosion Prediction Project (WEPP): Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. USDA. Agricultural Research Service NSERL Report, 10, 1-12.

Font Tullot, I., 1983. Climatología de España y Portugal. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de transportes, Turismo y Comunicaciones. Madrid. 93-101. ISBN 84-500-94674.

Foster, G.R., 2004. Revised Universal Soil Loss Equation. Version 2. Users reference guide. USDA-ARS.

Foster, G.R., 2005. Revised Universal Soil Loss Equation. Version 2. Science documentation. USDA-ARS.

Foster, G.R., Yoder, D.C., Wessies, G.A., McCool, D.K., McGregor, K.C., Bingner, R.L., 2003. Revised Universal Soil Loss Equation. Version 2. USDA-ARS.

Fournier, F., 1960. Climat et érosion. La relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Ed. Presses Universitaires de France. París.

Franzluebbers, A. J., 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Till. Res.*, 66, 95–106.

Franzluebbers, A. J., 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Till. Res.*, 66, 95–106.

Franzluebbers, A.J., Arshad, M.A., 1996. Soil organic matter pools during early adoption of conservation tillage in northwestern Canada. *S. Sci. Soc. Am. J.*, 60, 1422–1427.

Gabaussell, G., 1967. Photo-interpretation et synthèse écologique, essai d'application a la feuille de Grenoble (1:100000). Documents pour la Carte de Vegetation des Alpes, 127-172.

Gallardo, A., Rodríguez-Saucedo, J., Covelo, F., Fernández-Ales, R., 2000. Soil Nitrogen heterogeneity in dehesa ecosystem. *Plant Soil*, 222, 71–82.

Gallardo, J., 1989. Usos y conservación de suelos. ITGM. Ingeniería Geoambiental, 57-67.

Gallardo, J., 1992. Método para la evaluación de la erosión en tierras agrícolas por medio del perfil edáfico. En: Resúmenes de las Conferencias del Seminario: Métodos y técnicas para el estudio de procesos de erosión. CSIC. Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid. 123-126.

Gallart, F., 1992. Medida de los flujos de agua y sedimentos a escala de pequeña cuenca. En: Resúmenes de las Conferencias del Seminario: Métodos y técnicas para el estudio de procesos de erosión. CSIC. Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid. 91-96.

García del Barrio Ambrosy, I., Sanz Carnero, F., López Bellido, L., 1980. El viñedo, el clima y el suelo de Montilla-Moriles. Subdirección General de Producción Vegetal. Dirección General de la Producción Agraria. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Agricultura. Madrid.

García Ruiz, J.M., 1992. Medidas de flujos de agua y sedimentos a escala de parcela. En: Resúmenes de las Conferencias del Seminario: Métodos y técnicas para el estudio de procesos de erosión. CSIC. Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid. 83-90.

Gerrad, A J., 1981. *Soils and Landforms. An integration of geomorphology and pedology.* Ed. George Allen and Unwin.

Gil, J., Rodero, I., Odierna, C., 2003. Inventario de suelos de la provincia de Córdoba. Departamento de Medio Ambiente y Protección Civil. Diputación de Córdoba.

Gómez Delgado, M., Barredo Cano, J.I., 2005. Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Ed. RA-MA. Madrid.

Gómez Orea, D., 1978. El medio físico y la planificación. Vols. I y II. Cuadernos del CIFCA, 10. Madrid.

González Bernáldez, F., 1981. Ecología y Paisaje. Ed. Blume. Madrid.

González Bernáldez, F., Díaz-Pineda, F., 1973. Estudio temático ecológico de la subregión de Madrid. Informe para COPLACO. Ministerio de Vivienda. Madrid. 3 Vol. + 6 mapas.

González, J., Candás, M., 2004. Materia orgánica de suelos bajo encinas. Mineralización de carbono y nitrógeno. Invest. Agrar: Sist Recur For. Fuera de serie, 75–83.

González-Sánchez, E.J., Ordóñez-Fernández, R., Carbonell-Bojollo, R., Veroz-González, O., Gil-Ribes, J., 2012. Metaanalysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Catena*, 122, 52–60.

Gorezynski, W., 1920. Sur le calcul de degré de continentalisme et son application dans la Climatologie. *Ann de Geographie*, 1-79.

Grüneberg, E., Schöning, I., Kalko, E.K.V., Weisser, W.W., 2010. Regional organic carbon stock variability: A comparison between depth increments and soil horizons. *Geoderma*, 155, 426–433.

Guitian, F., Carballas, T., 1976. Técnicas de análisis de Suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela.

Guo, L.B., Gifford, R.M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis, *Glob. Change Biol.*, 8, 345–360.

Guzmán, J.R., 2004. Geografía de los paisajes de olivar andaluz. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla. 199 p.+CD-ROM.

Harris, R.F., Karlen, D.L., Mulla, D.J., 1996. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and soil health. En: Doran, J.W.,

and Jones, A.J. (ed.). Methods for assessing soil quality. Special Publication, 49, 61-82, Soil Science Society of America (SSSA). Madison, WI.

Henin, S.G., Monnier, G., Combeau, A., 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structural des sols. Annales Agronomie, 9, 73-92.

Hernanz, J.L., Sánchez-Girón, V., Navarrete, L., 2009. Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions. Agric. Ecosyst. Environ. 133, 114–122.

Higgins, G.M., Kassam, A.H., 1981. The FAO agroecological zone approach to determination of land potential. Pedology, XXXI, 2, 147-168.

Houghton, R.A., 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different?. Global Change Biology, 9, 500–509.

Hudson, N., 1982. Conservación del suelo. Ed. Reverté. Barcelona.

Hudson, N.W., 1961. An introduction to the mecanic of soil erodion under conditionsof subtropical rainfall. Rhod. Sci. Assoc. Proc., 49, 14-24.

Huguet del Villar, E., 1983. Geo-edafología. Universidad de Barcelona. Barcelona. [escrito en 1950].

Huguet del Villar, E., 1929. Geobotánica. Ed. Labor. Barcelona.

Huguet del Villar, E., 1931. El suelo. Ed. Salvat. Barcelona.

Huguet del Villar, E., 1938. Los suelos de la península Luso-ibérica. Madrid. Memoria y mapa a escala 1:1500000.

Ibarra, P., 1991. Naturaleza y hombre en el sur del Campo de Gibraltar. Un análisis paisajístico integrado. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

ICONA, 1982. Paisajes erosivos en el sureste español: ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación. Proyecto LUCDEME. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 67 p. + mapas.

ICONA, 1987. Mapas de los estados erosivos: Cuenca hidrográfica del Guadalquivir. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

ICONA, 1988. Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

IGME, 1971. Mapa Hidrogeológico Nacional y programa previo de investigación de aguas subterráneas. Programa Nacional de Investigación Minera. Memoria y 3 mapas.

IGME, 1988. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja 966. Montilla. Instituto Geológico y Minero de España. Servicio de Publicaciones. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.

IGN, 2001. Mapa Topográfico Nacional de España. Escala 1:25000. Hoja 966-1 (La Rambla).

IGN, 2001. Mapa Topográfico Nacional de España. Escala 1:25000. Hoja 966-2 (Montilla).

IGN, 2001. Mapa Topográfico Nacional de España. Escala 1:25000. Hoja 966-3 (Santaella).

IGN, 2001. Mapa Topográfico Nacional de España. Escala 1:25000. Hoja 966-4 (Aguilar de la Frontera)

IGN, 2001a. Mapa Topográfico Nacional de España. Instituto Geográfico Nacional. Escala 1:25000. Hoja 966-1 (La Rambla).

IGN, 2001b. Mapa Topográfico Nacional de España. Instituto Geográfico Nacional. Escala 1:25000. Hoja 966-2 (Montilla).

IGN, 2001c. Mapa Topográfico Nacional de España. Instituto Geográfico Nacional. Escala 1:25000. Hoja 966-3 (Santaella).

IGN, 2001d. Mapa Topográfico Nacional de España. Instituto Geográfico Nacional. Escala 1:25000. Hoja 966-4 (Aguilar de la Frontera).

IPCC, 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Cambridge University Press. Cambridge. New York, NY.

ITGE, 1995. Mapa Hidrogeológico de España. Escala 1:200000. Hoja 76 (Córdoba). Mapa básico y mapas auxiliares. Instituto Tecnológico y Geominero de España.

IUSS Working Group WRB, 2006. World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports, 103. FAO. Rome.

Jaimes, C., Edgar, J., 1988. Determinación de índices de homogeneidad múltiples globales en sistemas pedogenéticos de la Cordillera de la Costa,

Serranía de Litoral Central. Tesis de Doctorado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Caracas. Venezuela.

Jansen, J.M.L., Painter, R.B., 1974. Predicting sediment yield from climate and topography. *Journal of Hydrology*, 21-4, 371-380.

Jiménez, R., 1976. Formaciones edáficas sobre materiales carbonatados en clima mediterráneo de la provincia de Castellón de la Plana. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid.

Jobbágy, E.G., Jackson, R.B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.*, 10, 423–436.

Johnson, J.M., Franzluebbers, A.J., Lachnicht-Weyers, S., Reicosky, D.C., 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Envir. Poll.*, 150, 107–124.

Jones, C., 1997. Geographical information systems and computer cartography. Harlow. Longman.

Jongen, P., 1971. Methodologie et organisation des surveys dans les études de development. *Bulletin de Recherches Agronomiques de Gembloux*. Vol. Extraord., 43-68.

Jordán, A., Zavala, L.M., Gil, J., 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semiarid conditions. *Catena*, 81, 77–85.

Jovellar, L., 2008. Cartografía del hábitat potencial climático y edafoclimático de *Quercus suber* L. en el centro-oeste de España. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 25, 255-260.

Kim, M., Gilley, J.E., 2008. Artificial Neural Network estimation of soil erosion and nutrient concentrations in runoff from land application areas. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64, 268-275.

Kirkby, M.J., Morgan, R.C.P., 1984. Erosión de suelos. Ed. Limusa. México.

klingspiel, A.A., 1958. Soil survey interpretation: Capability groupings. *Soil Sci. Soc. Am. Jour.*, 22, 160-163.

klingspiel, A.A., Montgomery, P.H., 1961. Land Capability Classification. Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture. *Agricultural Handbook*, 210. Washington, DC.

Knisel, W.G. (Ed.), 1980. CREAMS: A field-scale model for chemical, runoff, and erosion from agricultural management systems. Conservation research report, 26. US Department of Agriculture. Washington D.C.

Kreznor, W.R., Olson, K.R., Johnson, D.L., 1992. Field evaluation of methods to estimate soil erosion. *Soil Science*, Vol. 153-1, 69-80.

Kubiena, W.L., 1952. Claves sistémicas de suelos. CSIC. Madrid.

Lal, R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil & Till. Res.*, 43, 81–107.

Lal, R., 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Env. Inter.*, 29. 437–450.

Lal, R., Delgado, J.A., Groffman, P.M., Millar, N., Dell, C., Rotz, A., 2011. Management to mitigate and adapt to climate change. *Soil & Water Cons.*, 66, 276–285.

Lal, R., Kimble, J., Stewart, B.A., 1995. World Soils as a or sink for radio-active gases, in: *Soil management and greenhouse effect*, edited by: Jorgensen, B.B., Lewis. London, 1–7.

Laurie, J.C., 1970. Objectives of landscape evaluation. Landscape Research Group. Conf. II. New York.

Laurie, M., 1976. *An Introduction to Landscape Architecture*. American Elsevier Publishing Company. Inc. New York.

Laws, J., 1940. Recent studies in raindrops and erosion. *Agr. Eng.*, 21, 431-433.

Le Bissonnais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., King, D., 2001. Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena*, 46, 207-220.

Le Houérou, H.N., 1971. Le rôle de l'écologie végétale dans les études de mise en valeur de la region mediterræenne. *Bulletin de Recherches Agronomiques de Gembloux*.

López-Senespleda, E., Bravo Oviedo, A., Mutke Regneri, S., Alonso Ponce, R., Sánchez-Palomares, O., Pardos Mínguez, M., Lexer, M.J., 2012. Parametrización autoecológica de especies forestales para la aplicación del modelo híbrido picus. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 35, 37-42.

Lorenz, K., Lal, R., 2005. The depth distribution of organic soil carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons, *Adv. Agron.*, 88, 35–66.

Lou, Y., Xu, M., Chen, X., He, X., Zhao, K., 2012. Stratification of soil organic C, N and C:N ratio as affected by conservation tillage in two maize fields of China. *Catena*, 95, 124–130.

Lozano-García, B., Jiménez, I., Parras, L., Corral, L., 2005. Diagnóstico ambiental del Parque Natural Sierra de Cardeña y Montoro. Servicio de publicaciones. Universidad de Córdoba.

Lozano-García, B., Parras, L., Gil, J., Corral, L., 2003. Capacidad de uso del suelo del sector oriental del Parque Natural de las Sierras de Cardeña y Montoro (Córdoba). *Edafología*, 10-1, 15-22.

Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L., 2013. Short-term effects of olive mill by-products on soil organic carbon, total N, C:N ratio and stratification ratios in a Mediterranean olive grove. *Agr., Ecos. & Env.*, 165, 68–73.

Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L., Del Toro, M., 2011. The effects of agricultural management with oil mill by-products on surface soil properties, runoff and soil losses in southern Spain. *Catena*, 85, 187–193.

Magaldi, D., 1980. The agroclimatic suitability assessment a simplified method. *Annali dell'Istituto Sperimentali per lo Studio e la Difesa del Suolo*, XI, 121-127.

MAGRAMA, 2005: Atlas y Manual de Interpretación de los Hábitat Españoles. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

MAGRAMA, 2005. Atlas y manual de interpretación de los hábitats españoles. Cartografía digital a escala 1:50000. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

MAPA, 1974. Caracterización de la capacidad agrológica de los suelos de España. Metodología y normas. Dirección General de Producción Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

MAPA, 1994. Métodos oficiales de análisis. Tomo III. Secretaría General de Alimentación. Dirección General de Política Alimentaria. Madrid.

Marín-Lafleche, A., 1972. Les classements de terrains. *Ann. Agr.*, 23 (I), 5-30.

Martín-Carrillo, M., 2008. Análisis, Diagnóstico y Evaluación de los usos del suelo en la Comarca de Montilla mediante SIG en el periodo 1956-2005. Trabajo para la obtención del DEA. Departamento de Química Agrícola y Edafología. Universidad de Córdoba.

Martín-Carrillo, M., 2009. Evolución del Paisaje Agrario de la Comarca de Montilla. Tesis de Licenciatura. Departamento de Química Agrícola y Edafología. Universidad de Córdoba.

Martínez Parras, J.M., Peinado, M., Alcaraz, F., 1986. Sobre la vegetación termófila de la cuenca mediterránea de Granada y sus área limítrofes. *Lazaroa*, 8, 251-268. Madrid.

McHarg, I.L., 1969. *Desing with nature*. Natural history press: Garden City. New York.

McCool, D.K., Wischmeier, W.H., Johnson L.C., 1982. Adapting the Universal Soil Loss Ecuation to the Pacific Northwest. *Transactions of the ASAE*, 25-4, 928-934.

McCornack, R.J., 1971. The Canada land use inventory: A basis use plannig. *J. Soil & Water Cons.*, 26,141-146.

McKenzie, N.J., Austin, M.P., 1993. A quantitative Australian approach to medium and small scale surveys based on soil stratigraphy and environmental correlation. *Geoderma* 57, 329–355.

McLauchlan, K.K., 2006. Effect of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamic after cessation of agriculture. *Geoderma*, 136, 289–299.

McRae, S.G., Burnham, C.P., 1981. *Land evaluation*. Claredon Press. Oxford.

Melero, S., López-Garrido, R., Murillo, J.M., Moreno, F., 2009. Conservation tillage: Short- and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities under Mediterranean conditions. *Soil & Till. Res.*, 104, 292–298.

Mezquita, F., Roca, J.R., Reed, J.M., Wansard, G., 2005. Quantifying species–environment relationships in non-marine Ostracoda for ecological and palaeoecological studies: Examples using Iberian data. *Palaeoeco.*, *Palaeoclim.* & *Palaeoeco.*, 225, 93-117.

Michel, P., Durand, J.H., 1978. La vallée alluvile du Senegal (Africa de L'ouest). Relations geomorphologie-sols-aptitudes culturales et leur cartographie au 1:50000. *Catena*, 5, 213-225.

Miller, A.J., Amundson, R., Burke, I.C., Yonker, C., 2004. The effect of climate and cultivation on soil organic C and N. *Biogeochem.*, 67, 57–72

Miller, M.F., 1917. <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18093>

Miller, M.F., 1929. Ten years of soil erosion measurements. Rept. Of Ninth Annual Meeting, Amer. Soil Survey Assoc., 29-34.

Miller, M.F., Krusekopf, H.H., 1932. The influence of systems of cropping and methods of culture on surface runoff and soil erosion. *Mo. Agric. Expt. Sta. Research Bui.*, 177.

Millette, G.J.F., Searl, W.E., 1969. Indices de capacite agricole pour les sols des rapports pedologiques de l'es du Canada. *Agriculture*, XXVI-3.

Mitscherlich, E.A., 1909. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages. *Landwirsch. Jahrb*, 38, 537-552.

MMA, 2008. Inventario nacional de erosión de suelos 2002-2012. Comunidad Autónoma de Andalucía. Córdoba. 2006. Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Memoria, mapas a escala 1:250000 + CD-ROM.

Monturiol, F., Alcalá, L. Badorrey, T., Carlevaris, J.J., De la Horra, J.L., 1979. Cartografía edafológica y capacidad de uso de los suelos de provincia de Santander. CSIC. Diputación de Santander. Universidad de Santander.

Moreira, J.M. (Dir. y Coord.), 1995. Reconocimiento biofísico de los Espacios Naturales Protegidos. Parque Natural Sierra de Hornachuelos. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.

Moreira, J.M. (Dir. y Coord.), 2000. Reconocimiento biofísico de los Espacios Naturales Protegidos. Parque Natural Sierras Subbéticas. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.

Moreira, J.M., 1994. Nuevas Tecnologías en el análisis y gestión del medio natural. El Sistema de información ambiental de Andalucía. Sinamba. Jornadas Técnicas sobre SIG. y Teledetección aplicados a la ordenación del territorio y el medio ambiente. 21-24 Noviembre. Victoria Gasteiz.

Moreira, J.M., 1991. Capacidad de uso y erosión de suelos. Una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.

Moreira, J.M., 1986. Degradación, susceptibilidad y tolerancia a la erosión de los suelos de Andalucía. *Revista de Estudios Andaluces*, 6, 45-64.

Moreno Jiménez, A. (coord.), Cañada, R., Cervera, B., Fernández, F., Gómez, N., Martínez, P., Prieto, M.E., Rodríguez, J.A., Vidal, M.J. 2007. *Sistemas y análisis de Información Geográfica*. 2ª Edición. Ed. RA-MA. Madrid.

Morgan, K.M., Nalepa, R., 1982. Application of aerial photographic and computer analysis to the USLE for area wide erosion studies. *J. Soil & Water Cons.*, 37-6, 347-350.

Morgan, R.C.P., 1997. *Erosión y conservación del suelo*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Morgan, R.C.P., 2001. A simple approach to soil loss prediction: a revised Morgan-Morgan-Finney model. *Catena*, 44, 305-322.

Morgan, R.C.P., Morgan, D.D.V., Finney, H.J., 1984. A predictive model for the assesment of soil erosion risk. *Jour. of Agr. Engin. Res.*, 30-3, 245-253.

Morgan, R.C.P., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E., 1998. The European soil erosion model (EUROSEM): a process-based approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *E. Surf. Proc. & Land.*, 23, 527-544.

Morgan, R.P.C., 1997. *Erosión y conservación del suelo*. Ediciones Mundiprensa. Madrid.

Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Cnisci, G., Torri, D. 1998. The EUROSEM model, in Boardman, J.B. and Favis-Mortlock, D. (Eds.) *Global Change: modelling soil erosion by water*, NATO ASI series. Series 1: Global environmental change. Springer Verlag. London. 373-382.

Moscatelli, M.C., Di Tizio, A., Marinari, S., Grego, S., 2007. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems. *Soil & Till. Res.*, 97, 51-59.

Moss, R.P., 1969. The appraisal of land resources in tropical Africa. A critique of some concepts. *Pacific Viewpoint*, 10, 18-27.

Munsell Colour Company, Inc., 1994. *Soil Colour Charts*. New York. Maryland.

Muñoz-Rojas, M., Jordán, A., Zavala, L.M., De la Rosa, D., Abd-Elmabod, S.K., Anaya-Romero, M., 2012b. Organic carbon stocks in Mediterranean soil types under different land uses (Southern Spain). *Solid Earth*, 3, 375–386. doi:10.5194/se-3-375-2012.

Muñoz-Rojas, M., Jordán, A., Zavala, L.M., De la Rosa, D., AbdElmabod, S.K., Anaya-Romero, M., 2012a. Impact of land use and land cover changes on organic carbon stocks in Mediterranean soils (1956–2007). *Land Degrad. Dev.*, 26-2, 168-179. doi:10.1002/ldr.2194. NUMERO

Musgrave, G. W., 1947. Quantitative evaluation of factors in water erosion: A first approximation. *J. of Soil & Water Cons.*, 2-3, 133-138.

Nair, P.K., Kumar, B. y Nair, D., 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. of Soil Sci. & Plant Nutr.*, 172, 10–23.

Navas, A., Alberto, F., Machín, J., Galán, A., 1990. Desing and operation of a rainfall simulator for field studies of runoff and soil erosion. *Soil Tech.*, 3. 385-397.

Novara, A., Gristina, L., Saladino, S.S., Santoro, A., Cerdá, A., 2011. Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil & Till. Res.*, 117, 140–147.

Novara, A., La Mantia, T., Barbera, V., Gristina, L., 2012. Paired-site approach for studying soil organic carbon dynamics in a Mediterranean semiarid environment. *Catena*, 89, 1–7.

Núñez, M.A., 1998. El Medio Físico del Parque Natural de la Sierra de Arcena-Picos de Aroche y su entorno. Palealteraciones, edafogénesis actual y Unidades Ambientales. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular*.

Onstad, C.A., Larson, C.L., Hermsmeier, L.F., Young, R., 1967. A method of computing soil movement throughout a field. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs.*, 10, 742-745.

Oñate, J.J., Peco, B., 2005. Policy impact on desertification: stakeholder's perceptions in southern Spain. *Land Use Pol.*, 22, 103-114.

Ortiz, R., 1990. Mecanismos y procesos de degradación del suelo con especial referencia a las condiciones ambientales mediterráneas. En Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas. CSIC. Madrid.

Ouédraogo, E., Mando, A., Stroosnijder, L., 2006. Effects of tillage, organic resources and nitrogen fertilizer on soil carbon dynamics and crop nitrogen uptake in semi-arid West Africa. *Soil & Till. Res.*, 91, 57–67.

Padilla, F.M., Vidal, B., Sánchez, J., Pugnaire, F.I., 2010. Land-use changes and carbon sequestration through the twentieth century in a Mediterranean mountain ecosystem: implications for land management. *J. Environ. Manag.*, 91, 2688–2695.

Paneque, G., Paneque, P., Rodríguez, M., Moreira, J.M., 2005. Memoria del mapa de suelos 1:400000. Atlas de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Sevilla.

Parras, L., Gil, J., Corral, L., 2000. Diseño y caracterización de unidades ambientales a pequeña escala (1:10000). Una aplicación a la Ordenación territorial al Parque Natural de Despeñaperros (Jaén). *Edafología*, 7-3, 121-127.

Parras, L., Gil, J., Corral, L., 2003. Ordenación territorial del Parque Natural de Despeñaperros. (Jaén). Criterios Metodológicos. Instituto de Estudios Giennenses. Diputación Provincial de Jaén.

Parras-Alcántara, L., Martín-Carrillo, M., Lozano-García, B. 2013. Impacts of land use change in soil carbon and nitrogen in a Mediterranean agricultural area (Southern Spain). *Solid Earth*, 4, 167-177.

Peinado, M., Martínez Parras, J.M., 1984 Sobre la clase Pegano-Salsoletea. *Helichryso-Santolinetalia* ord. Nov. *An. Jardín Bot. de Madrid*, 40-2, 437-444.

Perelman, R., 1977. Le paysage dans l'aménagement du territoire. *Seminaire de Travail. Document*, 1. Comité MAB. Túnez.

Pinta, M., 1971. *Espectrometrie d'absorción atomique*. Ed. Masson. París.
Poesen, J., Van Wesemael, B., Govers G., Martínez-Fernández, J., Desmet, P., Vandaele, K., Quine, T., Degraer, G., 1997. Patterns of rock fragment cover generated by tillage erosion. *Geomorphology*, 18, 183-197.

Pons, V., Sánchez, J., Antolín, C., 1980. Estudio edafológico y de capacidad de uso del municipio de Denia (Alicante). XIV Congreso Internacional de la Sociedad Farmacéutica del Mediterráneo Latino. Valencia. 403-408.

Porta, J., 1986. Técnicas y experimentos en Edafología. Ed. Col·legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. Barcelona.

Porta, J., Villanueva, D., 2012. Formación de neologismos en Ciencia del Suelo. Span. J. of Soil Sci., 2-2, 90-103.

Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C., 1999. Usos y aplicaciones de los mapas de suelos en Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Mundi-Prensa. Madrid. 563-599.

Powlson, D.S., Whitmore, A.P., Goulding, K.W.T., 2011. Soil C sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. Eur. Jour. Soil Sci., 62, 42–55.

Pribyl, D.W., 2010. A critical review of the conventional SOC to OM conversion factor. Geoderma, 156, 75-83.

Puget, P., Lal, R., 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use, Soil & Till. Res., 80, 201–213.

Pushkarov Institute, 1970. Methods of Introducing Land Evaluation in Bulgaria. Academy of Agricultural Sciences. Ministry of Agriculture. Sofía.

Renard, K.G., Simanton, J.R., Osborn, H.B., 1974. Aplicability of the universal soil loss equation to semiarid rangeland conditions in the Southwest. Hidrology and Water Resources in Arizona Southwest. American Water Resources Association. Arizona Academy of Science. Hidrology Section. Proceedings of April 19-20 Meeting Flagstaff. Arizona. 4, 18-31.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conserving planing with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook, 703. USDA-ARS.

Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. Physisc, 1, 318-333.

Richards, L.A. (Ed.), 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook, 60. USDA.

Riquier, J., 1974. A summary of parametric methods of soil and land evaluation. In: Approaches to land classification, Soils Bulletin, 22. The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.

Riquier, J., Schwaar, D.C., 1972. Parametric Approach to Soil and Land Capability Classifications. Proceedings Second ASEAN Soil Conference. Djakarta. Indonesia.

Riquier, J., Bramao, D.L., Cornet, J.P., 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. Soil Resources. Development and Conservation Service. FAO. Roma.

Rivas Goday, S., Borja, J., Esteve, F., Galiano, E.F., Rogual, A y Rivas-Martínez, S., 1960. Contribución al estudio de la Quercetea ilicis hispanica. Anales del Instituto Botánico A. J. Cabanilles, 17-2, 285-423. Madrid.

Rivas-Martínez, S., 1964. Paeonio-Quercetium rotundifoliae. Anales del Instituto Botánico A. J. Cabanilles, 22. Real Jardín Botánico de Madrid. Madrid

Rivas-Martínez, S., 1987. Mapas y memoria de las series de vegetación de España. Escala 1:400000. Instituto de Conservación de la Naturaleza. Madrid.

Rivas-Martínez, S., Costa, M., Catroviejo, S., Valdés, E., 1980. Vegetación de Doñana. (Huelva, España). Lazaroa, 2, 5-190. Madrid.

Rodríguez, J.A., López, G., 2000. Planificación de recursos para la modernización de los sistemas arroceros mediante el empleo de modelos de simulación y SIG. Agr. Prot. Veg., 15, 181-194.

Rodríguez-Murillo, J.C., 2001. Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. Biol. Fertil. Soils, 33, 53–61.

Rossiter, D.G., 1990. ALES: A Framework for Land Evaluation Using a Microcomputer. Soil Use & Manag,6, 7-20.

Roth, C.H., Meyer, B., Frede, H.G., 1985. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. Catena, 12, 79-85.

Rothmaler, W., 1943. Promontorium sacrum. Vegetations studien in südwestlichen Portugal. Repert. Spec. Nov. Regni Veg. Beih, 128, 1-96.

Rouiller, J., Jeanroy, E., 1971. Résumé de quelques techniques de Pédologie Generale. Centre de pédologie Biologique. CNRS. Nancy.

Rudeforth, C.C., 1975. Storing and processing data for soil and land use capability surveys. J. of Soil Scie., 26, 155-168.

Ruiz, J.D., Pariente, S., Romero, A., Martínez, J.F., 2012. Variability of relationships between soil organic carbon and some soil properties in Mediterranean rangelands under different climatic conditions (South of Spain). *Catena*, 94, 17–25.

Rushton, P.L., 1975. The Agricultural land evaluation of England and Wales. *ADAS Q. Review*, 16, 125-130.

Sá, J.C.M., Lal, R., 2009. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. *Soil & Till. Res.*, 103, 46–56.

Sá, J.C.M., Cerri, C.C., Dick, W.A., Lal, R., Venske-Filho, S.P., Piccolo, M.C., Feigl, B.E., 2001. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, 1486–1499.

Sáiz de Omeñaca, J., 1979. Desarrollo de un esquema para la utilización de los datos geológicos en la planificación territorial de zonas montañosas. Aplicación a la hoja 1:50000 de Tudanca (Santander). Memoria de licenciatura (inédita). Facultad de Ciencias. Universidad de Oviedo.

Sakin, E., Deliboran, A., Sakin, E.D., Tutar, E., 2010. Organic and inorganic carbon stock and balance of Adana city soils in Turkey. *African J. Agric. Res.*, 5, 2737–2743.

Samir, H.K., 1986. A statistical approach in the use of parametric system applied to the FAO framework for land evaluation. Unpublished Ph. D. dissertation. Ghent University. Belgium.

Sampson, A.W., Weyl, L.H., 1918. Range preservation and its relation to erosion control on western grazing lands. *US Dept. Agr. Bui.*, 675.

Sánchez Marañón, M., 1990. Cartografía y evaluación de los suelos de las Sierras Subbéticas en la provincia de Córdoba. Instituto Andaluz de Reforma Agraria. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.

Sánchez-Palomares, O., Sánchez Serrano, F., Carretero M.P., 1999. Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termopluviométricas para la España peninsular. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Sánchez, J, Rubio, J., Martínez, Antolín, C. 1984. Metodología de la capacidad de uso de los suelos para la cuenca Mediterránea. Actas I Congreso nacional de la Ciencia del Suelo, II, 834-848. Madrid.

Sánchez, J., 1975. Características y distribución de los suelos de la isla de Gran Canaria. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de La Laguna.

Sánchez, J., 1995. Cartografía del Potencial del Medio Natural de Gran Canaria. Cabildo Insular de Gran Canaria. Universitat de València (Estudios Generales), Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

Sánchez, J., Guerra, A., Fernández, E., 1979. Las Clases y Subclases de Capacidad de Uso de los suelos de Gran Canaria. An. de Edaf.y Agrob., XXXVIII (7-8), 1165-1176.

Sancho, C., Benito, G., Gutiérrez, M. 1991. Agujas de erosión y perfiladores microtopográficos. Cuadernos Técnicos de la SEG., 2.

Sanroque, P., 1988. Estudio de la erosionabilidad del suelo de las comarcas septentrionales de la provincia de Valencia. (Camp de Morvedre, Camp de Turia, Los Serranos y Rincón de Ademuz). Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Valencia.

Searl, W.E., 1968. Soil productivity ratings and capability classification. Valuation Division. Ministry of Finance. Trinidad and Tobago.

SGE, 1997a. Cartografía Militar del Ejército. Servicio Geográfico del Ejército Serie L. Escala 1:50000. Hoja 966 (Montilla).

SGE, 1997b. Cartografía Militar del Ejército. Servicio Geográfico del Ejército Serie L. Escala 1:50000. Hoja 967 (Baena).

SGE, 1997c. Cartografía Militar del Ejército. Servicio Geográfico del Ejército Serie L. Escala 1:50000. Hoja 988 (Puente Genil).

Shrestha, B.M., Sitaula, B.K., Singh, B.R., Bajracharya, R.M., 2004. Soil organic carbon stocks in soil aggregates under different land use systems in Nepal. Nutr. Cycl. Agroecosys. 70, 201–213.

Shtechelmacher, S., 1966. Land use and crop adaptation survey. Soil Conservation Departament. Israel. En Conservación de suelos. Ed. Hudson, Barcelona.

Silva, O., Puche, M., 2001. Uso de modelos de simulación para evaluar sistemas agrícolas de subsistencia en tierras de ladera. II International Symposium Modelling Cropping Systems. Florencia, Italia.

Sims, J.R., Haby, V., 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Sci.*, 112, 137-141.

Smith, D., 1941. Interpretation of soil conservation data for field use. *Agricultural Engineering*.

Smith, D.F., Whitt, D.M., 1948. Evaluating soil losses from fields areas. *Agri. Engin.*, 29, 394-396.

Smith, P., 2004. C sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *Europ. J. Agron.*, 20, 229–236.

Smith, P., 2008. Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosys.*, 81, 169–178.

Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U., Fullon, P., Coleman, K., 2000. Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential for carbon mitigation by agriculture. *Glob. Change Biol.*, 6, 525–539.

Smith, R.E., Goodrich, D.C., Quinton, J.N., 1995. Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: The KINEROS and EUROSEM models. *J. of Soil & Water Cons.*, 50-5, 517-520.

Sombrero, A., De Benito, A., 2010. Carbon accumulation in soil. Tenyear study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. *Soil & Till. Res.*, 107, 64–70.

SPSS Inc., 2004. SPSS for Windows, version 13.0. Chicago. SPSS Inc.

Steinitz, C., Sinton, D., 1975. Program IMGRID. Graduate School of Desing. Havard University. Cambridge. Massachusetts.

Stewart, G., Forsling, C.L., 1931. Surface runoff and erosion in relation to soil and plant cover on high grazing lands of central Utah. *J. Am. Soc. of Agron.*, 23, 815-832.

Stewart, G.A., Perry, S.A., 1953. Survey of the Townsville-Bowen region. Land Research Series, 2. SCIRO. Australia.

Storie, R.E., 1937. An Index for Rating the Agricultural Value of Soils. University of California. Agricultural Experimental Station Bulletin, 556. Berkeley.

Sutherland, R.A., Jong, E., 1990. Quantification of soil redistribution in cultivated fields using cesium-137, Outlook, Saskatchewan. Soil erosion. Ed. Brian, R.B. Experiment and models. Catena Supplement 17, 177-193.

Sutherland, R.A., Kowalchuk, T., Jong, E., 1991. Cesium-137 estimates of sediment redistribution by wind. Soil Science, 151-5, 387-396.

Sys, C., Verheye, W., 1972. Principles of Land Classification in Arid and Semiarid Regions. State University. Ghent. Belgium.

Tang, H., Van Ranst, E., Sys, C., 1992. An Approach to Predict Land Production Potential for Irrigated and Rainfed Winter Wheat in Pinan County, China. Soil Technology, 5, 213-224.

Tchou, Y.T., 1948. Etudes écologiques et phytosociologiques sur les forêts du Bas-Languedoc. Vegetatio, 1 (1):1-28; (2-3): 93-128; (4-5): 217-257; (6): 347-383.

Teaci, D., 1964. Ecological Criteria for Technical and Economic Grading of Agricultural Land. VIII International Congress of Soil Science. Bucharest. Romania.

Teaci, D., 1970. Bonitarea terenurilor agricole. Editura Ceres. Bucarest. Romania.

Thomas, M.F., 1969. Geomorphology and land classification in Tropical Africa. In Gerrad, A.J. (Ed.). Soil and Landforms.

Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38, 55-94.

Tricart, J., 1979. Le sols dans l'environnement écologique. Revue de Geomorphologie Dynamique, XXVII.

Tricart, J., Killian, J., 1982. La eco-geografía y la Ordenación del Medio Natural. Ed. Anagrama. Barcelona.

USDA, 1979. Field manual for research in agricultural hidrology. Agriculture Handbook, 224. Washington D.C.

USDA, 2004. Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigation report, 42. Version 4.0. USDA-NCRS. Lincoln. NE.

Vallejo, R., Díaz Fierro, F., De la Rosa, D., 2003. Impactos sobre los recursos edáficos. En: Impactos del cambio climático en España. MMA. Madrid.

Van Bemmelen, J.M., 1890. Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloidalen silikaten gebundenen kieselsäure, des Mangans u.s.w. im Ackerbodern. Die Landwirthschaftlichen Versuchs-Stationen 37, 279-290.

Van Doren, C.A., Bartelli, L.J., 1956. A method of forecasting soil loss. Agricultural Engineering.

Van Hemelrick, H., Govers, G., Van Oost, K., Merckx, R., 2011. Evaluating the impact of soil redistribution on the in situ mineralization of soil organic carbon. Earth Surface Processes and Landforms, 36-4, 427-438.

Van Oost, K., Govers, G., Quine, T.A., Heckrath, G., Olesen, J.E., De Gryze, S., Merckx, R., 2005. Landscape-scale modeling of carbon cycling under the impact of soil redistribution: the role of tillage erosion. Global Biogeochem. Cy., 19. GB4014, doi:10.1029/2005GB002471.

Van Ranst, E., Tang, H., Groenemans, R., Sinthurahat, S., 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. Geoderma, 70, 1-19.

Van Zuidam, R.A., 1976. Geomorphological development of the Zaragoza Region, Spain. Processes and land forms related to climatic changers in a large Mediterranean river basin. ITC. Enschede. Holand.

Van Zuidam, R.A., Cancelado, F., 1977. Terrain analysis and classification using aerial photographie. A geomorphological approach. ITC Textbook of photointerpretation. Vol. III. Netherlands.

VandenBygaart, A.J., 2006. Monitoring soil organic carbon stock changes in agricultural landscapes: issues and a proposed approach, Can. J. of Soil Sci., 86, 451–463.

Velázquez, J., Ochoa, G., Oballos, J., Manrique, J., Santiago, J., 2014. Metodología para la delimitación cartográfica de suelos. Revista Forestal Latinoamericana, 36, 15-34.

Verheye, W.H., 1991. Aspects of land assessment for rural land use planning in industrialized countries with particular emphasis to the European Communities. *Cuaderni di Scienza del suolo*, 3, 5-16.

Vink, P.A., Van Zuilen, E.J., 1974. The suitability of the soil of the Netherlands for arable land and grassland. *Soil Survey Papers*. S. Wageningen.

Walkley, A., Black, T.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science* 37, 29-38.

Wang, W.J., Dalal, R.C., 2006. Carbon inventory for a cereal cropping system under contrasting tillage. Nitrogen fertilisation and stubble management practices. *Soil & Till. Res.*, 91, 68–74.

Watson, F., Rahman, J., Seaton, S., 2001. Deploying environmental software using the Tarsier modelling framework. In: *Proceedings of the third Australian stream management conference*, August 27-29, 631-638.

Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindramath, N.H., Verardo, D.J., Dokken, D.J., 2000. *Land-use, Land-use change, and Forestry (A Special Report of the IPCC)*. Cambridge University Press. Cambridge.

West, T.O., Post, W.M., 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66, 1930–1946.

Williams, J.R., 1983. The physical components of the EPIC model. En *Soil erosion and conservation*. Ed. El-Swaify S.A., Moldenhauer, W.C., Andrew, L.O. Soil Conservation Society of America. Iowa. 272-284.

Williams, J.R., Jones, C.A., Dyke, P.T., 1984. A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Transactions of the ASAE*, 27, 129-144.

Williams, J.R., Nicks, A.D., Arnold, J.G., 1985. SWRRB, a simulator for water resources in rural basins. 1. *Hydraulic Eng.*, 111, 970-986.

Williams, J.R., Renard, K.G., Dyke, P.T., 1983. EPIC- A method for assessing erosion's effect on soil productivity. *J. of Soil & Water Conser.*, 38-5, 381-383.

Williams, J.R., Sharpley, A.N., Taylor, D., 1990. Assessing the impact of erosion on soil productivity using the EPIC model. En: *Soil erosion on agricultural land*. Boardman, J., Foster, I.D.L., Dearing, J.A. (Ed.). John Wiley&Sons.

Willians, J.R., Berndt, H.D., 1976. Sediment yield prediction. Based on Watershed Hidrology. Artículo inédito. 76-2535. American Society Agricultural Engineers. St. Joseph-Michigan.

Willians, J.R., Berndt, H.D., 1977. Sediment yield predicction based on watershed Hydrology. Transactions of the ASAE, 20-6, 1100-1104.

Willians. J.R., 1975. Sediment yield prediction with universal equation using runnof energy factor. Agricultural Research Service. USDA. ARS-S-40.

Wischmeier, W.H., 1959. A rainfall erosion index for a Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society of America Proceedings, 23, 246-249.

Wischmeier, W.H., Mannering, J.V., 1969. Relation of Soil Properties to its Erodibility. Soil Science Society of America Proceedings, 33, 131-137.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. 1962. Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning. Int. Ass. Sci. Hidr. Comm. Land Ero., 59, 148-159.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation. ARS. USDA. Agriculture Handbook, 282. Washington.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook, 537. United States Departament of Agriculture. Washington, DC.

Woolhiser, D.A., Smith, R.E., Goodrich, D.C., 1990. KINEROS, A kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. USDA-Agricultural Reserach Service, ARS, 77.

Wright, A.L., Hons, F.M., Lemon, R.G., McFarland, M.L., Nichols, R.L., 2007. Stratification of nutrients in soil for different tillage regimes and cotton rotations. Soil & Till. Res., 96, 19–27.

Wright, L.E., 1984. Agricultural land evaluation and site assessment (LESA): A new agricultural Land protection tool in the United States of America. Soil Sur. & Land Eval., 7. 13-24.

Wright, L.E., Zitzman, W., Young, K., Googins, R., 1983. LESA: agricultural land evaluation and site assessment. J. of Soil & Water Cons., 38, 82-86.

Xu, M., Lou, Y., Sun, X., Wang, W., Baniyamuddin, M., Zhao, K., 2011. Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation. *Biol. Fert. Soils*, 47, 745–752.

Yamashita, T., Feiner, H., Bettina, J., Helfrich, M., Ludwig, B., 2006. Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: effect of land use. *Soil Biol. Biochem.*, 38, 3222–3234.

Young, R.A., Onstad, C.A., Bosh, D.D., Anderson W.P., 1989. AGNPS: a nonpoint source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *Journal of soil and water conservation*, 44, 169-173.

Zdruli, P., Kapur, S., Çelik, I., 2011. Soils of the Mediterranean Region. Their characteristics, management and sustainable use, en: *Sustainable land management learning from the past for the future*, Ed: Kapur, S., Eswaran, H., Blum, W. E. H. Springer-Verlag. Berlin.

Zhang, T., Wang, Y., Wang, X., Wang, Q., Han, J., 2009. Organic carbon and nitrogen stocks in reed meadow soils converted to alfalfa fields. *Soil & Till. Res.*, 105, 143–148.

Zingg, A.W., 1940. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agr. Eng.*, 21, 59-64.

Zonneveld, I.S., 1972. Land evaluation and landscape Science. *ITC Textbook of Photointerpretation*, 7-4.

7. Anexos.

ANEXO I: PERFILES DE SUELOS.

ANEXO II: CARTOGRAFÍA DE CAPACIDAD DE USO.

ANEXO I: PERFILES DE SUELOS.

PERFIL N° 01: Calcisol háplico. _____	II
PERFIL N° 02: Calcisol háplico. _____	IV
PERFIL N° 03: Calcisol háplico. _____	VI
PERFIL N° 04: Leptosol cálcico. _____	VIII
PERFIL N° 05: Calcisol háplico. _____	X
PERFIL N° 06: Vertisol crómico cálcico. _____	XII
PERFIL N° 07: Regosol calcárico. _____	XIV
PERFIL N° 08: Regosol calcárico. _____	XVI
PERFIL N° 09: Calcisol háplico. _____	XVIII
PERFIL N° 10: Calcisol háplico. _____	XX
PERFIL N° 11: Leptosol cálcico. _____	XXII
PERFIL N° 12: Regosol calcárico. _____	XXIV
PERFIL N° 13: Luvisol hipercálcico. _____	XXVI
PERFIL N° 14: Cambisol calcárico. _____	XXVIII
PERFIL N° 15: Calcisol háplico. _____	XXX
PERFIL N° 16: Regosol calcárico. _____	XXXII
PERFIL N° 17: Calcisol léptico. _____	XXXIV
PERFIL N° 18: Calcisol háplico. _____	XXXVI
PERFIL N° 19: Regosol calcárico. _____	XXXVIII
PERFIL N° 20: Fluvisol calcárico. _____	XL
PERFIL N° 21: Luvisol crómico. _____	XLII
PERFIL N° 22: Regosol calcárico. _____	XLIV
PERFIL N° 23: Leptosol eútrico. _____	XLVI
PERFIL N° 24: Regosol calcárico. _____	XLVIII

PERFIL N° 1

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: El Cincho.

Coordenadas UTM (ED50)30S: X= 268905 Y= 4130467.

Altitud: 107 msnm.

Posición fisiográfica: Cresta.

Topografía circundante: Acolinado.

Pendiente: 3-8%.

Uso del suelo o vegetación: Herbáceos en seco.

Litología, periodo geológico: Calizas. Terciario.

Drenaje: Moderadamente buen drenaje.

Pedregosidad: Nula.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Moderada.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Calcisol háplico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color (2.5Y3/2) pardo grisáceo muy oscuro en húmedo y (2.5Y5/2) pardo grisáceo en seco. Textura franco arenosa. Estructura migajosa gruesa fuertemente desarrollada. Muy plástico, muy adherente, firme y duro. No cementado. Pedregosidad inexistente. Frecuentes poros medios. Frecuentes raíces finas. Reacción calcárea ligera. Nódulos calizos escasos. Sin revestimientos. Límite gradual ondulado.
Ck	20→	Color (2.5Y5/2) pardo grisáceo en húmedo y (2.5Y3/2) pardo grisáceo muy oscuro en seco. Textura franca. Estructura subpoliédrica o subangular gruesa débilmente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, firme y ligeramente duro. No cementado. Pedregosidad frecuente, gruesa y de naturaleza caliza. Abundantes poros medios. Raíces finas escasas. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos frecuentes. Revestimientos inexistentes.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D. Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor (%)	Micropor (%)
Ap (0-20)	4.38	30.07	40.68	24.18	5.07	1.55	11.12	26.88
Ck (20→)	45.51	33.13	11.89	44.64	10.34	1.44	17.43	24.97

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-20)	17.34	6.79	37.10	5.55	10.55	32.72
Ck (20→)	23.64	9.36	42.89	2.56	14.28	164.54

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-20)	7.70	6.90	0.72	0.07	10.29	1.24
Ck (20→)	7.30	7.10	1.23	0.12	10.25	2.12

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq/100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-20)	23.17	27.20	0.47	0.73	1.13	34.13	86.50	29.53
Ck (20→)	41.83	18.98	1.18	0.04	0.87	24.54	85.90	21.07

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-20)	0.48	2.67	2.15
Ck (20→)	0.55	1.00	0.17

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-20)	0.0012	0.6591	0.4618	6.9431	0.1506	0.0750	0.0100	0.0010	0.0010
Ck (20→)	0.0003	0.4907	0.5904	5.8380	0.1882	0.0500	0.0140	0.0010	0.0010

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Gilena.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=330835 Y=4122913.

Altitud: 455 msnm.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Llano.

Pendiente: 3-8%.

Uso del suelo o vegetación: Olivar en secano.

Litología, periodo geológico: Areniscas calcáreas. Terciario.

Drenaje: Moderadamente buen drenaje.

Pedregosidad: Escasas (0-10%).

Afloramientos rocosos: Inexistente.

Erosión: Ligera.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Calcisol háplico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color (7.5YR3/3) pardo oscuro en húmedo y (10YR5/3) pardo en seco. Textura franco limosa. Estructura granular media moderadamente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, friable y duro. No cementado. Pedregosidad frecuente, de naturaleza caliza y tamaño medio. Porosidad abundante de tamaño fino. Sin raíces. Efervescencia fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite gradual plano.
Ck	25-60	Color (10YR3/4) pardo amarillento oscuro en húmedo y (10YR5/3) pardo en seco. Textura franco arenosa. Estructura subpoliédrica o subangular. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, friable y duro. No cementado. Pedregosidad inexistente. Escasa porosidad de tamaño fino. Sin raíces. Nódulos calizos abundantes. Revestimientos inexistentes.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D. Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-25)	33.00	10.44	11.50	58.74	19.32	1.25	30.09	21.67
Ck ((25-60))	36.90	26.37	29.98	36.40	7.25	1.49	17.94	25.84

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-25)	28.93	11.84	47.92	1.22	17.09	53.40
Ck ((25-60))	20.97	8.12	39.92	3.86	12.85	47.86

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-25)	6.80	6.40	2.35	0.21	11.19	4.04
Ck ((25-60))	7.00	6.70	1.02	0.10	10.20	1.75

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq/100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-25)	0.00	27.82	1.09	0.38	0.97	35.08	86.30	30.261
Ck ((25-60))	10.87	23.01	1.20	2.53	1.24	27.98	100.00	27.980

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-25)	0.345	1.76	1.09
Ck ((25-60))	5.745	8.00	9.06

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-25)	0.0152	0.4259	0.1458	9.1808	0.1475	0.0420	0.0160	0.0020	0.0050
Ck ((25-60))	0.0106	0.2728	0.6394	9.7902	0.1769	0.0610	0.0060	0.0000	0.0010

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Cerro Calamorro (Osuna).

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X= 319949 Y= 4127504.

Altitud: 297 msnm.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Alomado u ondulado.

Pendiente: 21-31%

Uso del suelo o vegetación: herbáceos en secano.

Litología, periodo geológico: Margas. Terciario.

Drenaje: Buen drenaje.

Pedregosidad: Nula.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Ligera.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Calcisol háplico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color (10YR4/3) pardo a pardo oscuro muy oscuro en húmedo y (10Y6/2) gris pardusco claro en seco. Textura franco arenosa. Estructura migajosa gruesa débilmente desarrollada. No plástico, no adherente, friable y blando. No cementado. Pedregosidad escasa, de naturaleza caliza y tamaño medio. Escasos poros medios. Escasas raíces medias. Reacción calcárea fuerte. Nódulos inexistentes. Sin revestimientos. Límite neto plano.
Ck	20→	Color (10YR4/4) pardo amarillento oscuro en húmedo y (10YR6/3) pardo pálido en seco. Textura franco arenosa. Estructura subpoliédrica o subangular media débilmente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, friable y blando. No cementado. Pedregosidad escasa, media y de naturaleza caliza. Porosidad inexistente. Sin raíces. Efervescencia fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-20)	1.50	33.43	19.80	42.29	4.48	1.49	14.56	25.84
Ck (20→)	2.40	33.49	20.36	40.50	5.65	1.51	13.42	26.18

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-20)	21.84	7.38	36.30	4.98	14.46	43.08
Ck (20→)	21.71	7.73	38.28	4.64	13.98	211.16

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-20)	7.20	6.90	1.03	0.10	10.30	1.78
Ck (20→)	7.60	7.00	0.87	0.09	9.67	1.50

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-20)	60.00	19.88	0.86	1.28	0.79	22.81	100.00	22.81
Ck (20→)	15.42	22.13	0.85	2.40	0.47	25.85	100.00	25.85

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-20)	0.453	5.07	5.61
Ck (20→)	0.499	7.99	9.28

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-20)	0.0090	0.4407	0.3868	6.1439	0.1625	0.0280	0.0150	0.0010	0.0010
Ck (20→)	0.0077	0.2758	1.6376	8.4915	0.1409	0.0850	0.0070	0.0010	0.0010

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Sierra Becerrero.

Coordenadas UTM (ED50) 30s: X=333881 Y=4126579.

Altitud: 763 msnm.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Abrupto.

Pendiente: 16-21%.

Uso del suelo o vegetación: Monte bajo.

Litología, periodo geológico: Calizas. Jurásico.

Drenaje: Buen drenaje.

Pedregosidad: Abundante. Medias y gruesas.

Afloramientos rocosos: Muy abundante.

Erosión: Fuerte.

Clasificación: Leptosol cálcárico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-10	Color (7.5YR3/2) pardo oscuro en húmedo y (7.5YR3/4) pardo oscuro en seco. Textura franco limosa. Estructura migajosa gruesa fuertemente desarrollada. No plástico, no adherente, friable y blando. No cementado. Pedregosidad abundante de tamaño medio y grueso de naturaleza caliza. Abundante poros gruesos. Raíces finas abundantes. Reacción calcárea fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite neto y plano
CR	10→	

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-10)	48.80	27.42	10.46	56.47	5.65	1.27	28.84	22.02
CR (10→)								

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable ((mm))
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-10)	25.68	8.63	40.05	4.11	17.04	21.64
CR (10→)						

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-10)	7.00	6.40	2.63	0.23	11.43	4.53
CR (10→)						

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-10)	2.19	32.15	1.68	1.73	1.36	52.03	71.00	36.92
CR (10→)								

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-10)	0.271	4.35	3.33
CR (10→)			

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-10)	0.0145	0.5675	0.4071	12.1878	0.2458	0.8430	0.3540	0.0060	0.0060
CR (10→)									

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Sierra del Arquillo.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X= 319949 Y= 4127504.

Altitud: 399 msnm.

Posición fisiográfica: Cresta.

Topografía circundante: Abrupto.

Pendiente: 21-31%

Uso del suelo o vegetación: Olivar en secano.

Litología, periodo geológico: Margas. Triásico.

Drenaje: Algo excesivamente drenado.

Pedregosidad: Abundante, tamaño grueso. Dolomías.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Ligera.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Calcisol háplico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color (7.5YR3/4) pardo oscuro muy oscuro en húmedo y (7.5YR4/4) pardo a pardo oscuro en seco. Textura franca. Estructura migajosa gruesa fuertemente desarrollada. Plástico, adherente, firme y duro. No cementado. Pedregosidad abundante, de naturaleza dolomítica y tamaño medio y grueso. Abundantes poros medios. Escasas raíces finas. Reacción calcárea fuerte. Nódulos inexistentes. Sin revestimientos. Límite neto irregular.
Ck	20-120	Color (7.5YR3/4) pardo oscuro muy oscuro en húmedo y (7.5YR4/4) pardo a pardo oscuro en seco. Textura franca. Estructura poliédrica o angular gruesa fuertemente desarrollada. Plástico, adherente, firme y duro. No cementado. Pedregosidad abundante, de naturaleza dolomítica y tamaño medio y grueso. Porosidad escasa de tamaño medio. Sin raíces. Efervescencia fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-20)	0.50	27.45	9.49	41.24	21.82	1.38	20.87	23.93
Ck (20-120)	5.40	27.55	16.89	38.74	16.82	1.48	15.14	25.66

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable ((mm))
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-20)	27.28	13.18	47.61	0.75	14.10	38.93
Ck (20-120)	24.69	11.40	45.62	1.19	13.30	196.77

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-20)	7.20	6.90	1.41	0.13	10.85	2.43
Ck (20-120)	7.50	7.00	0.79	0.08	9.87	1.36

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-20)	38.18	19.46	0.72	0.47	0.64	30.58	69.60	2129
Ck (20-120)	60.00	21.21	1.06	0.09	0.58	31.77	72.20	22.95

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-20)	0.256	2.45	1.54
Ck (20-120)	0.434	1.13	0.28

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-20)	0.0092	0.2920	0.1610	6.4935	0.1404	0.0240	0.0220	0.0010	0.0170
Ck (20-120)	0.0122	0.3037	0.1940	7.0230	0.2026	0.0230	0.0190	0.0010	0.0010

Localización: Cortijo San Juan de Zaragoza.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=372131 Y=4194439.

Altitud: 275.

Posición fisiográfica: Colina.

Topografía circundante: Alomado u ondulado.

Pendiente: 3-8%.

Uso del suelo o vegetación: Olivar en secano.

Litología, periodo geológico: Margas. Mioceno.

Drenaje: Algo deficiente.

Pedregosidad: Nula.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Ligera.

Clasificación: Vertisol crómico cálcico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color (5Y5/4) oliva en húmedo y (5Y6/3) oliva pálido en seco. Textura arcillosa. Estructura granular gruesa fuertemente desarrollada. Muy plástico, muy adherente, firme y duro. No cementado. Pedregosidad nula. Abundante poros finos y medios. Raíces medias escasas. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite gradual plano.
Bw	25-45	Color (5Y5/4) oliva en húmedo y (5Y6/3) oliva pálido en seco. Textura arcillosa. Estructura subpoliédrica o subangular gruesa fuertemente desarrollada. Muy plástico, muy adherente, firme y duro. No cementado. No pedregoso. Abundante poros finos. Sin raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos ferruginosos escasos y revestimientos inexistentes. Límite gradual ondulado.
BC	45-70	Color (5Y6/3) oliva pálido en húmedo y (5Y7/3) amarillo pálido en seco. Textura arcillosa. Estructura columnar gruesa fuertemente desarrollada. Muy plástico, muy adherente, firme y muy duro. No cementado. Pedregosidad nula. Abundante poros finos. Sin raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos ferruginosos frecuentes. Sin revestimientos. Límite neto irregular.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-25)	0.00	0.72	8.82	38.67	51.79	1.41	19.15	24.45
Bw (25-45)	0.00	0.42	12.32	37.16	50.10	1.12	35.78	19.42
BC (45-70)	0.00	0.50	14.62	37.59	47.29	1.37	21.44	23.76

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable ((mm))
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-25)	45.67	30.25	54.38	0.24	15.43	54.38
Bw (25-45)	44.33	29.00	53.96	0.23	15.33	34.33
BC (45-70)	42.52	27.14	53.47	0.23	15.38	52.66

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-25)	8.00	7.60	0.29	0.06	4.83	0.51
Bw (25-45)	8.30	7.50	0.20	0.05	4.00	0.35
BC (45-70)	8.50	7.10	0.00	0.02	0.00	0.01

Hor/Prof (cm)	CO ₂ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-25)	27.20	10.90	2.47	0.26	1.33	14.96	100.00	14.96
Bw (25-45)	27.50	9.85	3.13	0.26	1.02	14.26	100.00	14.26
BC (45-70)	25.30	7.49	4.11	0.35	0.92	12.87	100.00	12.87

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-25)	0.260	2.19	1.74
Bw (25-45)	0.190	2.23	1.82
BC (45-70)	0.160	2.92	2.72

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-25)	0.0374	0.2600	0.1100	6.5600	0.3800	0.0260	0.0290	0.0010	0.0120
Bw (25-45)	0.0033	0.2000	0.1000	6.7700	0.4200	0.0260	0.0270	0.0010	0.0020
BC (45-70)	0.0022	0.1700	0.1100	6.8400	0.5300	0.0300	0.0250	0.0010	0.0010

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Cortijo del Cambrón.
 Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=393223 Y= 4184672.
 Altitud: 302 msnm.
 Posición fisiográfica: Ladera.
 Topografía circundante: Llano.
 Pendiente: 0-3%
 Uso del suelo o vegetación: Olivar en secano.
 Litología, periodo geológico: Margas. Mioceno.
 Drenaje: Moderadamente buen drenado.
 Pedregosidad: Abundante, de todos los tamaños. Calcarenitas.
 Afloramientos rocosos: Inexistentes.
 Erosión: Ligera.
 Influencia humana: Agrícola.
 Clasificación: Regosol calcárico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-30	Color (2.5Y4/2) pardo grisáceo oscuro en húmedo y (2.5Y5/2) pardo grisáceo en seco. Textura arcillosa. Estructura subpoliédrica o subangular media fuertemente desarrollada. Plástico, adherente, friable y ligeramente duro. No cementado. Pedregosidad nula. Abundantes poros de todos los tamaños. Sin raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Escasos nódulos calizos. Sin revestimientos. Límite neto irregular.
C	30-70	Color (2.5Y5/2) pardo grisáceo en húmedo y (2.5Y6/2) gris pardusco oscuro en seco. Textura arcillosa. Estructura poliédrica o angular gruesa fuertemente desarrollada. Muy plástico, adherente, firme y muy duro. No cementado. Sin Pedregosidad. Porosidad escasa de tamaño fino. Sin raíces. Efervescencia muy fuerte. Escasos nódulos calizos. Cutanes de presión escasos. Límite neto irregular.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-30)	0.20	3.90	9.66	24.93	61.53	0.87	50.11	15.09
C (30-70)	0.60	8.29	16.25	26.68	48.77	0.94	46.10	16.30

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-30)	50.02	36.36	55.05	0.23	13.66	35.64
C (30-70)	41.36	27.64	52.96	0.18	13.72	51.60

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-30)	8.20	7.40	0.67	0.08	8.37	1.16
C (30-70)	8.80	7.60	0.37	0.04	9.25	0.63

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-30)	17.00	22.79	2.32	0.33	1.69	27.13	100.00	27.13
C (30-70)	26.00	12.75	7.37	3.18	1.92	25.22	100.00	25.22

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-30)	0.178	1.76	1.22
C (30-70)	0.198	11.61	12.61

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-30)	0.0116	0.5800	0.0600	6.2400	0.5100	0.0170	0.0300	0.0010	0.0080
C (30-70)	0.0017	0.6200	0.6600	5.4300	0.8800	0.0210	0.0620	0.0010	0.0060

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Cerro de Alberos.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=385941 Y=4179750.

Altitud: 340 nsnm.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Alomado u ondulado.

Pendiente: 8-16%.

Uso del suelo o vegetación: Olivar en secano.

Litología, periodo geológico: Margas arenosas. Mioceno.

Drenaje: Moderadamente buen drenaje.

Pedregosidad: Nula.

Afloramientos rocosos: Inexistente.

Erosión: Moderada.

Clasificación: Regosol calcárico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color (5Y6/4) oliva pálido en húmedo y (5Y8/2) blanco en seco. Textura arcillo limosa. Estructura migajosa media fuertemente desarrollada. Ligeramente plástico, adherente, friable y muy duro. No cementado. Pedregosidad nula. Abundante poros finos y medios. Sin raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite gradual y ondulado.
AC	25-80	Color (5Y6/3) oliva pálido en húmedo y (5Y8/2) blanco en seco. Textura arcillo limosa. Estructura subpoliédrica o subangular media moderadamente desarrollada. Ligeramente plástico, adherente, friable y ligeramente duro. No cementado. No pedregoso. Abundante poros finos y medios. Sin raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite gradual ondulado.
C1	80-110	Color (5Y7/2) gris claro en húmedo y (5Y8/2) blanco en seco. Textura arcillo limosa. Estructura subpoliédrica o subangular media débilmente desarrollada. Ligeramente plástico, adherente, friable y ligeramente duro. No cementado. Pedregosidad nula. Abundante poros finos y medios. Sin raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos escasos ferruginosos. Sin revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-25)	0.10	1.44	6.93	40.06	51.57	1.06	39.22	18.38
AC (25-80)	0.10	1.61	8.80	41.36	48.24	1.34	23.16	23.24
C1 (80-110)	0.30	1.36	5.46	43.19	49.99	1.43	18.00	24.80

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-25)	45.74	30.20	54.44	0.25	15.54	41.18
AC (25-80)	43.72	27.92	53.93	0.25	15.80	116.44
C1 (80-110)	45.04	29.18	54.38	0.27	15.86	68.05

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-25)	8.30	7,50	0.87	0.10	8.70	1.49
AC (25-80)	8.50	7,50	0.32	0.05	6.40	0.55
C1 (80-110)	8.70	7.70	0.26	0.04	6.50	0.44

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-25)	60.90	11.42	3.05	0.26	1.18	15.91	100.00	15.91
AC (25-80)	60.00	8.51	4.12	0.21	0.46	13.30	100.00	13.30
C1 (80-110)	54.80	8.37	4.23	0.23	0.30	13.13	100.00	13.13

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-25)	0.170	2.09	1.63
AC (25-80)	0.186	2.00	1.58
C1 (80-110)	0.169	2.92	1.75

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-25)	0.0374	0.4400	0.1100	4.8200	0.2200	0.0270	0.0220	0.0010	0.0180
AC (25-80)	0.0033	0.2700	0.0600	4.7300	0.3500	0.0280	0.0220	0.0010	0.0040
C1 (80-110)	0.0022	0.1500	0.0300	4.4800	0.4200	0.0310	0.0190	0.0010	0.0020

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Lora del Río.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X= 274656 Y= 4166571.

Altitud: 35 msnm.

Posición fisiográfica: Terraza.

Topografía circundante: Llano.

Pendiente: 0-3%

Uso del suelo o vegetación: Herbáceos en seco.

Litología, periodo geológico: Terraza aluvial. Cuaternario.

Drenaje: Deficiente.

Pedregosidad: Muy abundante, de todos los tamaños. Otras rocas.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Ligera.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Calcisol háplico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color (2.5YR4/6) rojo en húmedo y (2.5YR5/8) rojo en seco. Textura franca. Estructura migajosa gruesa fuertemente desarrollada. Plástico, adherente, muy firme y duro. No cementado. Pedregosidad escasa de tamaño medio. Abundantes poros de tamaño medio. Escasas raíces finas. Reacción calcárea ligera. Nódulos inexistentes. Sin revestimientos. Límite gradual plano.
Cck	25→	Color (2.5YR4/6) rojo en húmedo y (2.5YR5/8) rojo en seco. Textura franco arenosa. Estructura laminar. Muy plástico, muy adherente, muy firme y duro. No cementado. Sin Pedregosidad. Porosidad escasa de tamaño fino. Sin raíces. Efervescencia fuerte. Sin nódulos ni revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-25)	3.00	22.40	17.60	45.40	14.60	1.32	26.41	22.89
Cck (25→)								

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-25)	25.00	10.74	45.31	1.52	14.40	47.52
Cck (25→)						

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-25)	7.50	7.10	1.86	0.17	10.94	3.21
Cck (25→)						

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-25)	3.73	13.83	3.91	1.25	1.22	202.10	100.00	202.10
Cck (25→)								

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-25)	0.174	5.67	6.18
Cck (25→)			

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-25)	0.0034	0.6184	0.4297	9.1409	0.8123	0.0170	0.0120	0.0030	0.0040
Cck (25→)									

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Los Algarbes (Écija).

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X= 328062 Y= 4162656.

Altitud: 264 msnm.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Alomado u ondulado.

Pendiente: 16-21%

Uso del suelo o vegetación: olivar en seco.

Litología, periodo geológico: Margas. Mioceno.

Drenaje: Moderadamente buen drenaje.

Pedregosidad: Escasa, de todos los tamaños. Calizas.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Moderada.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Calcisol háplico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color (10R3/6) pardo amarillento oscuro en húmedo y (10YR5/6) pardo amarillento en seco. Textura franco arenosa. Estructura poliédrica gruesa moderadamente desarrollada. Plástico, adherente, firme y duro. No cementado. Pedregosidad inexistente. Abundantes poros de tamaño fino y medio. Escasas raíces finas. Reacción calcárea fuerte. Nódulos inexistentes. Sin revestimientos. Límite neto plano.
Ck	25→	Color (5YR4/4) pardo rojizo en húmedo y (5YR5/6) rojo amarillento en seco. Textura franca. Estructura subpoliédrica o subangular gruesa moderadamente desarrollada. Plástico, adherente, muy firme y blando. No cementado. Sin Pedregosidad. Porosidad escasa de tamaño fino. Sin raíces. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos escasos. Revestimientos inexistentes.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-25)	61.30	29.82	30.79	35.52	3.87	1.56	10.55	27.05
Ck (25→)	64.00	19.85	13.56	48.37	18.22	1.44	17.43	24.97

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-25)	0.20	6.94	36.26	5.46	12.67	49.42
Ck (25→)	0.27	11.74	46.86	1.14	15.19	207.75

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-25)	7.20	6.80	0.52	0.06	8.67	0.90
Ck (25→)	7.70	7.10	0.95	0.09	10.56	1.64

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-25)	28.71	2.05	0.88	0.90	0.85	20.72	22.60	4.68
Ck (25→)	42.39	20.30	2.04	0.45	0.39	23.17	100.00	23.17

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-25)	0.672	21.73	23.54
Ck (25→)	0.292	2.23	1.94

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-25)	0.0066	0.5112	0.7179	0.9700	0.3393	0.0090	0.0180	0.0000	0.0020
Ck (25→)	0.0047	0.2077	0.1334	4.9900	0.4422	0.0090	0.0070	0.0020	0.0020

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Los Mochales (Écija).
 Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=326378 Y=4160021.
 Altitud: 260 nsnm.
 Posición fisiográfica: Ladera.
 Topografía circundante: Acolinado.
 Pendiente: 8-16%.
 Uso del suelo o vegetación: Herbáceos en seco.
 Litología, periodo geológico: Margas. Mioceno.
 Drenaje: Excesivamente drenado.
 Pedregosidad: Nula.
 Afloramientos rocosos: Inexistentes.
 Erosión: Fuerte.
 Clasificación: Leptosol calcárico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Apk	0-25	Color (10YR6/6) amarillo pardusco en húmedo y (10YR6/8) amarillo pardusco en seco. Textura franco limosa. Estructura subpoliédrica o subangular gruesa moderadamente desarrollada. Muy plástico, muy adherente, firme y blando. No cementado. Pedregosidad interior inexistente. Escasos poros finos. Raíces finas escasas. Reacción calcárea fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite gradual plano.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Apk (0-25)	21.80	12.41	8.39	76.41	2.79	1.20	31.19	20.81

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Apk (0-25)	30.88	9.39	37.38	3.52	21.48	64.45

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Apk (0-25)	7.40	7.00	3.08	0.27	11.41	5.32

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Apk (0-25)	45.79	10.99	0.97	0.43	0.73	13.12	100.00	13.12

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Apk (0-25)	0.223	3.31	3.27

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Apk (0-25)	0.0059	0.2918	0.2906	5.2400	0.1902	0.0080	0.0050	0.0010	0.0010

Localización: Paraje “La Povedana” (La Rambla)
 Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=348987 Y=4164272
 Altitud: 360 msnm.
 Posición fisiográfica: Ladera.
 Topografía circundante: Colinado.
 Pendiente: 8-16%
 Uso del suelo o vegetación: Olivar de secano.
 Litología, periodo geológico: Margas arenosas. Terciario.
 Drenaje: Moderadamente buen drenaje.
 Pedregosidad: Inexistente.
 Afloramientos rocosos: Inexistente.
 Erosión: Moderada.
 Influencia humana: Agrícola.
 Clasificación: Regosol calcárico. (IUSS Working Group WRB FAO, 2006)

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-30	Color (10YR4/6) pardo amarillento oscuro en húmedo y (10YR5/6) pardo amarillento en seco. Textura franco limosa. Estructura subpoliédrica o subangular gruesa moderadamente desarrollada. Plástico, adherente, friable y duro. No cementado. No pedregoso. Frecuentes poros finos y medios. Raíces inexistentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos frecuentes. Revestimientos inexistentes. Limite gradual plano.
Ck	30-60	Color abigarrado en húmedo y en seco. Textura franco limosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Plástico, ligeramente adherente, friable y duro. Débilmente cementado. No pedregoso. Escasos poros finos. Raíces inexistentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos frecuentes. Revestimientos inexistentes. Limite neto plano.
C	60-90	Color (7.5YR4/4) pardo a pardo oscuro en húmedo y (7.5YR4/6) pardo fuerte en seco. Textura franco limosa. Estructura poliédrica o angular fina moderadamente desarrollada. Plástico, ligeramente adherente, friable y duro. Cementación débil. No pedregoso. Escasos poros finos. Raíces inexistentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos frecuentes. Cutanes de sesquióxidos escasos o zonales. Limite difuso plano.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-30)	0.00	35.03	10.76	50.97	3.24	1.59	8.83	27.57
Ck (30-60)	69.20	20.99	7.30	68.47	3.24	1.54	11.70	26.70
C (60-90)	44.00	31.82	8.97	55.97	3.24	1.56	10.55	27.05

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-30)	24.06	7.85	36.39	4.55	16.21	77.31
Ck (30-60)	28.97	8.99	37.66	3.93	19.98	92.31
C (60-90)	25.55	8.21	36.76	4.32	17.35	81.19

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-30)	7.40	7.00	0.18	0.03	6.00	0.31
Ck (30-60)	7.60	7.00	0.33	0.04	8.25	0.57
C (60-90)	7.70	7.10	0.33	0.04	8.25	0.56

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-30)	35.94	16.90	2.30	0.75	0.51	204.60	100.00	204.60
Ck (30-60)	35.98	16.89	1.89	0.66	0.26	197.00	100.00	197.00
C (60-90)	30.16	18.03	3.04	0.63	0.37	220.70	100.00	220.70

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-30)	0.256	3.53	3.67
Ck (30-60)	0.245	3.26	3.35
C (60-90)	0.317	2.90	2.85

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-30)	0.0200	0.2435	0.8100	8.6600	0.3100	0.0100	0.0080	0.0010	0.0080
Ck (30-60)	0.0200	0.1420	0.6100	6.8100	0.2800	0.0090	0.0060	0.0010	0.0030
C (60-90)	0.0200	0.1585	0.2000	5.9100	0.4400	0.0160	0.0120	0.0000	0.0030

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Cuesta de la Bernardina.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X= 359134 Y=4159243

Altitud: 420 msnm.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Alomado o Colinado.

Pendiente: 3-8%.

Uso del suelo o vegetación: viñedo de secano.

Litología, periodo geológico:

Drenaje: Moderadamente buen drenaje.

Pedregosidad: Muy abundante.

Afloramientos rocosos: No se observan.

Erosión: Ligera.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Luvisol hipercálcico. (IUSS Working Group WRB FAO, 2006)

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
(A/B)p	0-45	Color (2.5YR3/4) pardo rojizo oscuro en húmedo y (2.5YR2.5) rojo muy oscuro en seco. Textura franco limosa. Estructura granular media moderadamente desarrollada. Plástico, ligeramente adherente, friable en húmedo y muy friable en seco y blando. No cementado. Escasa Pedregosidad, calizas finas. Frecuentes poros finos y medios. Raíces finas y medias frecuentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos escasos. Revestimientos inexistentes. Limite gradual plano.
(B/C)k	45-90	Color (7.5YR5/6) pardo fuerte en húmedo y (7.5YR6/6) amarillo rojizo en seco. Textura franco limosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Muy plástico, adherente, friable y ligeramente duro. Débilmente cementado. No pedregoso. Escasos poros finos. Raíces finas frecuentes. Efervescencia muy fuerte. Nódulos calizos escasos. Revestimientos inexistentes. Limite gradual plano.
Ck	90-130	Color (10YR8/4) pardo muy pálido en húmedo y (10YR8/3) pardo muy pálido en seco. Textura franco arcillo limosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Plástico, adherente, friable y blando. Cementación nula. No pedregoso. Frecuentes poros finos. Escasas raíces finas. Efervescencia muy fuerte. Nódulos calizos escasos. Sin revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
(A/B)p (0-45)	1.20	7.83	12.66	62.53	16.98	1.42	18.58	24.62
(B/C)k (45-90)	1.60	5.28	7.98	62.30	24.44	1.46	16.28	25.32
Ck (90-130)	2.70	4.33	6.10	62.14	27.43	1.50	13.99	26.01

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
(A/B)p (0-45)	28.75	11.17	47.41	1.52	17.57	112.30
(B/C)k (45-90)	31.62	13.86	49.95	0.85	17.76	116.67
Ck (90-130)	33.06	15.24	50.80	0.71	17.82	106.94

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
(A/B)p (0-45)	8.20	7.50	0.99	0.11	9.00	1.71
(B/C)k (45-90)	8.20	7.60	0.42	0.06	7.00	0.72
Ck (90-130)	8.40	7.70	0.00	0.03	0.00	0.00

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
(A/B)p (0-45)	58.33	10.93	0.49	0.28	0.16	11.88	99.80	11.86
(B/C)k (45-90)	50.49	16.53	0.67	0.30	0.20	17.70	100.00	17.70
Ck (90-130)	53.45	11.09	0.55	0.29	0.14	12.07	100.00	12.07

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
(A/B)p (0-45)	0.039	2.53	2.36
(B/C)k (45-90)	0.002	2.05	1.69
Ck (90-130)	0.011	2.56	2.40

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
(A/B)p (0-45)	0.0400	0.1600	0.0300	17.0200	0.1900	0.0060	0.0090	0.0010	0.0040
(B/C)k (45-90)	0.0200	0.1100	0.0400	16.3400	0.1400	0.0050	0.0050	0.0010	0.0010
Ck (90-130)	0.0200	0.0700	0.0400	16.2800	0.1400	0.0040	0.0020	0.0010	0.0010

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Cuesta Blanca. Molino del Toro.
 Coordenadas UTM (ED50) 30S: X= 361001 Y=4158900
 Altitud: 520 msnm.
 Posición fisiográfica: Ladera.
 Topografía circundante: Alomado o Colinado.
 Pendiente: 8-16%.
 Uso del suelo o vegetación: viñedo en secano.
 Litología, periodo geológico: Margo calizas. Cretácico Superior.
 Drenaje: Buen drenaje.
 Pedregosidad: Nula.
 Afloramientos rocosos: No se observan.
 Erosión: Moderada.
 Influencia humana: Agrícola.
 Clasificación: Cambisol calcárico. (FAO, 1998)

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-30	Color (2.5Y6/2) gris pardusco claro en húmedo y (2.5Y7/2) gris claro en seco. Textura franco limosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Plástico, muy adherente, firme y duro. No cementado. Pedregosidad nula. Frecuentes poros finos y medios. Raíces finas y medias frecuentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos escasos. Revestimientos inexistentes. Limite gradual plano.
B/C	30-80	Color (2.5Y6/2) gris pardusco claro en húmedo y (2.5Y7/2) gris claro en seco. Textura franca. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Plástico, muy adherente, firme y duro. Débilmente cementado. No pedregoso. Frecuentes poros finos. Raíces finas frecuentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos escasos. Revestimientos inexistentes. Limite gradual plano.
C	80-120	Color (2.5Y8/2) blanco en húmedo y (2.5Y8/0) blanco en seco. Textura arcillo limosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Muy plástico, muy adherente, firme y muy duro. Débilmente cementado. Pedregosidad escasa de tamaño medio. Frecuentes poros finos. Raíces finas frecuentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos escasos. Sin revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-30)	3.50	7.63	15.30	67.37	9.70	1.41	19.15	24.45
B/C (30-80)	3.40	8.51	18.32	49.37	23.80	1.50	13.99	26.01
C (80-120)	2.40	1.55	7.27	50.48	40.70	1.44	17.43	24.97

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-30)	28.18	9.58	44.13	3.08	18.61	78.71
B/C (30-80)	29.57	13.80	48.82	0.71	15.77	118.30
C (80-120)	39.81	22.98	53.10	0.33	16.83	96.93

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-30)	8.00	7.40	1.19	0.13	9.15	2.05
B/C (30-80)	8.50	7.60	0.28	0.06	4.67	0.48
C (80-120)	8.40	7.70	0.22	0.05	4.40	0.39

Hor/Prof (cm)	CO ₂ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	ClC	V (%)	S
Ap (0-30)	51.37	12.25	1.01	0.27	0.96	14.50	99.90	14.49
B/C (30-80)	52.90	12.71	1.03	0.29	0.94	15.00	99.80	14.97
C (80-120)	54.42	12.48	0.51	0.27	0.28	13.54	100.00	13.54

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-30)	0.121	2.25	1.86
B/C (30-80)	0.063	2.30	1.93
C (80-120)	0.091	2.28	1.99

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-30)	0.0530	0.5300	0.0300	17.9200	0.2500	0.0120	0.0170	0.0030	0.0040
B/C (30-80)	0.0500	0.4500	0.0200	17.6400	0.2200	0.0110	0.0070	0.0010	0.0010
C (80-120)	0.0200	0.1200	0.0300	18.4200	0.1600	0.0120	0.0050	0.0010	0.0020

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Paraje Tabarra. Cerro Caramolos.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X= 345767 Y=4155982

Altitud: 320 msnm.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Abrupto.

Pendiente: 3-8%.

Uso del suelo o vegetación: viñedo en regadío.

Litología, periodo geológico: Margas arenosas. Terciario.

Drenaje: Moderadamente buen drenaje.

Pedregosidad: Escasa.

Afloramientos rocosos: No se observan.

Erosión: Moderada.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Cambisol calcárico. (IUSS Working Group WRB FAO, 2006)

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-30	Color (2.5Y6/2) gris pardusco claro en húmedo y (2.5Y7/2) gris claro en seco. Textura franco arenosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Plástico, muy adherente, firme y duro. No cementado. Pedregosidad nula. Frecuentes poros finos y medios. Raíces finas y medias frecuentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos escasos. Revestimientos inexistentes. Limite gradual plano.
B/C	30-80	Color (2.5Y6/2) gris pardusco claro en húmedo y (2.5Y7/2) gris claro en seco. Textura franco limosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Plástico, muy adherente, firme y duro. Débilmente cementado. No pedregoso. Frecuentes poros finos. Raíces finas frecuentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos escasos. Revestimientos inexistentes. Limite gradual plano.
C	80-120	Color (2.5Y8/2) blanco en húmedo y (2.5Y8/0) blanco en seco. Textura franco arenosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Muy plástico, muy adherente, firme y muy duro. Débilmente cementado. Pedregosidad escasa de tamaño medio. Frecuentes poros finos. Raíces finas frecuentes. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos escasos. Sin revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-30)	0.00	26.69	25.86	41.44	6.01	1.54	11.70	26.70
B/C (30-80)	38.40	23.44	20.37	52.68	3.51	1.57	9.98	27.22
C (80-120)	44.30	24.19	29.34	42.69	3.78	1.58	9.40	27.40

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-30)	21.80	8.00	39.33	4.22	13.80	63.74
B/C (30-80)	24.58	8.03	36.98	4.50	16.55	77.96
C (80-120)	21.65	7.41	36.69	4.99	14.24	67.52

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-30)	7.50	7.10	0.55	0.06	9.17	0.94
B/C (30-80)	7.60	7.10	0.26	0.03	8.67	0.46
C (80-120)	7.50	7.20	0.31	0.04	7.75	0.53

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	ClC	V (%)	S
Ap (0-30)	26.93	14.11	0.88	0.17	0.49	15.65	100.00	15.65
B/C (30-80)	31.89	9.57	0.68	0.28	0.47	18.52	59.40	11.00
C (80-120)	24.82	17.63	0.90	0.21	0.46	19.20	100.00	19.20

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-30)	0.263	1.63	1.09
B/C (30-80)	0.391	2.72	1.51
C (80-120)	0.361	1.63	1.09

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-30)	0.0300	0.2393	0.2900	3.2800	0.1200	0.0190	0.0100	0.0030	0.0110
B/C (30-80)	0.0300	0.2575	0.3000	3.1500	0.1400	0.0180	0.0100	0.0030	0.0070
C (80-120)	0.0300	0.2320	0.0700	7.1100	0.1500	0.0070	0.0090	0.0020	0.0030

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Carretera Montilla-Espejo.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X: 359750 Y: 4166800.

Altitud: 220 msnm.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Alomado u ondulado.

Pendiente: 3-8%.

Uso del suelo o vegetación: herbáceos en secano.

Litología, periodo geológico: Margas. Cuaternario.

Drenaje: Algo deficiente.

Pedregosidad: Escasa. Margas. Tamaño medio (7,5-25 cm)

Afloramientos rocosos: Escasos.

Erosión: Moderada.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Regosol calcárico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color (10YR5/4) pardo amarillento en húmedo y (10Y7/2) gris claro en seco. Textura franco limosa. Estructura granular gruesa moderadamente desarrollada. Plástico, adherente, firme y duro. Débilmente cementado. Pedregosidad nula. Frecuentes poros finos y medios. Frecuentes raíces finas y medias. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos calizos frecuentes. Sin revestimientos. Límite gradual plano.
Ck	25-65	Color (2.5Y7/3) amarillo pálido en húmedo y (2.5Y7/2) gris claro en seco. Textura franco limosa. Estructura subpoliédrica o subangular gruesa fuertemente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, firme y ligeramente duro. Débilmente cementado. Pedregosidad nula. Frecuentes poros finos y medios. Raíces finas frecuentes. Efervescencia muy fuerte. Nódulos calizos frecuentes. Revestimientos inexistentes. Limite difuso plano.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-25)	25.00	1.54	16.65	56.21	25.60	1.43	18.00	24.80
Ck (25-65)								

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-25)	31.48	14.45	49.85	0.71	17.03	60.87
Ck (25-65)						

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-25)	8.30	7.30	0.73	0.04	18.25	1.26
Ck (25-65)						

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-25)	55.68	35.80	2.32	0.27	0.28	38.70	99.90	38.67
Ck (25-65)								

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-25)	0.091	1.34	0.70
Ck (25-65)			

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-25)	0.0200	0.2500	0.1500	14.4600	0.2300	0.0060	0.0080	0.0010	0.0040
Ck (25-65)									

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Vereda del Nuño (Écija).

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X: 307600 Y: 4143500.

Altitud: 192 msnm.

Posición fisiográfica: Planicie o llanura.

Topografía circundante: Alomado u ondulado.

Pendiente: 0-3%

Uso del suelo o vegetación: Olivar en secano.

Litología, periodo geológico: Margocalizas. Terciario.

Drenaje: Drenaje algo deficiente.

Pedregosidad: Abundantes, de todos los tamaños. Calizas.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Ligera.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Calcisol léptico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-30	Color (10YR3/4) pardo amarillento oscuro en húmedo y (10YR5/4) pardo amarillento en seco. Textura franco arenosa. Estructura subpoliédrica o subangular gruesa fuertemente desarrollada. Plástico, adherente, firme y duro. No cementado. Pedregosidad escasa de todos los tamaños y naturaleza caliza. Abundantes poros de todos los tamaños. Escasas raíces finas. Reacción calcárea fuerte. Nódulos calizos escasos. Sin revestimientos. Límite neto plano.
Ck	30-120	Color (10YR3/4) pardo amarillento oscuro en húmedo y (10YR5/4) pardo amarillento en seco. Textura franca. Sin estructura. Plástico, adherente, firme y blando. No cementado. Pedregosidad abundante de todos los tamaños y naturaleza caliza. Porosidad escasa de todos los tamaños. Escasas raíces finas. Efervescencia fuerte. Nódulos calizos abundantes. Revestimientos inexistentes.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-30)	2.40	29.82	33.57	27.20	9.41	1.56	10.55	27.05
Ck (30-120)	1.20	24.01	27.70	35.68	12.61	1.46	16.28	25.32

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-30)	19.73	8.70	41.03	2.90	11.02	42.99
Ck (30-120)	22.56	9.98	43.50	1.90	12.58	174.50

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-30)	7.80	7.20	0.53	0.06	8.83	0.91
Ck (30-120)	7.50	7.40	1.12	0.11	10.18	1.93

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-30)	28.33	19.40	1.05	2.00	1.23	23.68	100.00	23.68
Ck (30-120)	49.18	23.69	0.70	0.80	0.76	25.95	100.00	25.95

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-30)	0.279	7.53	8.45
Ck (30-120)	0.194	3.10	3.09

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-30)	0.0044	0.6708	0.7751	4.9550	0.2057	0.0060	0.0260	0.0040	0.0070
Ck (30-120)	0.0067	0.3426	0.2645	7.7023	0.2566	0.0010	0.0040	0.0010	0.0020

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Navas del Selpillar.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X: 360193 Y: 4142241.

Altitud: 340 msnm.

Posición fisiográfica: Planicie o llanura.

Topografía circundante: Alomado u ondulado.

Pendiente: 3-8%

Uso del suelo o vegetación: Olivar en seco.

Litología, periodo geológico: Margas arenosas. Mioceno.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: Inexistente.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Ligera.

Influencia humana: Agrícola.

Clasificación: Calcisol háplico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-80	Color (10YR3/2) pardo grisáceo muy oscuro en húmedo y (10YR5/2) pardo grisáceo en seco. Textura franco arcillosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, friable y ligeramente duro. No cementado. Pedregosidad escasa fina y naturaleza caliza. Escasos poros gruesos. Escasas raíces gruesas. Reacción calcárea muy fuerte. Sin nódulos ni revestimientos. Límite brusco plano.
Bck	80-105	Color (10YR7/4) pardo muy pálido en húmedo. Textura franco arcillo arenosa. Estructura masiva media fuertemente desarrollada. Muy fuertemente cementado (endurecido). Sin Pedregosidad, porosidad y raíces. Reacción muy fuerte. Sin nódulos y revestimientos. Límite brusco ondulado.
BC ₁	105-160	Color (2.5Y7/4) amarillo pálido en húmedo y (2.5Y8/3) amarillo pálido en seco. Textura franca. Sin estructura. No plástico, no adherente, suelto y blando. No cementado. Sin Pedregosidad, porosidad y raíces. Efervescencia muy fuerte. Sin nódulos ni revestimientos. Límite difuso ondulado.
C1	160→	Color (2.5Y6/6) amarillo oliva en húmedo y (2.5Y8/4) amarillo pálido en seco. Textura franca. Sin estructura. No plástico, no adherente, suelto sin coherencia y suelto. No cementado. Sin Pedregosidad, porosidad y raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Sin nódulos y revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-80)	3.80	1.20	31.69	32.11	35.00	1.36	22.02	23.58
Bck (80-105)	0.00	2.30	27.05	22.15	27.50	1.41	19.15	24.45
BC ₁ (105-160)	0.00	1.22	34.60	46.68	17.50	1.56	10.55	27.05
C1 (160→)	0.00	4.05	46.55	34.40	15.00	1.53	12.27	26.53

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-80)	33.03	19.43	50.52	0.27	13.60	147.94
Bck (80-105)	26.99	15.96	47.92	0.36	11.03	38.89
BC ₁ (105-160)	26.35	11.52	46.46	1.19	14.83	127.23
C1 (160→)	23.22	10.81	44.54	1.41	12.42	189.98

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-80)	7.60	6.50	1.27	0.08	15.87	2.19
Bck (80-105)	7.30	6.80	1.27	0.04	31.75	2.19
BC ₁ (105-160)	7.20	6.70	0.00	0.02	0.00	0.00
C1 (160→)	7.10	6.60	0.51	0.02	25.50	0.87

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-80)	37.80	26.83	1.05	0.02	0.30	28.20	100.00	28.20
Bck (80-105)	54.81	22.00	0.60	0.04	0.07	22.71	100.00	22.71
BC ₁ (105-160)	67.50	29.24	0.70	0.38	0.04	30.36	100.00	30.36
C1 (160→)	51.30	37.25	0.65	0.99	0.05	38.94	100.00	38.94

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-80)	1.260	0.90	0.05
Bck (80-105)	4.830	0.98	0.18
BC ₁ (105-160)	8.900	1.73	1.25
C1 (160→)	17.640	2.63	2.53

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-80)	0.6160	0.3000	0.0000	11.9000	0.1900	0.0080	0.0040	0.0090	0.0020
Bck (80-105)	0.3120	0.0900	0.0000	11.9000	0.1800	0.0050	0.0010	0.0070	0.0020
BC ₁ (105-160)	0.2560	0.0800	0.0000	11.0000	0.2100	0.0060	0.0050	0.0060	0.0010
C1 (160→)	0.3040	0.0900	0.0000	10.6000	0.3400	0.0060	0.0020	0.0080	0.0020

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Sierra del Castillo (zonas basales).

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=347539 Y=4136468.

Altitud: 270.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: acolinado.

Pendiente: 21-31%.

Uso del suelo o vegetación: olivar en seco.

Litología, periodo geológico: Margocalizas. Mioceno.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: muy abundante.

Afloramientos rocosos: nula.

Erosión: fuerte.

Clasificación: Regosol calcárico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color (10YR6/4) pardo claro amarillento en húmedo y (10YR7/3) pardo muy pálido en seco. Textura franco arcillo limosa. Estructura granular fina débilmente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, muy friable y blando. No cementado. Pedregosidad inexistente. Escasos poros de tamaño medio. Raíces de tamaño fino y medio abundantes. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite difuso y ondulado.
C1	25-125	Color (10YR6/6) amarillo pardusco en húmedo y (7,5R8/4) rosa en seco. Textura franco arcillo limosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, friable y duro. Sin cementación. Escasos poros de tamaño fino y medio. Raíces finas escasas. Reacción calcárea muy fuerte. Sin nódulos ni revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-25)	21.20	1.45	15.70	47.85	35.00	1,48		
C1 (25-125)	7.00	1.60	14.70	46.20	37.50	1,35		

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-25)	190.39	138.89	51.7	0.37	16.40	60,67
C1 (25-125)	199.80	125.30	52.1	0.33	16.29	219.90

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-25)	7.70	6.70	0.80	0.60	1.30	1.40
C1 (25-125)	8.10	6.70	1.10	0.20	5.50	1.90

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-25)	65.90	259.17	18.00	0.30	5.23	282.70	100.00	282.70
C1 (25-125)	56.70	246.19	34.00	0.05	2.26	282.90	100.00	282.90

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-25)	0.500	0.11	0.94
C1 (25-125)	0.310	0.02	0.43

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-25)	0.0640	0.5600	0.0000	15.6500	0.5200	0.0070	0.0030	0.0020	0.0080
C1 (25-125)	0.0640	0.2500	0.0000	14.5500	1.1700	0.0080	0.0020	0.0010	0.0070

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Río Cabra (margen derecha)

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=340536 Y=4149800.

Altitud: 190.

Posición fisiográfica: Valle.

Topografía circundante: Llana.

Pendiente: 0-3%.

Uso del suelo o vegetación: Herbáceos en seco.

Litología, periodo geológico: Terraza aluvial. Holoceno.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: Nula.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Nula.

Clasificación: Fluvisol calcárico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color (2.5YR5/4) pardo rojizo en húmedo y (10Y5/3) pardo en seco. Textura arcillo limosa. Estructura poliédrica o angular media moderadamente desarrollada. No plástico, no adherente, firme y duro. No cementado. Pedregosidad interior inexistente. Frecuentes poros de todos los tamaños. Sin raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite brusco y plano.
Ap	20-60	Color (2.5YR3/2) pardo grisáceo muy oscuro en húmedo y (2.5Y4/3) pardo oliva. Textura arcillosa. Estructura granular fina débilmente desarrollada. No plástico, no adherente, muy friable y ligeramente duro. No cementado. Escasa Pedregosidad caliza de tamaño fino. Escasa porosidad. Raíces finas abundantes. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite brusco plano.
C1	60-90	Color (2.5YR6/4) pardo amarillento claro en húmedo y (2.5Y7/5) amarillo pálido en seco. Textura franco arcillo limosa. Estructura prismática media moderadamente desarrollada. Plástico, ligeramente adherente, friable y duro. No cementado. Sin Pedregosidad. Escasos poros de tamaño medio. Reacción muy fuerte. Frecuentes nódulos calizos. Sin revestimientos. Límite difuso ondulado.
C2	90-150	Color (2.5Y7/4) amarillo pálido en húmedo y (2.5Y7/3) amarillo pálido en seco. Textura arcillo limosa. Estructura prismática media, fuertemente desarrollada. Plástico, adherente, firme y ligeramente duro. No cementado. Escasos poros medios. Escasas raíces finas. Reacción muy fuerte. Nódulos frecuentes calizos. Sin revestimientos. Límite brusco plano.
C3	150-230	Color (2.5Y6/4) pardo amarillento claro en húmedo y (10YR8/3) pardo muy pálido en seco. Textura franco arcillo limosa. Estructura columnar gruesa fuertemente desarrollada. No plástico, no adherente, firme y duro. No cementado. Sin Pedregosidad. Sin poros. Escasas raíces finas. Nódulos calizos escasos. Sin revestimientos. Límite brusco plano.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-20)	0.00	2.40	8.15	41.95	47.50	1.44	17.43	24.97
Ap (20-60)	7.20	4.20	15.90	32.40	47.50	1.43	18.00	24.80
C1 (60-90)	4.20	2.60	8.55	53.85	35.00	1.43	18.00	24.80
C2 (90-150)	0.00	0.55	5.25	49.20	45.00	1.46	16.28	25.32
C3 (150-230)	0.00	0.00	14.25	53.25	32.50	1.47	15.71	25.49

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-20)	43.30	27.42	53.83	0.26	15.88	45.73
Ap (20-60)	41.69	27.07	53.14	0.20	14.62	83.62
C1 (60-90)	36.57	19.41	52.09	0.42	17.16	73.60
C2 (90-150)	42.40	25.84	53.87	0.31	16.56	145.06
C3 (150-230)	34.98	17.97	51.46	0.46	17.01	200.04

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-20)	7.80	6.50	0.17	0.07	2.43	0.29
Ap (20-60)	7.80	6.50	0.34	0.08	4.25	0.58
C1 (60-90)	7.70	6.50	0.42	0.02	21.00	0.73
C2 (90-150)	7.70	6.40	0.00	0.02	0.00	0.00
C3 (150-230)	7.80	6.50	0.25	0.01	25.00	0.43

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-20)	28.10	18.96	3.45	0.44	0.70	23.54	100.00	23.54
Ap (20-60)	26.50	27.10	2.70	0.66	0.57	31.02	100.00	31.02
C1 (60-90)	52.40	10.09	2.85	0.64	0.29	13.86	100.00	13.86
C2 (90-150)	40.00	20.10	5.35	0.78	0.39	26.62	100.00	26.62
C3 (150-230)	53.50	10.64	3.10	0.31	0.25	14.30	100.00	14.30

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-20)	0.730	2.19	1.86
Ap (20-60)	0.740	2.36	2.11
C1 (60-90)	1.120	4.22	4.59
C2 (90-150)	1.240	2.96	2.95
C3 (150-230)	0.760	2.38	2.14

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-20)	0.2480	0.8000	0.0000	15.8000	0.9600	0.0120	0.0130	0.0070	0.0020
Ap (20-60)	0.2080	0.6600	0.0000	20.1000	0.7800	0.0110	0.0210	0.0060	0.0030
C1 (60-90)	0.0640	0.3200	0.0000	12.4500	0.8300	0.0200	0.0090	0.0100	0.0010
C2 (90-150)	0.1280	0.3800	0.0000	13.4500	1.5100	0.0230	0.0070	0.0070	0.0010
C3 (150-230)	0.0000	0.2600	0.0000	12.4000	0.9600	0.0290	0.0180	0.0080	0.0010

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Canal Genil-Cabra.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=340458 Y=4149113.

Altitud: 190.

Posición fisiográfica: Planicie o llanura.

Topografía circundante: Llano.

Pendiente: 3-8%.

Uso del suelo o vegetación: Olivar en secano.

Litología, periodo geológico: Calcarenitas. Mioceno.

Drenaje: Algo deficiente.

Pedregosidad: Nula.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Nula.

Clasificación: Luvisol crómico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color (10YR4/4) pardo amarillento oscuro en húmedo y (10YR6/4) pardo claro amarillento en seco. Textura franco arcillosa. Estructura poliédrica o angular media débilmente desarrollada. Plástico, adherente, firme y ligeramente duro. No cementado. Pedregosidad nula. Escasos poros gruesos. Raíces abundantes de todos los tamaños. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite neto plano.
Bt	20-125	Color (7.5YR3/4) pardo oscuro en húmedo y (10YR4/4) pardo amarillento oscuro en seco. Textura arcillosa. Estructura prismática media moderadamente desarrollada. Plástico, adherente, firme y duro. No cementado. No pedregoso. Frecuentes poros finos. Raíces finas y medias frecuentes. Reacción calcárea ligera. Sin nódulos y revestimientos. Límite difuso irregular.
Cck	125-255	Color (10YR5/8) pardo amarillento en húmedo y (10YR7/4) pardo muy pálido en seco. Textura arcillosa. Estructura poliédrica o angular media, moderadamente desarrollada. No plástico, no adherente, firme y ligeramente duro. No cementado. Pedregosidad nula. Frecuentes poros medios. Sin raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos calizos frecuentes. Sin revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap (0-20)	13.80	4.05	25.90	35.05	35.00	1.50	13.99	26.01
Bt (20-125)	0.00	1.90	31.70	26.40	40.00	1.51	16.84	26.18
Cck (125-255)	8.30	2.45	18.65	28.90	50.00	1.43	18.00	24.80

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap (0-20)	33.60	19.43	50.73	0.28	14.17	42.50
Bt (20-125)	35.14	22.17	51.21	0.20	12.97	205.64
Cck (125-255)	42.75	28.59	53.35	0.19	14.16	263.17

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap (0-20)	7.80	6.60	0.08	0.06	1.33	0.14
Bt (20-125)	7.80	6.40	0.00	0.05	0.00	0.00
Cck (125-255)	8.00	6.40	0.34	0.02	17.00	0.58

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap (0-20)	21.60	28.45	3.30	0.33	0.70	32.78	100.00	32.78
Bt (20-125)	4.80	25.96	1.50	0.15	0.49	28.09	100.00	28.09
Cck (125-255)	30.30	25.62	2.00	0.06	0.43	28.11	100.00	28.11

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap (0-20)	0.670	1.57	1.00
Bt (20-125)	0.660	1.22	0.52
Cck (125-255)	0.740	1.00	0.20

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap (0-20)	0.4880	0.7700	0.0000	8.1500	1.0000	0.0090	0.0170	0.0070	0.0070
Bt (20-125)	0.1440	0.5200	0.0000	13.8000	0.3500	0.0090	0.0280	0.0090	0.0030
Cck (125-255)	0.3120	0.4800	0.0000	14.9500	0.5600	0.0060	0.0020	0.0070	0.0020

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Ermita Cristo Marroquí (Lucena).

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=368120 Y=4136924.

Altitud: 560.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Llano.

Pendiente: 3-8%.

Uso del suelo o vegetación: Olivar en secano.

Litología, periodo geológico: Coluvios y piedemontes. Pleistoceno.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: Escasa. Tamaño fino.

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

Erosión: Ligera.

Clasificación: Regosol calcárico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A/B	0-80	Color (7.5YR4/6) pardo fuerte en húmedo y (10YR5/4) pardo amarillento en seco. Textura franco arcillo limosa. Estructura poliédrica o angular media débilmente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, friable y blando. No cementado. Pedregosidad escasa caliza fina. Frecuentes poros finos y medios. Raíces finas abundantes. Reacción calcárea fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite difuso irregular.
C1	80-140	Color (10YR4/4) pardo amarillento oscuro en húmedo y (10YR6/3) pardo pálido en seco. Textura arcillo limosa. Estructura poliédrica o angular media débilmente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, friable y blando. No cementado. Pedregosidad escasa caliza de tamaño fino. Frecuentes poros finos y medios. Raíces finas y medias abundantes. Reacción calcárea fuerte. Sin nódulos y revestimientos. Límite neto ondulado.
Cck	140-240	Color (7.5YR8/4) rosa en húmedo y (7.5YR8/3) rosa en seco. Textura franco arenosa. Estructura laminar media, fuertemente desarrollada. No plástico, no adherente, extremadamente firme y muy duro. Muy fuertemente cementado (endurecido). Pedregosidad nula. Frecuentes poros. Sin raíces. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos calizos abundantes. Sin revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
A/B (0-80)	5.50	5.35	11.10	48.55	35.00	1.47	15.71	25.49
C1 (80-140)	0.00	8.40	11.30	47.80	32.50	1.44	17.43	24.97
Cck (140-240)	0.00	34.75	19.55	30.70	15.00	1.59	8.83	27.57

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
A/B (0-80)	35.92	19.42	51.71	0.37	16.50	194.03
C1 (80-140)	34.23	18.00	51.06	0.41	16.23	140.21
Cck (140-240)	22.59	10.83	44.27	1.38	11.76	186.98

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
A/B (0-80)	8.10	6.70	0.17	0.11	1.55	0.29
C1 (80-140)	8.10	6.70	0.51	0.11	4.64	0.87
Cck (140-240)	8.30	6.90	0.00	0.02	0.00	0.00

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
A/B (0-80)	68.60	13.39	1.35	0.81	0.48	16.02	100.00	16.02
C1 (80-140)	54.11	13.19	1.30	0.38	0.28	15.15	100.00	15.15
Cck (140-240)	65.59	2.64	0.95	0.36	13.80	17.75	100.00	17.75

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
A/B (0-80)	0.340	4.60	5.04
C1 (80-140)	0.390	2.63	2.48
Cck (140-240)	0.570	7.66	2.02

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
A/B (0-80)	0.3430	0.3560	0.0000	17.6000	0.2300	0.0090	0.0330	0.0060	0.0030
C1 (80-140)	0.2310	0.1550	0.0000	16.1500	0.1580	0.0070	0.0150	0.0010	0.0020
Cck (140-240)	0.4760	0.0990	0.0000	13.2250	0.1150	0.0040	0.0260	0.0010	0.0020

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Ermita Nuestra Sra. de Araceli. Monte Arar (Lucena).

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=370165 Y=4138029.

Altitud: 760.

Posición fisiográfica: Ladera.

Topografía circundante: Abrupto.

Pendiente: 21-31%.

Uso del suelo o vegetación: Monte bajo.

Litología, periodo geológico: Calizas. Jurásico (Lías).

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: Abundante. Tamaño medio

Afloramientos rocosos: Muy abundantes. Calizas. Muy duras.

Erosión: Moderada.

Clasificación: Leptosol eútrico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A/C ₁	0-30	Color (5YR3/4) pardo rojizo oscuro en húmedo y (7.5YR5/4) pardo en seco. Textura arcillosa. Estructura subpoliédrica o subangular media débilmente desarrollada. Plástico, adherente, friable y blando. No cementado. Pedregosidad abundante de naturaleza caliza de tamaño fino y medio. Abundantes poros de todos los tamaños. Raíces de todos los tamaños abundantes. Reacción calcárea ligera. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite difuso irregular.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
A/C1 (0-30)	27.80	3.40	4.20	27.40	65.00	1.27	30.05	22.02

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
A/C1 (0-30)	52.57	38.91	55.78	0.28	13.66	52.05

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
A/C1 (0-30)	8.10	6.60	1.19	0.15	7.93	2.04

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
A/C1 (0-30)	3.80	14.79	4.35	3.70	2.14	24.97	100.00	24.97

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
A/C1 (0-30)	0.350	14.06	14.81

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
A/C1 (0-30)	0.0980	1.5200	0.0000	23.9750	1.4000	0.0290	0.0570	0.0390	0.0040

CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: Nueva Carteya.

Coordenadas UTM (ED50) 30S: X=369207 Y=4161718.

Altitud: 410.

Posición fisiográfica: Planicie o llanura.

Topografía circundante: Alomado u ondulado.

Pendiente: 0-3%.

Uso del suelo o vegetación: Olivar en seco.

Litología, periodo geológico: Margas arenosas. Mioceno.

Drenaje: Deficiente.

Pedregosidad: Nula.

Afloramientos rocosos: Inexistente.

Erosión: Nula.

Clasificación: Regosol calcárico (IUSS Working Group WRB FAO, 2006).

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap ₁	0-40	Color (10YR3/3) pardo oscuro en húmedo y (2.5YR5/2) pardo grisáceo en seco. Textura franco arcillo limosa. Estructura granular media moderadamente desarrollada. Plástico, muy adherente, muy firme y ligeramente duro. No cementado. Pedregosidad escasa de naturaleza margas arenosas de tamaño fino. Escasos poros finos y medios. Raíces finas y medias frecuentes. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite neto plano.
Ap ₂	40-70	Color (10YR3/2) pardo grisáceo muy oscuro en húmedo y (10YR5/2) pardo grisáceo en seco. Textura arcillo limosa. Estructura granular media débilmente desarrollada. Plástico, adherente, friable y suelto. No cementado. Pedregosidad inexistente. Abundantes poros finos. Raíces finas abundantes. Reacción calcárea muy fuerte. Nódulos y revestimientos inexistentes. Límite difuso ondulado.
B	70-150	Color (7.5YR4/6) pardo fuerte en húmedo y (10YR6/3) pardo pálido en seco. Textura arcillo limosa. Estructura poliédrica o angular media débilmente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, muy friable y blando. No cementado. No pedregoso. Poros finos escasos. Raíces finas escasas. Reacción calcárea muy fuerte. Sin nódulos. Revestimientos frecuentes o discontinuos de carbonatos. Límite difuso irregular.
BC _{ck}	150-220	Color (7.5 YR7/5) rosa en húmedo y (10YR8/2) blanco en seco. Textura franco arcillosa. Estructura masiva media moderadamente desarrollada. Ligeramente plástico, ligeramente adherente, muy friable y blando. Débilmente cementado. No pedregoso. No poroso y sin raíces. Reacción muy fuerte. Nódulos abundantes calizos. Sin revestimientos. Límite gradual irregular.
C ₁	220→	Color (2.5YR8/3) amarillo pálido en húmedo y (19YR8/1) blanco en seco. Textura franco arcillo limosa. Sin estructura. No plástico, no adherente, suelto sin coherencia y suelto en seco. No cementado. No pedregoso. No poroso. Sin raíces. Reacción muy fuerte. Sin nódulos ni revestimientos.

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Hor/Prof (cm)	Grava (%)	2-0.2 (mm)	0.2-0.05 (mm)	0.05-0.002 (mm)	< 0.002 (mm)	D.Ap. (g·cm ⁻³)	Macropor. (%)	Micropor. (%)
Ap1 (0-40)	4.80	2.35	10.15	55.00	32.50	1.39	20.30	24.10
Ap2 (40-70)	1.20	2.40	8.25	46.85	42.50	1.34	23.16	23.24
B (70-150)	1.70	1.80	8.95	44.25	45.00	1.45	16.86	25.14
BCck (150-220)	0.10	17.20	11.20	36.60	35.00	1.51	13.42	26.18
C1 (220→)	2.00	0.65	9.95	54.40	35.00	1.47	15.71	25.49

Hor/Prof (cm)	pF		Saturación (%)	Conductividad hidráulica saturada (cm·h ⁻¹)	Porcentaje de agua útil (%)	Agua utilizable (mm)
	1/3 atm	15 atm				
Ap1 (0-40)	35,18	17,96	51,59	0,47	17.22	95.74
Ap2 (40-70)	40,59	24,13	53,21	0,30	16.46	66.18
B (70-150)	41,93	25,76	53,52	0,27	16.17	187.52
BCck (150-220)	33,89	19,43	50,84	0,29	14.46	152.87
C1 (220→)	36,62	19,41	52,13	0,42	17.21	75.91

Hor/Prof (cm)	pH H ₂ O	pH KCl	CO (%)	N (%)	C:N	MO (%)
Ap1 (0-40)	7.90	6.60	0.84	0.06	14.00	1.44
Ap2 (40-70)	7.90	6.60	1.09	0.09	12.11	1.87
B (70-150)	8.00	6.70	0.08	0.04	2.00	0.13
BCck (150-220)	7.70	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00
C1 (220→)	7.70	6.80	0.08	0.03	2.67	0.13

Hor/Prof (cm)	CO ₃ Ca (%)	Ca ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (meq·100 g ⁻¹)	Na ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	K ⁺ (meq·100 g ⁻¹)	CIC	V (%)	S
Ap1 (0-40)	52.57	14.71	1.90	0.40	0.12	17.12	100.00	17.12
Ap2 (40-70)	64.70	14.85	1.70	0.39	0.08	17.02	100.00	17.02
B (70-150)	54.11	16.68	1.65	0.35	0.12	18.80	100.00	18.80
BCck (150-220)	62.37	10.59	1.35	0.14	0.22	12.30	100.00	12.30
C1 (220→)	65.52	7.87	1.35	0.10	0.12	9.45	100.00	9.45

Hor/Prof (cm)	CE (dS·m ⁻¹)	RAS	PSI (%)
Ap1 (0-40)	0.330	2.49	2.31
Ap2 (40-70)	0.320	2.47	2.30
B (70-150)	0.290	2.14	1.84
BCck (150-220)	0.990	1.66	1.14
C1 (220→)	0.530	1.62	1.09

Hor/Prof (cm)	Macroelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)					Oligoelementos asimilables (g·Kg ⁻¹)			
	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Ap1 (0-40)	0.3500	0.2300	0.0000	16.4000	0.3300	0.0110	0.0100	0.0010	0.0030
Ap2 (40-70)	0.3900	0.2500	0.0000	16.5000	0.2700	0.0080	0.0030	0.0000	0.0020
B (70-150)	0.2200	0.2200	0.0000	16.2000	0.2100	0.0070	0.0020	0.0030	0.0020
BCck (150-220)	0.1400	0.1000	0.0000	12.3000	0.1900	0.0070	0.0010	0.0000	0.0020
C1 (220→)	0.1800	0.0800	0.0000	11.7500	0.1800	0.0170	0.0010	0.0000	0.0030

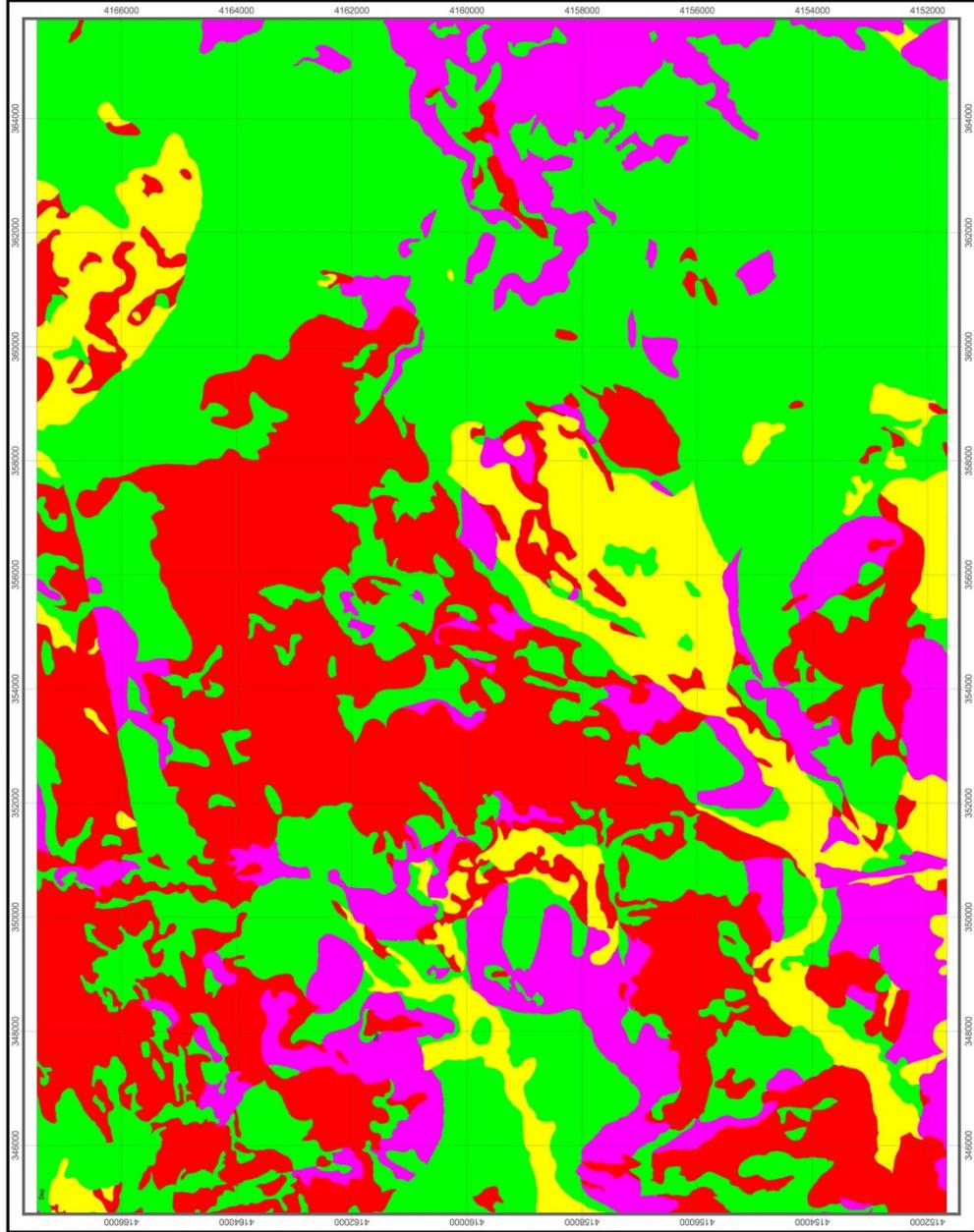
ANEXO II: CARTOGRAFÍA DE CAPACIDAD DE USO

CLASES DE CAPACIDAD DE USO (12 FACTORES)	LIII
CLASES DE CAPACIDAD DE USO (11 FACTORES)	LV
CLASES DE CAPACIDAD DE USO (09 FACTORES)	LVII
SUBCLASES DE CAPACIDAD DE USO (12 FACTORES)	LIX
SUBCLASES DE CAPACIDAD DE USO (11 FACTORES)	LXI
SUBCLASES DE CAPACIDAD DE USO (09 FACTORES)	LXIII
UNIDADES DE CAPACIDAD DE USO (12 FACTORES)	LXV
UNIDADES DE CAPACIDAD DE USO (11 FACTORES)	LXVII
UNIDADES DE CAPACIDAD DE USO (09 FACTORES)	LXIX

Clases de Capacidad de Uso (12 factores)

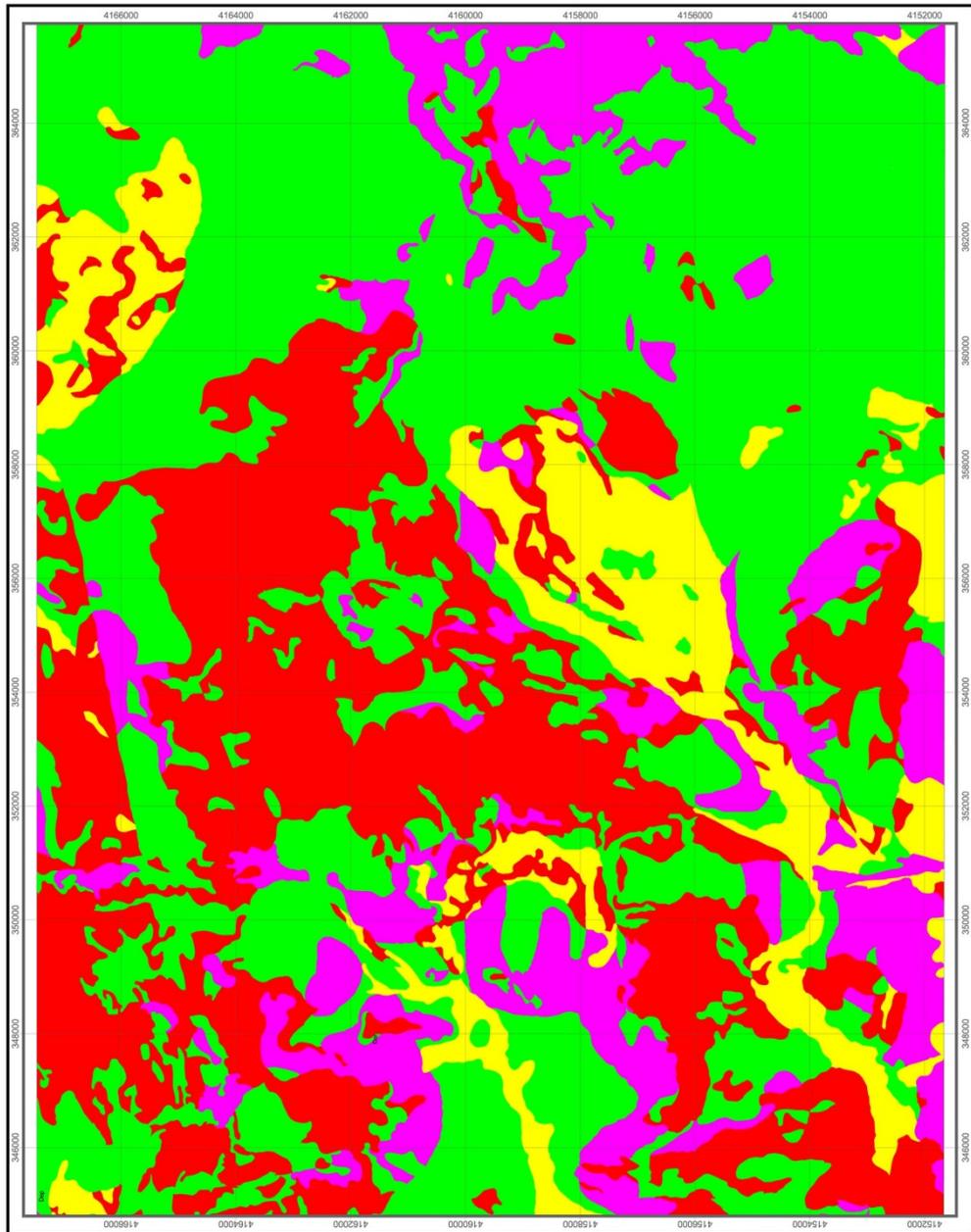


Clases de Capacidad de Uso (11 factores)



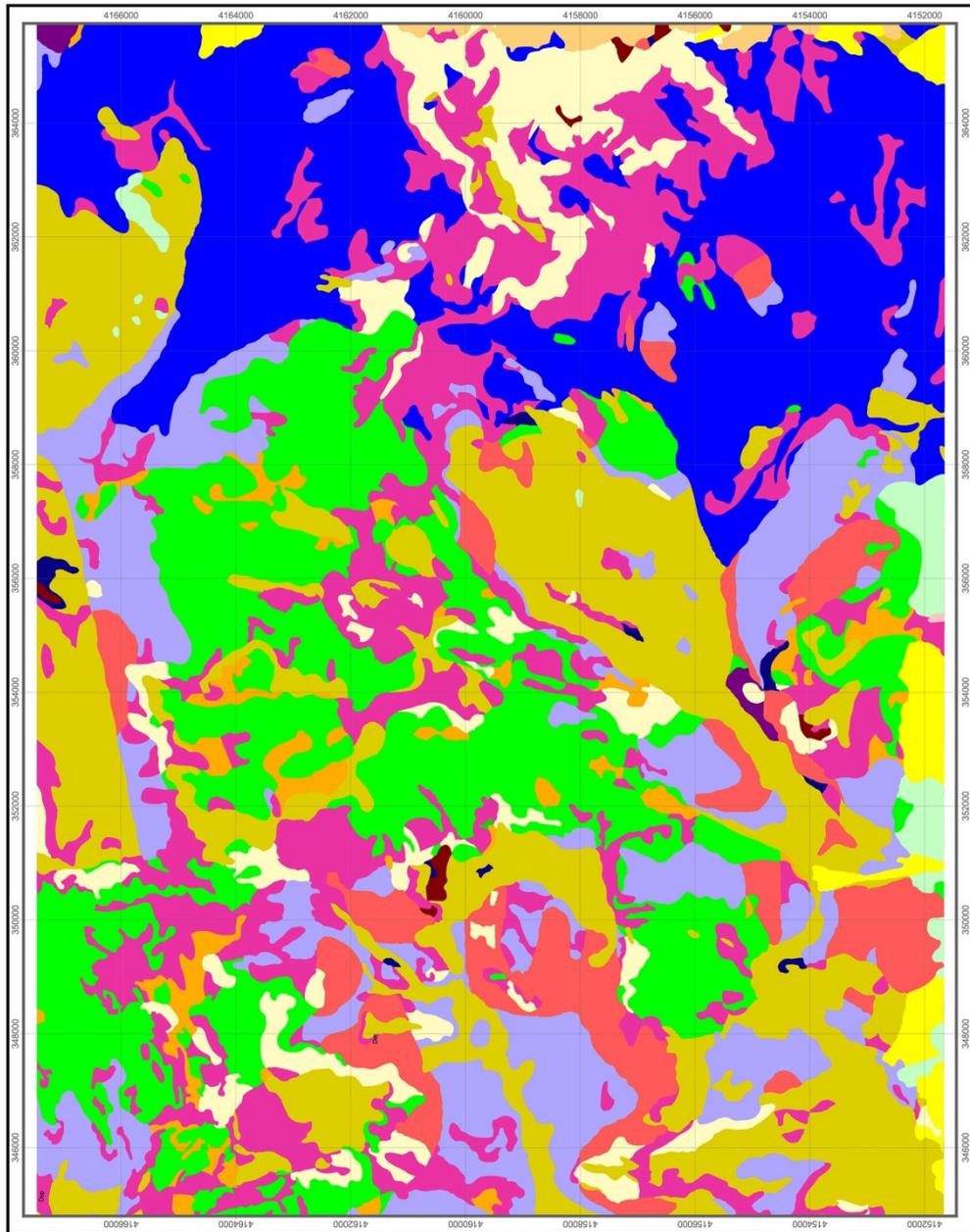
Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) Huso 30 Zona S. Elipsoide de referencia GRS80. Datum: European Terrestrial Reference System (ETRS89).

Clases de Capacidad de Uso (9 factores)



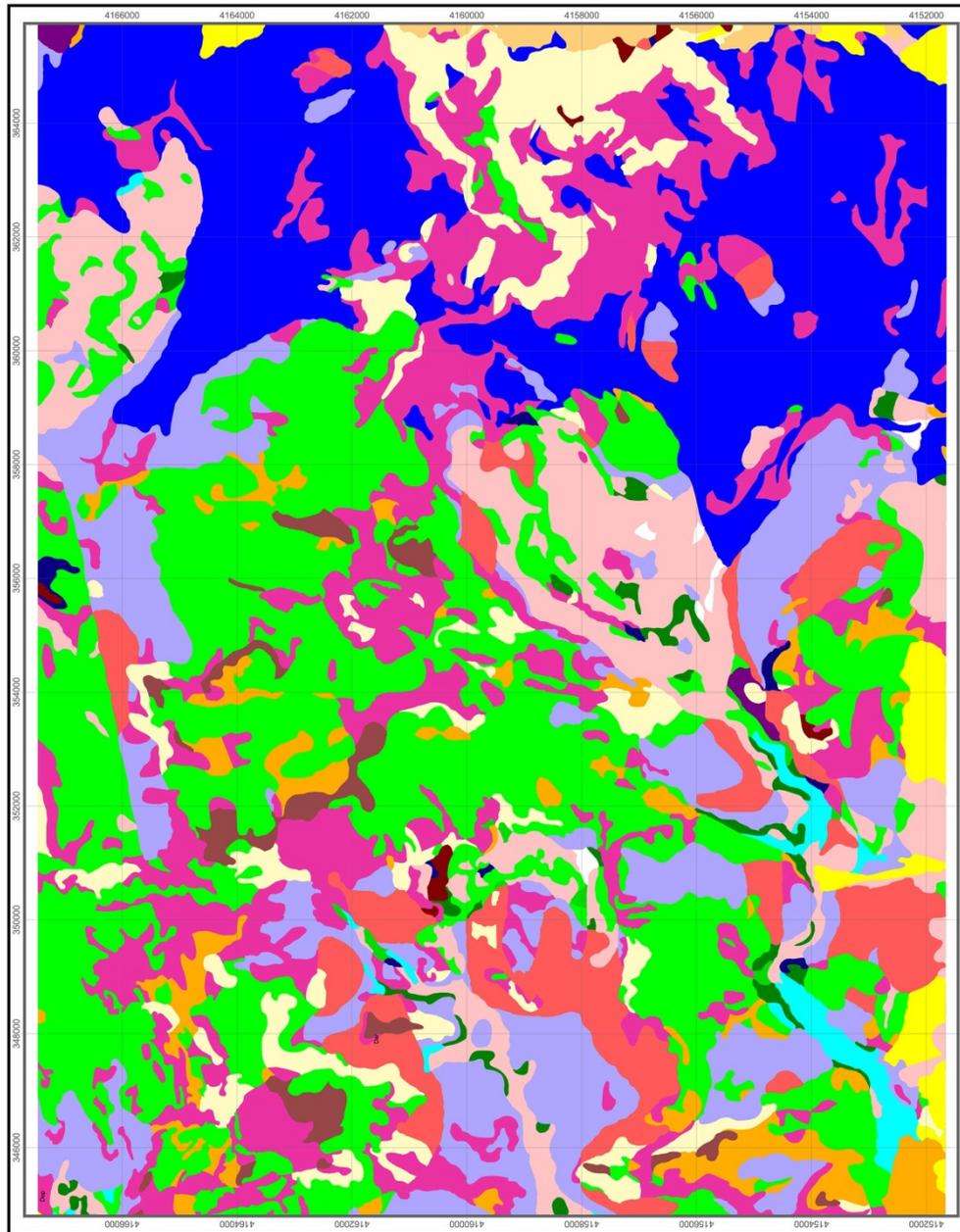
Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) Huso 30 Zona S. Elipsoide de referencia GRS80. Datum: European Terrestrial Reference System (ETRS89).

Subclases de Capacidad de Uso (12 factores)



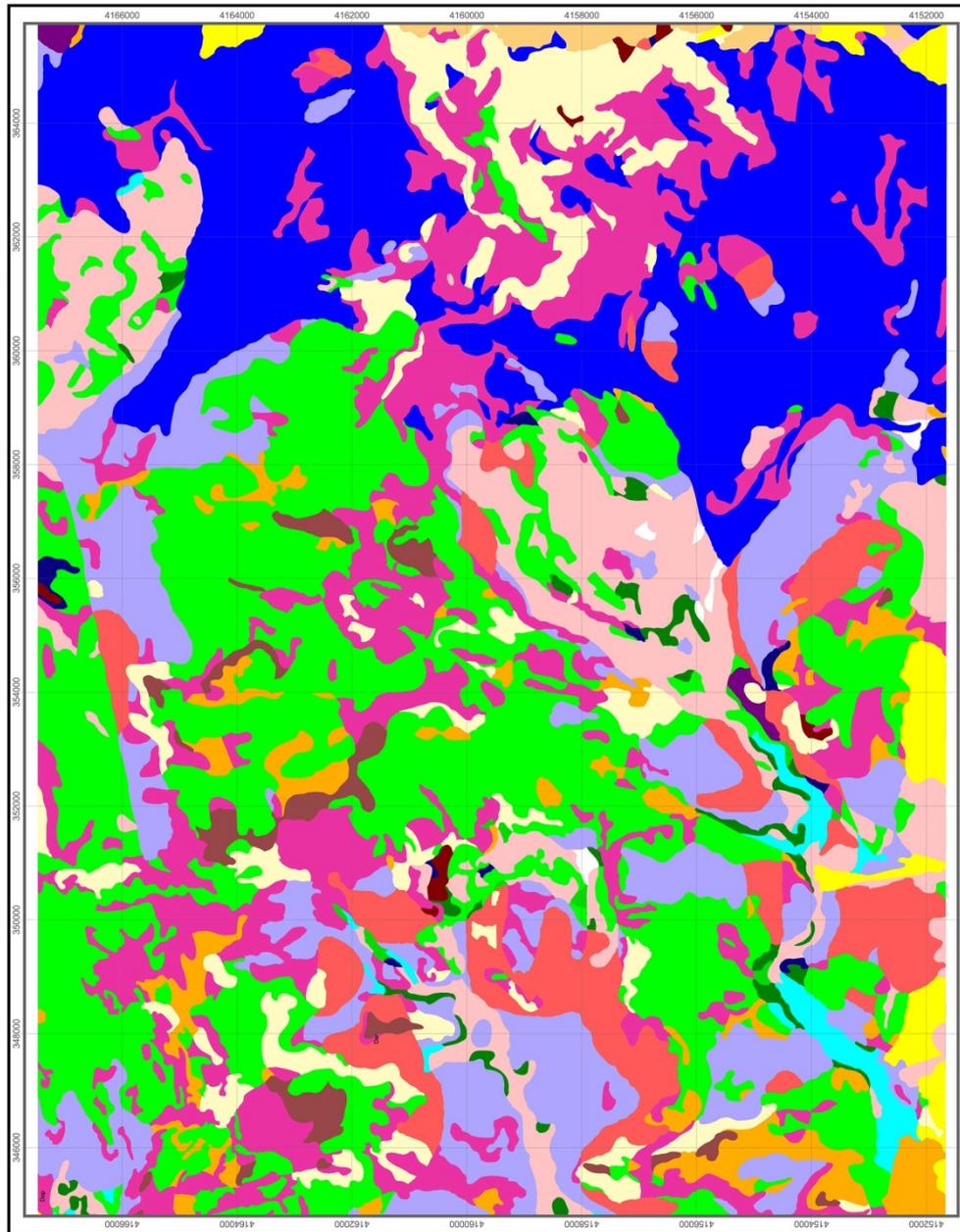
Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) Huso 30 Zona S. Elipsoide de referencia GRS80. Datum: European Terrestrial Reference System (ETRS89).

Subclases de Capacidad de Uso (11 factores)



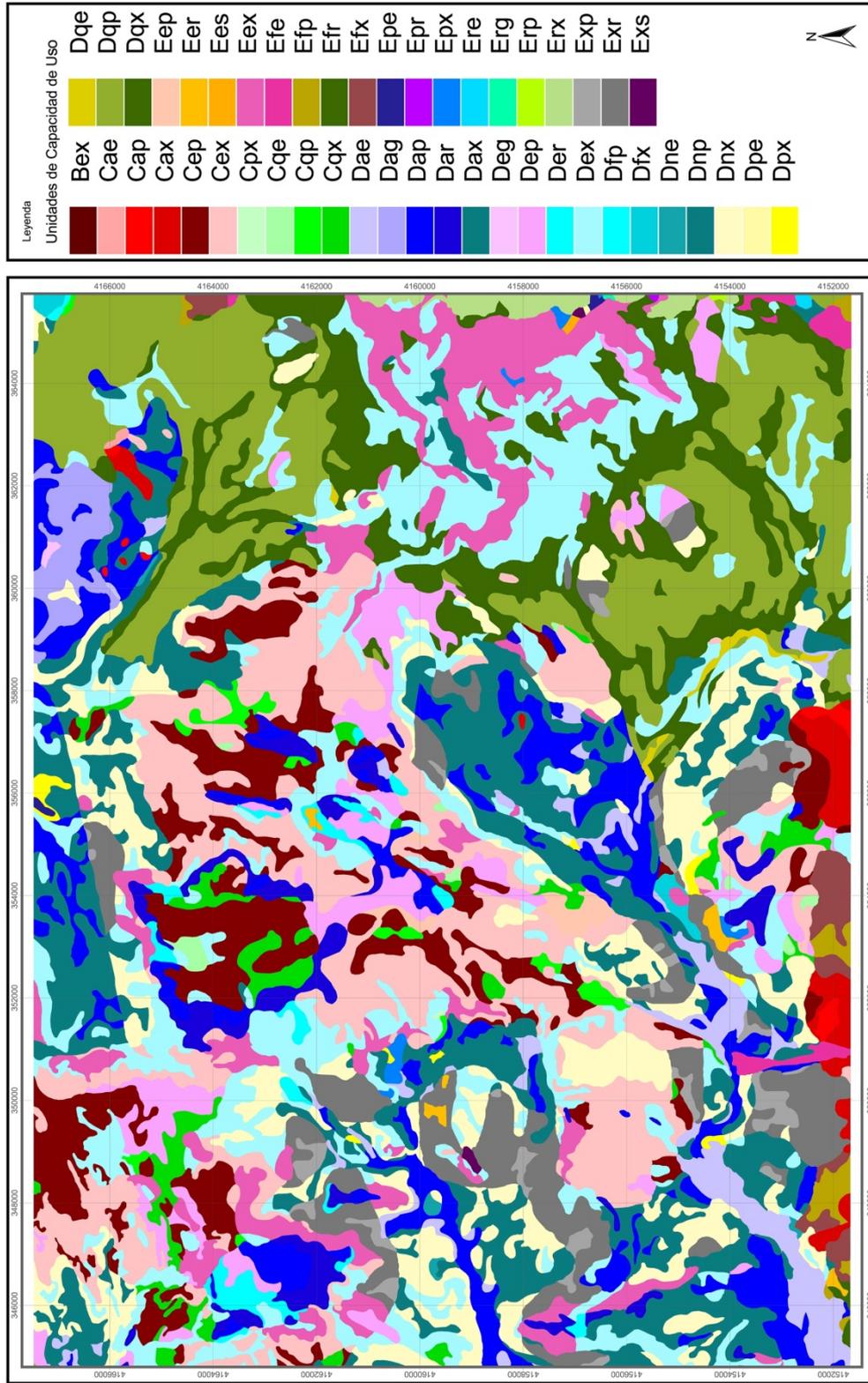
Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) Huso 30 Zona S. Elipsoide de referencia GRS80. Datum: European Terrestrial Reference System (ETRS89).

Subclases de Capacidad de Uso (9 factores)



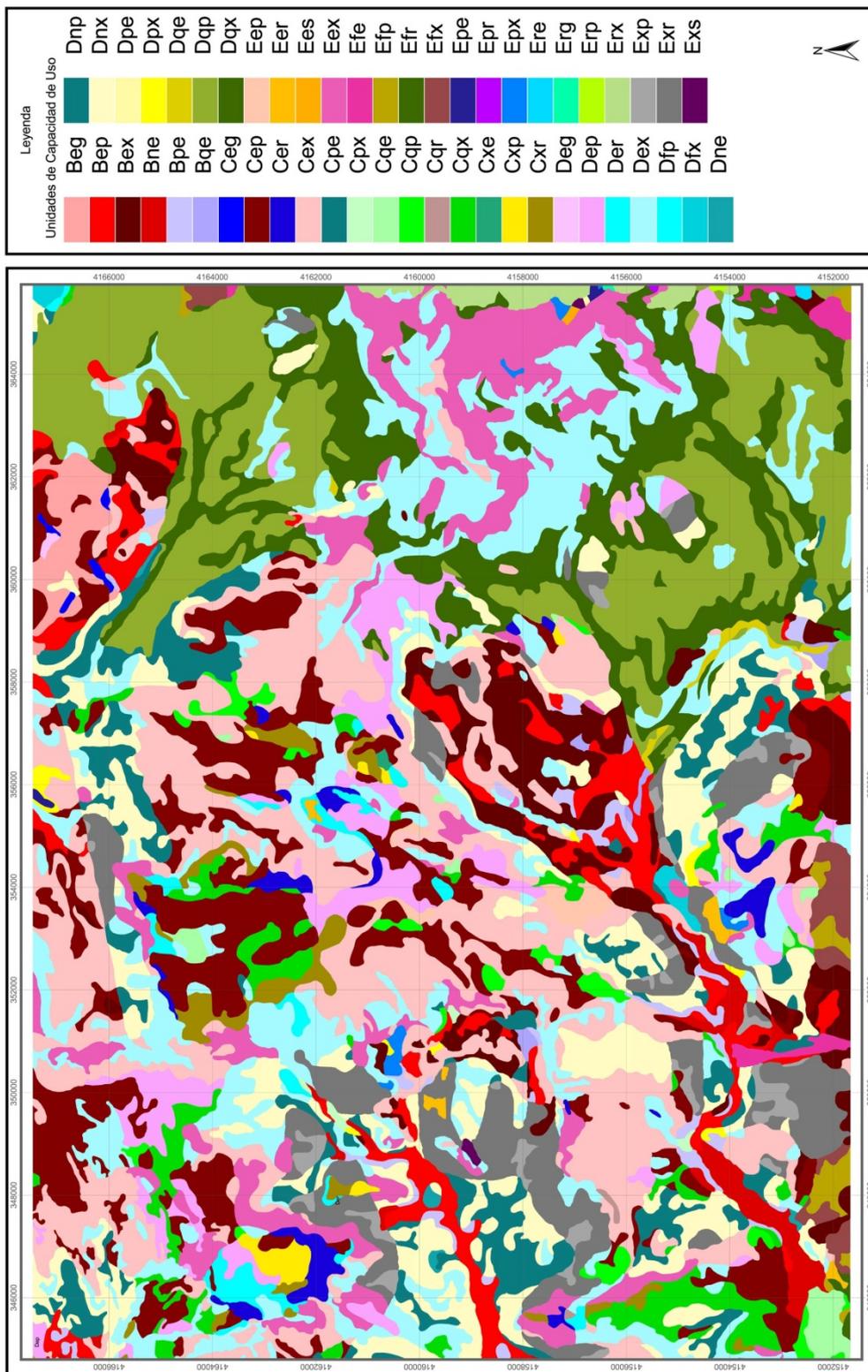
Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) Huso 30 Zona S. Elipsoide de referencia GRS80. Datum: European Terrestrial Reference System (ETRS89).

Unidades de Capacidad de Uso (12 factores)



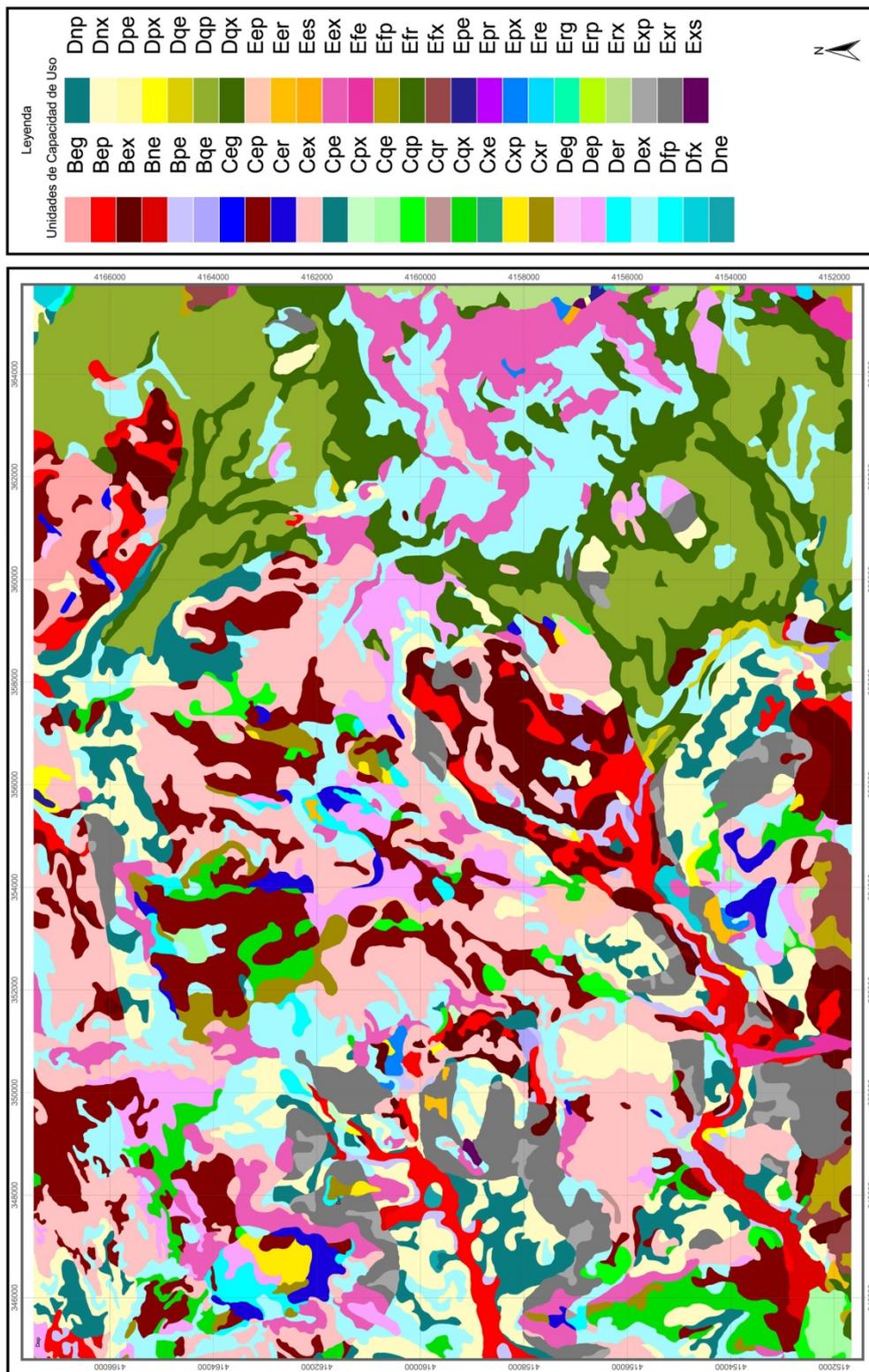
Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) Huso 30 Zona S. Elipsoide de referencia GRS80. Datum: European Terrestrial Reference System (ETRS89).

Unidades de Capacidad de Uso (11 factores)



Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) Huso 30 Zona S. Elipsoide de referencia GRS80. Datum: European Terrestrial Reference System (ETRS89).

Unidades de Capacidad de Uso (9 factores)



Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) Huso 30 Zona S. Elipsoide de referencia GRS80. Datum: European Terrestrial Reference System (ETRS89).

