
CARTOGRAFÍA DE LA CAPACIDAD AGROLÓGICA DE LAS TIERRAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID A ESCALA 1:50.000 (MAPA AGROLÓGICO DE LA COMUNIDAD DE MADRID)

MEMORIA 2004
Revisión y actualización 2012

RESUMEN

El Mapa de Capacidad Agrológica de las Tierras de la Comunidad de Madrid (1:50.000) fue realizado en 2004 a instancias de la Dirección General de Urbanismo y Estrategia Territorial de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. El Mapa establece en la Región 7 clases agrológicas (de la 2 a la 8) en función de su capacidad de uso agrario y resistencia a la degradación. Las unidades cartográficas originales se obtuvieron a partir de las hojas en formato digital del Mapa Geológico Nacional (1:50.000), Mapa Topográfico Nacional (1:25.000), mapas de pendientes, perfiles de suelos existentes en la bibliografía y observaciones de campo. Debido a su carácter de recurso de importancia nacional a preservar, la Clase Agrológica 2 ha sido revisada y afinada en el 2012 a una escala de detalle a partir de las siguientes fuentes de información: Ortofotos del 2009 (1:5000), Catastro de Rústica de la Comunidad de Madrid del 2010 (1:1000), Sistema de Información de Ocupación del Suelo (SIOSE) de 2009 (1:25.000), Estudio de la Caracterización y Tipificación de los Regadíos existentes en la Comunidad de Madrid de 2010, Mapa Topográfico Nacional (1:25.000), curvas de nivel 1:10.000 de la Cartografía Regional de la Comunidad de Madrid y nuevas observaciones de campo.

El sistema geodésico de referencia es Datum European 1950 y la proyección cartográfica la Universal Transversa Mercator (UTM).

1. INTRODUCCIÓN

2. ESQUEMA METODOLÓGICO GENERAL

3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD AGROLÓGICA DE LAS TIERRAS

3.1. ESTRUCTURA DE LA CLASIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD AGROLÓGICA.

3.2. DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES Y CUALIDADES DE LAS TIERRAS.

3.2.1. Propiedades relativas al clima.

3.2.2. Propiedades relativas a la erosión del suelo.

3.2.3. Propiedades relativas al exceso de humedad del suelo.

3.2.4. Propiedades relativas a las condiciones en la zona de desarrollo de raíces.

3.2.5. Propiedades relativas a las condiciones de laboreo

3.2.6. Propiedades relativas a las condiciones de riesgo de salinización y alcalinización

3.3. CLASES AGROLÓGICAS EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES Y CUALIDADES DE LAS TIERRAS.

4. ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA

4.1. METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE UNIDADES DE TIERRAS.

4.1.1. Territorios

4.1.2. Ámbitos

4.1.2.1. Ámbitos de la Sierra

4.1.2.2. Ámbitos de la Cuenca Sedimentaria

4.1.3. Tierras

4.1.4. Leyenda del mapa de unidades de tierras

4.2. METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE CAPACIDAD AGROLÓGICA.

4.2.1. Determinación de las propiedades y cualidades de las tierras

4.2.1.1. Procesamiento de los datos climáticos

4.2.1.2. Procesamiento de los datos edáficos

4.2.1.3. Procesamiento de los datos de calidad de agua para riego

4.2.2. Obtención del mapa de capacidad agrológica de las tierras

5. CLASES Y SUBCLASES AGROLÓGICAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

6. CONCLUSIONES

7. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCIÓN

Puesto que el concepto tierra forma parte esencial del título del trabajo, es preciso, en primer lugar, definirlo. Se entiende por tierra una unidad espacial relativamente homogénea en sus propiedades físicas, entre las que cabe destacar clima y suelo. La tierra es, por tanto, un recurso natural productivo, base de la actividad agraria, y a la vez frágil y limitado. Tanto la degradación como el cambio de uso a otra actividad no agraria suponen no sólo destruir un factor básico de la agricultura actual sino también hipotecar las oportunidades agrarias de las generaciones futuras.

La mayor amenaza que pesa sobre las tierras de la Comunidad de Madrid es el paso de elemento productivo a elemento inerte, es decir, mero soporte físico de una actividad no agraria, como urbana, industrial, viaria, etc. En la Comunidad de Madrid, como en muchos otros lugares, el fenómeno es extenso y rápido, y al mismo tiempo inevitable. Afecta a muchas tierras, entre ellas, algunas irremplazables.

La política de ordenación territorial ha de prestar especial atención a la preservación de las mejores tierras y a su uso sostenible con el fin de garantizar su valor agronómico en general y su fertilidad natural en particular.

A esta necesidad responde el Convenio de colaboración firmado entre la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes de la Comunidad de Madrid y la Universidad Politécnica de Madrid a través del Departamento de Edafología de la E.T.S. de Ingenieros Agrónomos para la realización de la Cartografía de la Capacidad Agrológica de las Tierras de la Comunidad de Madrid a escala 1:50.000.

2. ESQUEMA METODOLÓGICO GENERAL

Para la elaboración de la presente cartografía se ha desarrollado en primer lugar el método "Clasificación de la capacidad agrológica de las tierras", que es una adaptación de sistema *Land Capability Classification* (Klingebiel y Montgomery, 1961), donde se definen de forma específica las propiedades y cualidades de las tierras a considerar para obtener la clase y subclase agrológica. Estas propiedades se han seleccionado en función de su influencia en la capacidad agraria de las tierras y de la disponibilidad de información a la escala del presente trabajo.

El siguiente paso ha consistido en la obtención de unidades cartográficas con características relativamente homogéneas, que denominamos "tierras", y sobre las que se aplica el método de Clasificación de capacidad agrológica de las tierras. Para obtener esta primera cartografía, se siguen las directrices generales del sistema "*Land System Approach*" que permite obtener divisiones del área de estudio en aproximaciones sucesivas de forma que primero se obtienen unidades de gran extensión denominadas "territorios", donde se delimitan a continuación los "ámbitos", los cuales son finalmente subdivididos en las "tierras". Para las dos primeras subdivisiones se consideran básicamente grandes procesos geológicos y el clima.

Tanto la extensión del territorio a caracterizar como el tiempo previsto y el presupuesto no ha permitido abordar la realización de una cartografía de suelos en sentido estricto como sería deseable. Por consiguiente, para la obtención de las unidades cartográficas de tierras se ha optado por considerar como fuente preliminar las unidades cartográficas de los mapas geológicos a escala 1:50.000 del Instituto Geológico y Minero (Plan MAGNA). Las unidades de los mapas geológicos se han modificado para reflejar características edáficas en lugar de geológicas a partir de la información obtenida en observaciones de campo, mapas topográficos, mapas de pendientes y perfiles de suelos existentes en la bibliografía. La modificación de los recintos y definición de las tierras se ha realizado de forma digital en los archivos electrónicos de cada mapa geológico.

A continuación se ha determinado para cada unidad de tierra previamente identificada el correspondiente valor de las propiedades y cualidades de las tierras definidas para la obtención de su clase y subclase agrológica. Estos valores se han obtenido por dos vías, una a través de la información recogida mediante numerosas observaciones realizadas en campo y otra a través de información bibliográfica existente. Mediante un programa informático específico y a partir de los valores anteriormente obtenidos y digitalizados se ha determinado la clase y subclase agrológica de cada unidad. Los resultados se han conectado a un sistema de información geográfica que ha

permitido la edición de la cartografía de unidades de tierras y, a partir de ella, la de capacidad agrológica de tierras.

3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD AGROLÓGICA DE LAS TIERRAS

Los dos sistemas de Evaluación de tierras más extendidos en España son *Land Capability Classification* de Klingebiel y Montgomery (1961) y *A New System of Appraisal in terms of Actual and Potential Productivity* de Riquier, Bramao y Cornet (1970). El primero ha sido aplicado por el Ministerio de Agricultura (1974) y por Sánchez et al. (1984), aunque en este caso siguiendo la versión modificada por Azevedo y Cardoso (1962). El segundo ha sido aplicado por Ocio et al. (1987) y, combinándolo con principios de la FAO (1976), por Aguilar y Ortiz (1992).

El método seguido en el presente trabajo se denomina "Clasificación de la capacidad agrológica de las tierras" y está basado en el sistema *Land Capability Classification* (Klingebiel y Montgomery, 1961) habiendo sido adaptado por Gallardo y colaboradores (2001) a las condiciones de la Península Ibérica.

La Clasificación de la capacidad agrológica de las tierras indica la capacidad para producir cultivos, pastos y/o bosques sin que ello implique degradación a largo plazo. Esta clasificación se basa en el siguiente orden de preferencia: uso agrícola con la mayoría de los cultivos posibles ⁽¹⁾ (atendiendo fundamentalmente a los más frecuentes), uso agrícola restringido a algunos de los cultivos posibles, uso ganadero en prados mejorados o susceptibles de ser mejorados, uso ganadero en pastizales naturales o, al mismo nivel, uso forestal, uso como áreas naturales, de esparcimiento, etc.

- (1) Los cultivos posibles son cereales de invierno (trigo, cebada, avena, triticale), cereales de verano (como maíz y sorgo, pero excluido el arroz), leguminosas grano (judías, habas, lentejas, garbanzos, guisantes, veza, altramuza, yeros); cultivos forrajeros (maíz forrajero, alfalfa, veza forrajera), cultivos industriales (patata, algodón, remolacha, cacahuete, cártamo, colza, girasol, tabaco, pimiento, azafrán, lúpulo, soja), hortalizas cuyo cultivo puede ser extensivo (sandía, melón, tomate, pimiento, ajo, espárrago, calabaza, calabacín, alcachofa, coliflor, cebolla, puerro, zanahoria, judías verdes) y cultivos leñosos (naranja, mandarina, pomelo, manzano, peral, albaricoque, cerezo, guindo, melocotón, nectarina, ciruelo, higuera, almendro, nogal, avellano, viñedo, olivar).

3.1. ESTRUCTURA DE LA CLASIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD AGROLÓGICA.

La Clasificación se estructura en tres categorías: clase, subclase y unidad. En este trabajo sólo se tienen en cuenta las categorías clase y subclase agrológica.

Clase agrológica

La primera categoría de la clasificación se divide en ocho unidades desde la clase agrológica 1 a la 8, es decir, desde la clase con más alta capacidad a la más baja. Esta división se basa en los aspectos negativos o limitaciones de las tierras. Las limitaciones hacen referencia al clima, la erosión, el exceso de agua en el suelo, las condiciones en la zona radicular, las condiciones de laboreo y, en el caso de tierras regadas, a la calidad del agua de riego. Las climáticas están relacionadas lógicamente con la precipitación y la temperatura; las erosivas con la tasa de erosión, el grado de erosión, y el sellado y encostramiento; las de humedad con el drenaje y la inundación; las edáficas con el almacenamiento de agua en el suelo, el espesor efectivo, la compactación, la permeabilidad, el pH, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido en carbonatos, la conductividad eléctrica y el porcentaje de saturación en sodio; las de laboreo con el contenido de fragmentos rocosos, la pedregosidad y la pendiente; y el agua de riego con el riesgo de salinización/alcalinización.

A continuación se definen las clases agrológicas en función de sus limitaciones (Tabla 1) y sus usos posibles (Tabla 2):

Clase agrológica 1: las tierras de esta clase no tienen limitaciones o son de escasa importancia, por lo que puede dedicarse a uso agrícola con cualquiera de los cultivos posibles.

Clases agrológicas 2 a 4: las tierras de estas clases pueden dedicarse a uso agrícola pero la gama de cultivos posibles se va reduciendo por causas climáticas, erosivas, de exceso de agua, edáficas, de laboreo o de calidad del agua de riego.

- Clase agrológica 2: las tierras de esta clase son adecuados para la mayoría de los cultivos, pero no para todos.
- Clase agrológica 3: las tierras de esta clase no soportan ya una importante gama de cultivos.

- Clase agrológica 4: las tierras de esta clase presentan condiciones muy restrictivas, por lo que se reduce considerablemente la gama de cultivos que pueden admitir.

Clases agrológicas 5 a 8: estas clases no pueden, en general, dedicarse a uso agrícola.

- Clase agrológica 5: las tierras de esta clase no tienen riesgos de erosión pero presentan otras limitaciones prácticamente imposibles de eliminar que impiden el uso agrícola.
- Clase agrológica 6: las tierras de esta clase presentan severas limitaciones que orientan su uso hacia prados; estos prados pueden ser mejorados por el hombre.
- Clase agrológica 7: las tierras de esta clase tienen muy severas limitaciones y su uso está restringido a pastizales o bosques.
- Clase agrológica 8: las tierras de esta clase no pueden dedicarse a ninguna actividad agraria, únicamente son adecuadas para mejora y desarrollo de la vegetación natural, y, en consecuencia, para paisajismo y esparcimiento.

La tierra catalogada dentro de una clase agrológica particular es válida para el uso específico concreto que le corresponde pero también para todos los tipos de uso restantes. Así, las tierras de clase agrológica 1 son excelentes para uso agrícola con cualquier cultivo, pero también son válidas para uso ganadero, forestal y área natural. Las de clase agrológica 6 son adecuadas para uso ganadero en prados pero también para uso ganadero en pastizales, para bosques y para áreas naturales. Mientras que las de clase agrológica 8 tan sólo pueden ser dedicadas a áreas naturales. Es muy importante tener en cuenta que la clase agrológica no indica necesariamente cuál es el uso más rentable. Un suelo catalogado como adecuado para uso agrícola puede ser más rentable dedicado a pastos o bosques. La clase agrológica indica exclusivamente la gama de cultivos y otros usos que la tierra admite y/o el nivel de las técnicas de manejo y conservación que precisa.

Tabla 1. Clases Agrológicas y sus limitaciones.

Clase agrológica	Observaciones
1	Tierras con limitaciones a lo sumo ligeras que no restringen su uso.
2	Tierras con limitaciones moderadas que reducen la gama de cultivos o requieren ciertas técnicas de manejo.
3	Tierras con severas limitaciones que reducen la gama de cultivos y/o requieren especiales técnicas de manejo.
4	Tierras con limitaciones muy severas que restringen de forma significativa la gama de cultivos y/o requieren técnicas de manejo muy complejas.
5	Tierras con poco o ningún riesgo de erosión pero con otras limitaciones difícilmente superables que restringen su uso principalmente a prados, pastizales, bosques o áreas naturales.
6	Tierras con severas limitaciones que las hacen normalmente inadecuadas para el cultivo y que restringen su uso a prados, pastizales, bosques o áreas naturales.
7	Tierras con limitaciones muy severas que las hacen inadecuadas para el cultivo y que restringen su uso a pastizales, bosques o áreas naturales.
8	Tierras con limitaciones que impiden su uso agrario comercial y que limitan su uso a áreas naturales.

Tabla 2. Clases agrológicas y tipos de uso alternativos (Klingebiel & Montgomery, 1961; Dent & Young, 1981).

Clases Agrológicas	Limitaciones	Cultivos	Capacidad				
			Agrícola	Prados mejorados	Pastizales	Forestal	Área natural Esparcimiento
1	A lo sumo ligeras	Todos los posibles	X	X	X	X	X
2	Moderadas	Casi todos los posibles	X	X	X	X	X
3	Severas	Número aún apreciable	X	X	X	X	X
4	Muy severas	Número considerablemente reducido	X	X	X	X	X
5	Otras distintas a erosión			X	X	X	X
6	Severas			X	X	X	X
7	Muy severas				X	X	X
8	Muy severas						X

Subclase agrológica

Es la segunda categoría de la clasificación de la capacidad agrológica de los suelos. La subclase se define mediante una o dos letras subíndices que se aplica o aplican a la clase agrológica correspondiente, de acuerdo con el siguiente orden: e, w, s, l, a, c. Estas letras subíndices indican que las limitaciones más importantes que afectan al uso de las tierras son:

- (e) problemas de erosión y escorrentía;
- (w) exceso de agua en el suelo;
- (s) limitaciones en la zona de desarrollo de raíces;
- (l) problemas para el laboreo y otras prácticas agrarias;
- (a) riesgo de salinización/alcalinización por agua de riego;
- (c) limitaciones climáticas.

Unidad de capacidad

Es la tercera categoría de la clasificación de la capacidad agrológica de las tierras. Agrupa una o más unidades cartográficas de tierra que tienen similar potencial y limitaciones.

3.2. DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES Y CUALIDADES DE LAS TIERRAS.

Para la determinación de la capacidad agrológica hay que tener en cuenta una serie de propiedades y cualidades de las tierras que se deben caracterizar. Estas propiedades y cualidades se han separado en cinco grandes grupos: clima, degradación, condiciones de aireación en el suelo, condiciones en la zona de desarrollo de raíces y condiciones de laboreo. Para las zonas de regadío cabe hablar además del riesgo de salinización/alcalinización como una propiedad más.

Clima. El clima influye directamente sobre la dinámica y el comportamiento productivo de los suelos. Los factores climáticos que se tienen en cuenta son la humedad y la temperatura. En cuanto a la humedad, se considera la precipitación media anual y el período vegetativo, que determina el

tiempo durante el que es posible el crecimiento vegetativo. En caso de regadío, se prescinde del factor humedad. En temperatura, se tiene en cuenta la temperatura media del periodo Mayo-Septiembre y la media de los meses de Diciembre y Enero.

Erosión y escorrentía. La degradación es el problema más grave en el ámbito mediterráneo. Se considera el valor del coeficiente de cobertura vegetal (en función del sistema de cultivo) y el de las prácticas de conservación, obtenidos a partir de las pérdidas tolerables y el resto de factores de la USLE. Además se tiene en cuenta el grado de erosión, que define el estadio alcanzado por la acción erosiva en el pasado. Por último se incluye el sellado y encostramiento, que es una medida indirecta de la escorrentía superficial y por tanto de la erosión.

Exceso de agua en el suelo. El exceso de agua en el suelo es un factor desfavorable para la actividad agrícola. Para definir esta condición se consideran el drenaje y la inundación.

Condiciones en la zona de desarrollo de raíces. El desarrollo de los sistemas raíces depende de una serie de condiciones como el almacenamiento de agua en el suelo, el volumen que las raíces pueden explorar, la compactación, la permeabilidad, el contenido de nutrientes, y determinadas características desfavorables como acidez, carbonatos, sales y sodio de cambio.

Condiciones de laboreo. Hoy día no es posible una actividad de carácter extensivo sin mecanizar. Por ello las condiciones de traficabilidad y desgaste han de tenerse muy en cuenta. Esta cualidad se mide mediante el contenido en fragmentos rocosos del horizonte superficial y la pedregosidad de grueso diámetro en la superficie. Además se considera la pendiente del terreno.

Adicionalmente, en las zonas de regadío se incluye:

Riesgo de salinización/alcalinización. El regadío es particularmente necesario en el ámbito mediterráneo donde las altas temperaturas coinciden en el tiempo con la falta de humedad. Pero el regadío en este ambiente es proclive a causar la salinización/alcalinización de las tierras. En las zonas regadas se tiene en cuenta la calidad de las aguas de riego de acuerdo con las normas Riverside.

A continuación, se detallan todas las propiedades y cualidades de las tierras seleccionadas, se razona la necesidad de la toma en consideración de cada una y se catalogan desde la situación óptima, es decir sin limitaciones para el uso agrícola, hasta la situación más desfavorable.

3.2.1. Propiedades relativas al clima.

Dentro de este apartado, se han seleccionado cuatro propiedades:

Precipitación media anual. La humedad es un factor clave para la producción vegetal. Se considera que precipitaciones medias anuales del orden o superiores a 600 ó 700 mm son suficientes para la mayoría de los cultivos (Gil Albert, 1986; Urbano, 1995), aunque, naturalmente, es preciso tener en cuenta el reparto estacional de las lluvias. Por otro lado, se estima que precipitaciones inferiores a 300 mm son insuficientes para obtener prácticamente cualquier cultivo. Ahora bien, si la tierra está bajo riego automáticamente se considera que esta propiedad está en situación óptima.

Los valores de corte son:

700 mm

550 mm

400 mm

300 mm

Número de meses con actividad vegetativa. Los meses con actividad vegetativa es el periodo húmedo según Gaussen con precipitación media superior a dos veces la temperatura media ($P > 2 \cdot tm$), y, a la vez, con temperatura media (tm) superior a 6 °C. Se considera situación óptima cuando la actividad vegetativa dura nueve meses y medio o más y marginal cuando dura tres meses y medio o menos. En el primer caso todos los cultivos son viables mientras que en el segundo el número de cultivos es reducido e incluso muestran baja viabilidad. En las tierras de regadío no se considera la exigencia de humedad y únicamente se toma la condición térmica para definir el número de meses con actividad vegetativa.

Los valores de corte son:

9,5 meses

7,5 meses

5,5 meses

3,5 meses

Temperatura media del período mayo-septiembre ($1/5\sum tm_{\text{mayo-septiembre}}$). Esta propiedad no es aplicable a todos los cultivos sino sólo a los exigentes en calor. En sentido amplio se aplica a los cultivos de verano y, sobre todo, a los que exigen apreciable temperatura en esta estación. Temperaturas medias mensuales superiores a 22 °C representan una situación óptima para algunos cultivos como el algodón, los cultivos leñosos, etc. Otros, por el contrario, vegetan mejor con temperaturas algo menos elevadas como, por ejemplo, el maíz. La práctica totalidad de estos cultivos exigen más de 13 °C.

Los valores de corte son:

22 °C

19 °C

16 °C

13 °C

Temperatura media de los meses diciembre-enero ($1/2\sum tm_{\text{diciembre y enero}}$). Esta propiedad es adecuada para separar las tierras donde es posible el desarrollo de prácticamente cualquier cultivo, incluidos los cítricos, de aquellas otras donde estos últimos están excluidos. El límite está aproximadamente en 8°C de media entre diciembre y enero.

3.2.2. Propiedades relativas a la erosión del suelo.

Cobertura vegetal y prácticas de conservación (C x P).

La ecuación universal de pérdida de suelo USLE (Wischmeier y Smith, 1975), es un método que permite estimar la erosión hídrica acelerada. Es un modelo paramétrico, totalmente empírico. Su bondad depende del rigor con que se estiman los cinco multiplicandos que componen la ecuación. Esta formulación sólo evalúa la pérdida de suelo producida por la erosión hídrica entre regueros y en regueros, sin considerar las formas de erosión en cárcavas y barrancos.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Donde:

A	pérdida de suelo ($Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)
R	erosividad de la lluvia
K	erosionabilidad del suelo
L	longitud de la ladera
S	pendiente de la ladera

C	cobertura vegetal
P	prácticas de conservación

Factor R. Determina la erosividad de la lluvia. Se toma el valor correspondiente de la estación más próxima al área de estudio (ICONA, 1988).

Factor K. Determina la erosionabilidad del suelo. La erosionabilidad del suelo se determina mediante la fórmula de Wischmeier, Johnson and Cross (1971), tomando las propiedades necesarias para los 18 cm superficiales. El uso del nomograma exige datos de arena muy fina y permeabilidad. En caso de no disponer del dato de arena muy fina se puede obtener un valor aproximado utilizando el diagrama semilogarítmico de textura. La permeabilidad es una de las cualidades que se necesitan en este método, y se puede estimar a partir de las propiedades del suelo. A veces es preciso corregir el valor de K cuando el suelo contiene fragmentos rocosos en la superficie.

Factor LS. Este factor considera el efecto de la pendiente y de la longitud de la misma sobre las pérdidas de suelo. La longitud de la pendiente es la distancia entre el punto de origen del flujo de escorrentía hasta el punto donde se incorpora a un cauce de cualquier orden de la red de drenaje o donde disminuye la velocidad y comienza la sedimentación. Tanto la pendiente como la longitud de la misma se miden en campo o sobre mapa topográfico.

Factor C. Tiene en cuenta la eficiencia de la cubierta vegetal en la protección del suelo. Esta eficiencia se expresa mediante la relación entre la pérdida de suelo en una parcela con una determinada vegetación y la que tendría lugar en otra similar en barbecho continuo. En este caso, se ha considerado que en terreno agrícola el factor C más elevado es 0.5. Es decir, que en un suelo con un cultivo o rotación de cultivos de baja protección, el riesgo de erosión es la mitad que en barbecho blanco.

Factor P. Este factor indica la relación entre la cantidad de suelo que se pierde utilizando dicha práctica y la que se perdería sin ninguna práctica de conservación y labrando según la máxima pendiente para un determinado tipo de práctica de conservación.

Tabla 3. Valores del factor P (Wischmeier y Smith, 1965).

Pendiente (%)	Cultivo según curvas de nivel	Cultivo en fajas	Cultivo en terrazas
1.1 – 2	0.60	0.30	0.12
2.1 – 7	0.50	0.25	0.1
7.1 – 12	0.60	0.30	0.12
12.1 – 18	0.80	0.40	0.16
18.1 - 24	0.90	0.45	0.18

Uno de los principios del método de Clasificación de la capacidad agrológica de las tierras es que el uso que se haga de ellas no induzca la degradación del medio. Para comprobar qué cultivos y otros usos son posibles de acuerdo con ese principio se despeja en la ecuación de la USLE los factores $C \times P$ y en el numerador se sitúa una constante, el nivel máximo de tolerancia de pérdida de suelo T (Tabla 4).

$$C \times P = T / R \times K \times LS$$

Cuanto más elevado sea el denominador, más bajo será el resultado, y, por tanto, quedarán excluidos los cultivos y otros usos que favorezcan la degradación del medio por erosión.

Tabla 4. Nivel de tolerancia de pérdida de suelo. Modificado de SSS,1996.

NSSH Exhibit 618-14.

Profundidad de una capa limitante al desarrollo radicular	Nivel de tolerancia de pérdida de suelo $Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$
0-50 cm	2.5
50-100 cm	5.0
100-150 cm	7.5
>150 cm	12.0

Para la catalogación de esta propiedad se han tenido en cuenta a diversos autores, sobre todo, Moreira (1991) e ICONA (1982). Valores altos de C x P indican que la tierra soporta sistemas de cultivo más intensivos y favorecedores de la erosión, mientras que valores bajos imponen usos que garanticen densas y permanentes cobertura vegetales y/o prácticas de conservación especiales. Los valores de corte son:

0.5

0.4

0.2

0.04

Grado de erosión. El grado de erosión define la situación en que se encuentra la tierra como consecuencia de la actuación de este fenómeno a lo largo del tiempo. Se distinguen cuatro clases:

Nulo. Si ha habido erosión, se manifiesta en un ligero adelgazamiento del horizonte superior.

Ligero. El horizonte superior (A o E) está sensiblemente adelgazado y las labores profundas mezclan el horizonte superior con el subyacente (normalmente B). En pequeñas zonas el horizonte superior puede haber sido eliminado. En zonas no labradas la erosión ha creado algunos regueros.

Moderado. El horizonte superficial (A o E) ha sido en buena medida eliminado. El horizonte subyacente (normalmente B) aparece en superficie en la mayor parte del área. En zonas no labradas se aprecian además de regueros algunas cárcavas.

Severo. El horizonte B ha sido eliminado en algunas zonas. Los horizontes profundos, normalmente ricos en CaCO₃, aparecen en superficie formando rodales. En zonas no labradas son relativamente frecuentes las cárcavas.

Extremo. La degradación del suelo por erosión es muy acusada. Los horizontes inferiores, con o sin CaCO₃, son dominantes en la superficie. El horizonte superficial (A o E) ha sido prácticamente eliminado y el horizonte B, si existía, se conserva tan sólo en pequeñas zonas. En zonas no labradas las cárcavas constituyen un rasgo destacable del paisaje.

Sellado y encostramiento superficial. La rotura de la estructura y dispersión de las partículas por efecto de las gotas de agua en un suelo desnudo es la causa principal del proceso de sellado superficial (Porta *et al.*, 1999). Concatenado con este proceso está el encostramiento superficial, en general milimétrico, que resulta del rápido secado de un suelo húmedo. Tanto el sellado como el encostramiento hacen disminuir la porosidad y por tanto favorecen la escorrentía superficial e, indirectamente, la erosión.

La fórmula de Rémy y Marin-Lafleche (1974) permite cuantificar el fenómeno:

$$I = [(1,5 \cdot Z_f + 0,75 \cdot Z_c)/(Ac + 10 \cdot MO)] - C$$

Z_f = % limo fino (0,002-0,02 mm)

MO = % materia orgánica

Z_c = % limo grueso (0,02-0,05 mm)

Ac = % arcilla

C = 0 si pH (1:2,5) ≤ 7

C = 0,2 · (pH - 7) si pH (1:2,5) > 7

Los valores de corte son:

1,6

2,0

3.2.3. Propiedades relativas al exceso de humedad del suelo.

Clases de drenaje. El drenaje refleja el movimiento del agua en el suelo. Este movimiento puede variar desde rápido hasta prácticamente nulo. Es, por lo tanto, una indicación de las condiciones de humedad en el suelo. En las situaciones extremas el desarrollo radicular puede verse afectado.

Excesivamente drenado. El agua pasa a través del suelo muy rápidamente. El suelo es de textura gruesa y no presenta rasgos hidromórficos. La conductividad hidráulica saturada es "muy alta".

Algo excesivamente drenado. El agua pasa a través del suelo rápidamente. El suelo es de textura gruesa y carece de rasgos hidromórficos. La conductividad hidráulica saturada es "alta".

Bien drenado. El agua pasa por el suelo con facilidad pero no rápidamente. El suelo puede saturarse ocasionalmente pero esta situación dura poco tiempo, sobre todo, dentro del período de crecimiento. Esta circunstancia no inhibe el desarrollo radicular. El suelo carece de rasgos hidromórficos o éstos aparecen en zona profunda.

Moderadamente bien drenado. El agua se mueve en el suelo lentamente. El suelo puede saturarse dentro de la zona radicular un cierto tiempo dentro del período de crecimiento. Esta situación puede deberse a una capa freática que alcanza al suelo en su fluctuación, a una conductividad hidráulica saturada "moderadamente baja" o más baja en algún horizonte dentro del metro superficial que da origen a una capa freática colgada de tipo temporal, o bien a que el suelo se encuentra en una zona con elevada precipitación.

Algo pobremente drenado. El suelo se satura con agua hasta escasa profundidad durante períodos significativos dentro del período de crecimiento. La saturación limita considerablemente la actividad agrícola. El suelo tiene una o más de las siguientes características, capa freática poco profunda, conductividad hidráulica saturada "baja" o "muy baja" que origina una capa freática colgada relativamente duradera, recepción de agua de escorrentía o bien a que se encuentra en una zona muy lluviosa.

Pobremente drenado. El suelo está saturado con agua hasta escasa profundidad buena parte del período de crecimiento. Lo prolongado del período de saturación impide el uso agrícola del terreno. No obstante la parte superficial del suelo suele estar aireada. El suelo tiene una o más de las siguientes características: capa freática somera, conductividad hidráulica saturada "baja" o "muy baja" con formación de una capa freática colgada que se mantiene un período de tiempo considerable, importante recepción de agua de escorrentía, o bien a que el suelo se encuentra en una zona muy lluviosa.

Muy pobremente drenado. El agua se encuentra sobre la superficie o muy cerca de ella durante la mayor parte del período de crecimiento. Comúnmente, el suelo está en zonas llanas o más frecuentemente en depresiones.

Las clases de conductividad hidráulica saturada se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Clases de conductividad hidráulica saturada (Schoeneberger *et al.*, 1998).

Clases K_{sat}	Criterio	
	(cm/h)	(m/s)
Muy baja	< 0,0036	< 10^{-8}
Baja	0,0036 a < 0,036	10^{-8} a < 10^{-7}
Moderadamente baja	0,036 a < 0,36	10^{-7} a < 10^{-6}
Moderadamente alta	0,36 a < 3,6	10^{-6} a < 10^{-5}
Alta	3,6 a < 36	10^{-5} a < 10^{-4}
Muy alta	≥ 36	$\geq 10^{-4}$

Inundación. Es una situación temporal en la que la superficie del terreno está cubierta por agua en movimiento. Esta propiedad de la tierra es muy difícil de precisar. Por ello únicamente se designan situaciones muy genéricas. El técnico ha de considerar cuál es la más fidedigna mediante deducción propia, mapas de riesgo y encuesta a agricultores. La inundación se cataloga, en función del nivel de ocurrencia, de la siguiente manera:

- Nunca
- Excepcional
- Ocasional
- Frecuente

3.2.4. Propiedades relativas a las condiciones en la zona de desarrollo de raíces.

Almacenamiento de agua en el suelo. Cuando la precipitación supera a la evapotranspiración el excedente de agua o al menos parte del mismo queda almacenado en el suelo. Esta agua es aprovechada por las plantas (agua útil) y tiene particular importancia en los momentos de déficit de precipitaciones. Las sequías ocasionales dentro del período húmedo y la sequía estacional típica del mundo mediterráneo pueden ser compensadas, parcialmente en el segundo caso, por el agua almacenada en el suelo. Esta cualidad de la tierra es de la máxima importancia en las tierras de secano

(en regadío esta cualidad no tiene significación) por prolongar, a veces de forma vital para algunas plantas el período de crecimiento o de actividad vegetativa. Para definir esta cualidad de la tierra es preciso calcular simultáneamente: a) la reserva de agua máxima o teórica mediante el balance hídrico correspondiente a la estación de referencia y b) la capacidad de retención de agua disponible para las plantas (CRAD) que tiene el suelo hasta una profundidad máxima de 100 cm.

a) La reserva de agua máxima se obtiene mediante el balance hídrico (Thornthwaite and Mather, 1955), sumando las diferencias entre P (precipitación) y ETP (evapotranspiración) de todos los meses húmedos:

$$\text{Reserva} = \sum (P - \text{ETP}) \quad \text{Cuando } P > \text{ETP}.$$

b) La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) depende, entre otras propiedades, del espesor efectivo del suelo, textura, materia orgánica y fragmentos rocosos, y se calcula mediante la siguiente fórmula, aplicable a cada uno de los horizontes del suelo hasta una profundidad máxima de 100 cm.

$$\text{CRAD} = [(C_c - P_m)/100] \cdot d_a \cdot e \cdot (1 - f)$$

CRAD = capacidad de retención de agua disponible (cm de agua)

C_c = capacidad de campo (porcentaje de humedad gravimétrica), en principio equivalente a un potencial matricial de -33 kPa.

P_m = punto de marchitamiento (porcentaje de humedad gravimétrica), equivalente a un potencial matricial de -1500 kPa.

d_a = densidad aparente ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

e = espesor (cm)

f = tanto por uno en volumen de fragmentos rocosos

Cuando la capacidad de campo (C_c) y el punto de marchitamiento (P_m) están expresados en volumen en lugar de en peso, se prescinde de la densidad aparente en la fórmula. En caso de no disponer de datos de capacidad de campo y punto de marchitamiento se pueden utilizar las siguientes ecuaciones de regresión (Rawls *et al.*, 1992), que proporcionan los resultados en $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.

$$C_c (-33\text{kPa}) = 0,2576 - 0,002 \cdot \% \text{arena} + 0,0036 \cdot \% \text{arcilla} + 0,0299 \cdot \% \text{materia orgánica}$$

$$P_m (-1500\text{kPa}) = 0,026 + 0,005 \cdot \% \text{arcilla} + 0,0158 \cdot \% \text{materia orgánica}$$

Una vez obtenida la reserva máxima y la CRAD, se comparan. Si el valor más bajo obtenido corresponde a la reserva calculada por el balance hídrico quiere decir que el clima es demasiado seco y no aporta humedad suficiente para cubrir la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. Por el contrario, si el más bajo corresponde al cálculo de la CRAD quiere decir que el suelo no puede almacenar toda el agua que proporciona el clima, y el excedente escurrirá por la superficie del suelo y/o fluirá hacia zonas profundas sirviendo de recarga a los acuíferos.

Esta cualidad de la tierra la define el valor más bajo que se obtenga del cálculo de la reserva máxima y de la CRAD. Los valores de corte son:

150 mm

100 mm

50 mm

Espesor efectivo. Define ante todo la posibilidad del desarrollo de las raíces. El número de cultivos posibles, tanto leñosos como herbáceos, está condicionado por el espesor efectivo del suelo. El límite inferior del espesor efectivo se sitúa allí donde las raíces ya no pueden penetrar, normalmente en el medio mediterráneo por roca dura, costra caliza o yesífera, material muy yesífero (> 25%; Bridges, 1997), o cambio textural abrupto sobre horizonte o capa de carácter masivo. Los valores de corte son:

100 cm

75 cm

50 cm

25 cm

Compactación. La compactación dentro de la zona radicular es una de las principales formas de degradación en las tierras intensamente cultivadas (Lal *et al.*, 1989). La compactación reduce el volumen total de poros y rompe el equilibrio entre macro y microporos. La menor aireación y el difícil desarrollo de las raíces repercuten negativamente en la producción de biomasa. La causa de la compactación no es tanto la maquinaria pesada como el trabajo del suelo en condiciones inadecuadas, es decir, con un contenido de agua superior a la capacidad de campo (Finck, 1988).

Para la medida de la compactación se considera la relación de la densidad aparente de cada horizonte (d_a), principalmente de los subsuperficiales, con las densidades aparentes indicadoras de compactación (Tabla 6), que son aquellas que según la clase de familia textural del

suelo (Figura 1) marcan el inicio de la restricción al desarrollo radicular (d'_a) y la limitación al desarrollo radicular (d''_a).

Tabla 6. Valores de la densidad aparente que marcan el inicio de restricción y la limitación al desarrollo radicular (Soil Survey Staff, 1996).

Clase de familia textural del suelo	Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	
	Inicio de la restricción d'_a	Limitación al desarrollo radicular d''_a
Arenosa (<i>sandy</i>)	1,69	> 1,85
Franca		
Franca gruesa (<i>coarse loamy</i>)	1,63	> 1,80
Franca fina (<i>fine loamy</i>)	1,60	> 1,78
Limosa gruesa (<i>coarse silty</i>)	1,60	> 1,79
Limosa fina (<i>fine silty</i>)	1,54	> 1,65
Arcillosa* (<i>clayey</i>)		
35-45% arcilla	1,49	> 1,58
>45% arcilla	1,39	> 1,47

* En materiales ándicos el inicio de la restricción al desarrollo radicular puede presentarse con densidades aparentes más bajas.

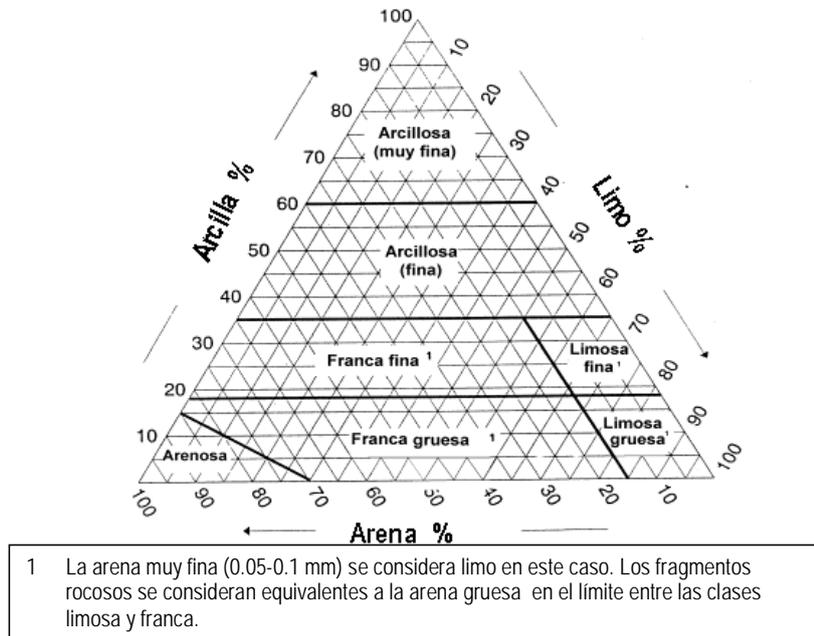
Esta cualidad se ordena de acuerdo con la relación entre la densidad aparente de un horizonte y las densidades de inicio de restricción y de limitación al desarrollo radicular. Los valores de corte son:

$$d_a < d'_a$$

$$d'_a < d_a < d''_a$$

$$d_a \geq d''_a$$

Figura 1. Clase de familia textural del suelo (Schoeneberger *et al.*, 1998)



Puesto que es difícil determinar la compactación por falta de datos de densidad aparente, se propone como medida alternativa, definir en el perfil del suelo la profundidad hasta donde se desarrollan las raíces, sobre todo las finas y muy finas que son las que absorben agua y nutrientes.

Permeabilidad. Mide la dinámica del agua y el aire en el suelo. Debido a que es difícil disponer de datos medidos de conductividad hidráulica saturada, se recomienda estimar la permeabilidad atendiendo a determinadas propiedades del suelo (Tabla 7). La primera propiedad a utilizar para el correcto manejo de dicha tabla es la clase de familia textural del suelo (Figura 1) o el porcentaje de arcilla, y después las restantes propiedades, entre ellas, la consistencia, la resistencia a la ruptura (Tabla 8), la estructura, la porosidad, etc., con las cuales se concreta la clase de permeabilidad.

Tabla 7. Guía para asignar la clase de permeabilidad a partir de las propiedades del suelo (adaptado y simplificado de SSS, 1996. Exhibit 618-9)

Permeabilidad	Propiedades importantes	Propiedades secundarias
Muy rápida y rápida	<ol style="list-style-type: none"> 1) Arenoso (<i>sandy</i>) suelto 2) Pedregoso (<10% de tierra fina) 	Muchos poros medianos y más gruesos, +5 por dm ² y >2mm
Moderadamente rápida	<ol style="list-style-type: none"> 1) Arenosa o franca gruesa (<i>sandy or coarse loamy</i>) suelto, blando, muy friable o friable 2) En muy húmedo o mojado: granular moderada o fuerte; poliédrica fuerte; prismática fuerte más fina que muy gruesa 	Muchos poros medianos y más gruesos, +5 por dm ² y >2mm
Moderada	<ol style="list-style-type: none"> 1) Arenosa o franca gruesa (<i>sandy or coarse loamy</i>) firme o muy firme 2) 18-35% de arcilla con estructura moderada, excepto laminar, o con prismática muy gruesa fuerte 	Frecuentes poros medianos y más gruesos, 1 a 5 por dm ² y >2mm
Moderadamente lenta	<ol style="list-style-type: none"> 1) Arenosa o franca gruesa (<i>sandy or coarse loamy</i>) extremadamente firme o cementada 2) 18 – 35% de arcilla y estructura de grado débil o masivo 3) ≥ 35% de arcilla y estructura moderada, excepto laminar o prismática muy gruesa 	No hay cutanes de presión ni <i>slickensides</i> Pocos poros medianos y más gruesos, < 1 por dm ² y > 2 mm
Lenta	<ol style="list-style-type: none"> 1) Cementación continua débil o moderada 2) ≥ 35% de arcilla y alguna de las siguientes: estructura débil; estructura laminar; comunes o muchos cutanes de presión o <i>slickensides</i> 	
Muy lenta	<ol style="list-style-type: none"> 1) Cementación continua fuerte y muy pocas o pocas raíces 2) ≥ 35% de arcilla y masivo o con estratificación horizontal; muy pocas o pocas raíces 	
Impermeable	Fuertemente cementado y sin evidencias de movimiento de agua ni desarrollo radicular	

Tabla 8. Resistencia a la ruptura ⁽¹⁾. Seleccione la columna acorde con el contenido de humedad (seco o húmedo) o, en caso necesario, la columna de cementación (SSS, 1993. Handbook N°18).

Seco Clase	Húmedo Clase	Cementación ⁽²⁾ Clase	La muestra se fractura bajo
Suelto	Suelto	-	No se puede obtener muestra
Blando	Muy friable	-	Muy ligera presión con los dedos < 8 N
Ligeramente duro	Friable	-	Ligera presión con los dedos 8 a < 20 N
Moderadamente Duro	Firme	-	Moderada presión con los dedos 20 a < 40 N
Duro	Muy firme	Débilmente cementado	Fuerte presión con los dedos 40 a < 80 N
Muy duro	Extremadamente firme	Moderadamente cementado	Moderada fuerza con la manos 80 a < 160 N
Extremadamente duro	Ligeramente rígido	Fuertemente cementado	Presión del pie con el peso del cuerpo 160 a < 800 N
-	-	Muy fuertemente cementado	Golpe < 3 J, pero no con el peso del cuerpo 800 N a < 3 J
-	-	Endurecido	Golpe > 3J (3 J = 2kg de peso que caen desde 15 cm)

(1) La consistencia (resistencia a la ruptura) es el grado y clase de cohesión y adhesión que muestra el suelo, y también la resistencia a la deformación y ruptura bajo la aplicación de una determinada presión. La resistencia a la ruptura mide la presión que es necesario aplicar para que el suelo se fragmente o desmenuce. Esta medida se lleva a cabo sobre terrones cúbicos de aproximadamente 2,8 cm de lado. Si no es posible obtener cubos de 2,8 cm de lado (aproximadamente 2,5 a 3,1 cm), se utiliza la siguiente ecuación: $[(2,8 \text{ cm} / \text{lado del cubo en cm})^2 \times \text{fuerza estimada (N)}]$ para la ruptura]. Por ejemplo si el cubo que se obtiene mide 5,6 cm de lado; $[(2,8/5,6)^2 \times 20\text{N} = 5\text{N}]$ (*clase blando*).

(2) Esta no es prueba de campo. Antes de realizar la prueba hay que dejar secar la muestra durante un día y después sumergirla en agua durante una hora como mínimo.

Para la catalogación de la permeabilidad se considera la más desfavorable entre 0 y 100 cm de profundidad, o en la zona de desarrollo raíces si el espesor efectivo es inferior a 100 cm, de acuerdo con el siguiente orden:

moderadamente rápida y rápida

moderadamente lenta, lenta

muy rápida, rápida

muy lenta

impermeable

pH. El pH es una medida que informa acerca de las condiciones de la nutrición vegetal. Suelos con pH entre 6 y 7,3 tienen un buen contenido en elementos nutritivos y en condiciones de fácil disponibilidad. En los suelos muy ácidos hay poco calcio y magnesio y baja disponibilidad de nitrógeno y fósforo; por el contrario hay aluminio libre, que puede llegar a niveles tóxicos. En el otro extremo están los suelos alcalinos; con pH superior a 7,9 la disponibilidad del cobre, zinc y sobre todo fósforo y boro es baja.

El pH que debe tomarse en consideración es el valor más desfavorable, bien por acidez o alcalinidad, entre 0 y 100 cm, o en la zona de raíces si ésta, por alguna razón, no llega a 100 cm.

Se han establecido los siguientes puntos de corte del pH, teniendo en cuenta las condiciones tanto de acidez como de alcalinidad:

<u>Acidez</u>	<u>Alcalinidad</u>
7,3	
5,5	7,3
5,0	8,5
4,5	9

Materia orgánica. La materia orgánica influye notoriamente en las propiedades físicas y químicas de los suelos, y ello a pesar de que la proporción normalmente es baja. Favorece el desarrollo de la estructura de tipo granular, la más favorable de todas, y aumenta la porosidad y la capacidad de retención de agua. Desde el punto de vista químico la materia orgánica tiene una alta capacidad de intercambio catiónico por lo que puede retener tanto elementos nutritivos como elementos contaminantes. El contenido de materia orgánica en los suelos se define mediante el porcentaje que hay en los 30 cm superficiales.

Es difícil establecer una relación entre materia orgánica y cultivos posibles y viabilidad de los mismos. Los rangos de corte son:

3 %
1 %

Capacidad de intercambio catiónico. La capacidad de intercambio catiónico mide la capacidad del suelo para retener cationes, algunos de los cuales son necesarios para la alimentación de las plantas. Suelos con baja capacidad de intercambio catiónico pueden retener pocos cationes y, en consecuencia, requieren dosis bajas y más frecuentes de fertilizantes que los suelos con alta capacidad de intercambio catiónico. Estos últimos son también más efectivos en la prevención de la contaminación de las aguas freáticas.

Para la catalogación de esta propiedad se tiene en cuenta la capacidad de intercambio catiónico que tiene el suelo a una profundidad aproximada de 30 a 50 cm o por encima de un contacto lítico si se encuentra más superficial. Los valores de corte son:

20	cmol _c kg ⁻¹
10	cmol _c kg ⁻¹
5	cmol _c kg ⁻¹

Carbonato cálcico. El carbonato cálcico influye sobre la disponibilidad de nutrientes para las plantas, tanto de forma indirecta, por medio del pH, como directa sobre algunos nutrientes. La disponibilidad del fósforo, molibdeno, hierro, boro, zinc y manganeso se reduce cuando hay alto contenido en carbonatos.

Si el contenido en carbonato cálcico más alto se encuentra entre 0 y 30 cm, se toma ese valor para definir esta propiedad, si no es así el valor que se toma es la resultante de calcular la media ponderada sobre 100 cm, o sobre el espesor efectivo si éste es inferior a 100 cm. Los valores de corte son:

10 %
20 %
60 %

Conductividad eléctrica del extracto de saturación. La conductividad eléctrica del extracto de saturación mide la concentración de sales solubles en agua que hay en los suelos. Altas concentraciones de sales neutras, tales como cloruro sódico y sulfato sódico, interfieren la absorción de agua por las plantas, debido a que la presión osmótica en la solución llega a ser tan alta o más alta que en las células de las plantas. Las sales también interfieren la capacidad de cambio de algunos nutrientes iónicos, causando deficiencias en las plantas.

Se toma para definir esta propiedad la conductividad eléctrica más elevada entre 0 y 100 cm, o sobre el espesor efectivo si éste es inferior a 100 cm. Los valores de corte son:

- 2 dS/m a 25°C
- 4 dS/m a 25°C
- 8 dS/m a 25°C
- 12 dS/m a 25°C

Porcentaje de saturación de sodio. Los suelos con alto contenido de sodio en el complejo adsorbente presentan problemas de carácter físico; las arcillas y el humus se dispersan y la estructura se degrada creando problemas de permeabilidad.

Se toma para definir esta propiedad el porcentaje de saturación en sodio más alto entre 0 y 100 cm, o sobre el espesor efectivo si éste es inferior a 100 cm. Los valores de corte son:

- 8 %
- 12 %
- 16 %
- 20 %
- 25 %
- 35 %

3.2.5. Propiedades relativas a las condiciones de laboreo

Fragmentos rocosos en la capa superficial. La presencia de fragmentos rocosos con diámetro superior a 2 cm en la capa superficial (0 – 18 cm) es una propiedad de los suelos que influye sobre las labores mecánicas. La catalogación de esta propiedad es la siguiente:

No hay o muy pocos. La capa superficial no contiene fragmentos rocosos o los tiene en cantidad tan escasa que no interfieren grandemente con las labores mecánicas. El volumen de fragmentos rocosos es inferior a 15%.

Pocos. La capa superficial contiene bastantes fragmentos rocosos como para interferir con la labranza. Sin embargo, las labores mecánicas se llevan a cabo de la misma manera y con el mismo equipo que en los suelos con muy pocos fragmentos rocosos. El volumen de fragmentos rocosos está entre 15 a 35%.

Abundantes. La capa superficial contiene tantos fragmentos rocosos que interfieren con las labores mecánicas, incluso en los cultivos menos exigentes. Por ejemplo, la regularidad de la siembra y la distribución de fertilizantes se ven afectadas. El volumen de fragmentos rocosos es del 35% al 60%.

Muy abundantes. La capa superficial contiene tantos fragmentos rocosos que las labores mecánicas son difíciles, aunque no imposibles. Los aperos en su movimiento están en constante contacto con los fragmentos rocosos. El volumen de fragmentos rocosos es superior al 60%.

Pedregosidad superficial (piedras o bloques, majanos y afloramientos rocosos). En algunos suelos hay pedregosidad en superficie que interfieren con las labores mecánicas, bien por el roce con los aperos, bien por el camino tortuoso que las máquinas se ven obligadas a realizar.

La pedregosidad superficial se refiere a grandes piedras o bloques sueltos, montones de piedras (majanos) y zonas en las que aflora el sustrato rocoso. En cualquier caso el tamaño mínimo para esta pedregosidad es de 25 cm de diámetro o de 38 cm de lado mayor si la forma es plana. La catalogación de esta propiedad es la siguiente (Tabla 9):

Escasa. No hay pedregosidad o es tan escasa que no interfiere grandemente con las labores mecánicas. Las piedras cubren menos del 0,01% de la superficie.

Moderada. La pedregosidad representa un cierto obstáculo para las labores mecánicas. Los convencionales tractores de ruedas se pueden mover con relativa facilidad por el área. La pedregosidad cubre entre 0,01 y 0,1% de la superficie.

Abundante. La pedregosidad interfiere las labores mecánicas. Los tractores con ruedas se ven obligados en su movimiento a pasar por encima o sortear los obstáculos en determinadas ocasiones. La pedregosidad cubre 0,1 y 3% de la superficie.

Muy abundante. Hay tanta pedregosidad que los vehículos convencionales como los tractores de ruedas no pueden utilizarse. La pedregosidad cubre entre un 3 y un 15% de la superficie.

Extrema. Hay tanta pedregosidad que cualquier tipo de labor mecanizada está excluida. Los espacios con suelo o con suelo libre son particularmente reducidos. La pedregosidad cubre más del 15% de la superficie.

Tabla 9. Pedregosidad en términos de porcentaje de superficie cubierta y separación entre piedras. Modificado de SSS, 1993. Handbook N° 18.

Clase	Porcentaje de superficie cubierta	Distancia en metros entre la pedregosidad según diámetro		
		0,25 m	0,60 m	1,2 m
Escasa	< 0,01	> 20	> 50	> 100
Moderada	0,01 – 0,1	7 – 20	20 - 50	35 – 100
Abundante	0,1 – 3	1 – 7	3 - 20	6 – 35
Muy abundante	3 – 15	0,5 - 1	1 - 3	3 – 6
Extrema	> 15	< 0,5	< 1	< 3

Pendiente. Es una propiedad importante de la tierra. Se tiene en cuenta en la USLE para el cálculo de la erosión, pero también, como es el caso en este apartado, conviene especificar la pendiente general del área donde se encuentra el suelo, para definir las condiciones de mecanización (Rühmann, 1965).

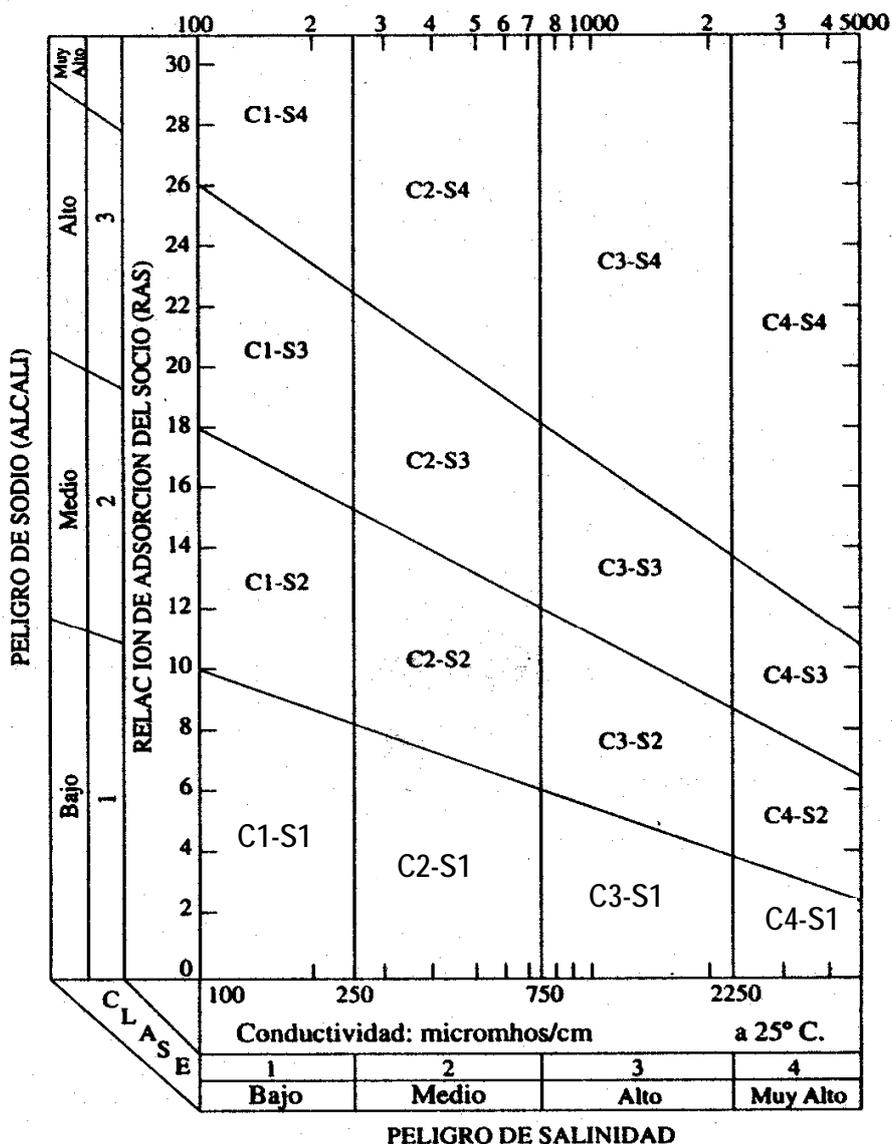
Los valores de corte son:

- 2 %
- 6 %
- 12 %
- 18 %
- 30 %
- 50 %

3.2.6. Propiedades relativas a las condiciones de riesgo de salinización y alcalinización

Agua de riego. En el caso de las tierras en regadío es conveniente tener en cuenta la calidad del agua de riego para prevenir los posibles riesgos de salinización y alcalinización. Para la catalogación se toman las Normas Riverside (Richards, 1954; Figura 2).

Figura 2. Normas Riverside de clasificación de la calidad de agua para riego.



Normas de Riverside. Diagrama para la clasificación de aguas de riego. (U.S. Soil Salinity Laboratory).

3.3. CLASES AGROLÓGICAS EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES Y CUALIDADES DE LAS TIERRAS.

A continuación se definen las ocho clases agrológicas en función de las propiedades y cualidades de las tierras anteriormente definidas y catalogadas.

Tabla 10. Definición de las clases agrológicas a partir de las propiedades y cualidades de las tierras.

	CLASES AGROLÓGICAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Precipitación media anual (mm)	> 700 ó regadío	> 550 ó regadío	> 400 ó regadío	> 300 ó regadío	> 300 ó regadío	> 300 ó regadío	cualquiera	
Nº meses con actividad vegetativa	≥ 9,5	≥ 7,5	≥ 5,5	≥ 3,5	≥ 3,5	≥ 3,5	cualquiera	
1/5∑ tm mayo-septiembre	> 22°C	> 19°C	> 16°C	> 13°C	> 13°C	> 13°C	cualquiera	
1/2∑ tm diciembre-enero	≥ 8°C	< 8°C	< 8°C	< 8°C	cualquiera			
C x P	> 0.5	> 0.4	> 0.2	> 0.2	> 0.5	> 0.04	cualquiera	
Grado de erosión	Nulo	Ligero o menor	Moderado o menor	Severo o menor	Nulo	Severo o menor	cualquiera	
Índice de sellado y encostramiento	< 1.6	< 2.0	≥ 2.0	≥ 2.0	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Clases de drenaje	Bien drenado o mejor	Bien drenado o mejor	Moderad. bien drenado o mejor	Moderad. Bien drenado o mejor	Algo pobremente drenado o mejor	Algo pobremente drenado o mejor	Pobremente drenado o mejor	cualquiera
Inundación	Nunca	Excepc. o menos	Ocasional o menos	Ocasional o menos	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Almacenamiento de agua en suelo (mm)	> 150 ó regadío	> 100 ó regadío	> 50 ó regadío	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera	cualquiera
Espesor efectivo (cm)	> 100	> 75	> 50	> 25	> 25	> 25	cualquiera	cualquiera
Compactación	da < d'a	d'a < da<d'a	da ≥ d'a	cualquiera				
Permeabilidad (clase)	Moder. o más rápida	Mod. lenta o más rápida	Lenta o más rápida	Muy lenta o más rápida	Muy lenta o más rápida	Muy lenta o más rápida	Muy lenta o más rápida	Impermeable o más rápida
pH	> 5.5 y < 7.3	> 5.0 y < 8.5	> 4.5 y < 9.0	cualquiera				
Materia Orgánica (%)	> 3	> 1	cualquier					
CIC (cmolc kg ⁻¹)	> 20	> 10	> 5	cualquiera				
CO ₃ Ca (%)	< 10	< 20	< 60	≥ 60	cualquiera			
CEs (dS m ⁻¹) a 25°C	< 2	< 4	< 8	< 12	cualquiera			
ESP %	<8	< 12	< 16	< 20	< 25	< 25	< 35	cualquiera
Frag. Rocosos (%)	< 15	< 35	< 60	≥ 60	cualquiera			
Pedregosidad (%)	< 0.01	< 0.1	< 3	< 3	< 15	< 15	cualquiera	
Pendiente %	< 2	< 6	< 12	< 18	< 2	< 30	< 50	cualquiera
Calidad agua de riego	Bajo	Medio	Alto	Muy alto				

4. ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA

4.1. METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE UNIDADES DE TIERRAS.

Para la definición y cartografía de las tierras de la Comunidad de Madrid se ha seguido como orientación el sistema "*The Land System Approach*" (Gunn et al., 1988), que ha sido modificado e incluye el concepto de "tierra". Según esta metodología, la definición y cartografía de las tierras se hace a través de aproximaciones sucesivas. En concreto se siguen tres pasos que se designan como Territorio, Ámbito y Tierra.

4.1.1. Territorios

Territorio es una porción de la superficie terrestre conformada por un proceso geológico que ha dado origen a una forma de relieve principal, y que tiene, además, unas características relativamente homogéneas en cuanto a litología y clima.

El fenómeno geológico más importante en el área de la Comunidad es la fractura y desnivelación de una antigua penillanura, y la posterior sedimentación de materiales de origen detrítico y químico sobre el bloque hundido. Por ello, en la Comunidad de Madrid se han distinguido dos territorios: SIERRA y CUENCA SEDIMENTARIA.

SIERRA. La Sierra forma parte del Horst del Sistema Central. Es, por tanto, un relieve constituido por bloques del zócalo paleozoico levantados por fallamiento en el plegamiento alpino. Se extiende por el tercio noroeste, siendo sus límites laterales la falla de Torrelodones y la divisoria de aguas con la cuenca del Duero. Está constituida por rocas intrusivas y metamórficas. En términos generales, el clima se puede definir como húmedo y relativamente frío, pero las características climáticas concretas se establecerán en la categoría inmediata de ámbito, ya que en la Sierra hay mesoclimas dignos de consideración.

CUENCA SEDIMENTARIA. La cuenca sedimentaria ocupa todo el territorio que se extiende hacia el sureste, desde la falla de Torrelodones hasta el río Tajo. Litológicamente está constituida por sedimentos acumulados sobre un bloque paleozoico hundido por fallamiento en el plegamiento alpino. Destacan los sedimentos detríticos, químicos y finalmente los

cuaternarios de carácter aluvial. Estos últimos, aunque de escasa potencia, ocupan extensiones considerables. El clima es relativamente homogéneo. Por esta razón, las características climáticas se han establecido a este nivel, habiéndose seleccionado la estación meteorológica de Cuatro Vientos como representativa del conjunto.

Caracterización climática de la Cuenca Sedimentaria

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	47	46	34	54	42	26	15	12	27	43	62	54
tm	5,6	6,9	9,3	11,5	15,7	20,6	24,6	24,0	20,4	14,6	9,0	6,0

P: precipitación media mensual (mm); tm: temperatura media mensual (°C)

4.1.2. Ámbitos

Ámbito es una porción de territorio caracterizada por un proceso geomorfológico que ha dado origen a un relieve secundario o elemento del terreno.

El procedimiento seguido para la diferenciación de ámbitos en los dos territorios (Sierra y Cuenca Sedimentaria) ha consistido en el análisis conjunto de los siguientes apartados:

- (a) Información obtenida en los recorridos de campo.
- (b) Mapas geológicos del Instituto Geológico y Minero (Plan MAGNA), escala 1:50.000.
- (c) Mapas topográficos del Servicio Geográfico del Ejército y del Instituto Geográfico Nacional, escalas 1:50.000 y 1:25.000.
- (d) Caracterización climática a partir de datos climáticos de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología.

Con todo ello se establecen seis ámbitos en el territorio Sierra y siete en el territorio Cuenca Sedimentaria. Las características fundamentales se describen a continuación.

4.1.2.1. Ámbitos de la Sierra

Para proceder a la delimitación geográfica de los ámbitos de la Sierra, se ha partido de las diferencias climáticas existentes entre las distintas zonas, avaladas por la red de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología y comprobadas en campo mediante el análisis de la vegetación. Además, se han utilizado otros parámetros como altitud y pendiente para la delimitación final de los ámbitos.

El resultado es la división del Territorio Sierra en seis ámbitos:

1. **Comarca Suroccidental:** Está situada en el extremo occidental de la Comunidad. Es una zona serrana de cotas no muy altas y surcada por amplias vallonadas. El clima es húmedo y relativamente cálido, y se considera caracterizada climáticamente por la estación de San Martín de Valdeiglesias. Puesto que esta estación meteorológica es sólo pluviométrica, las características térmicas se han obtenido a partir de los datos térmicos de las estaciones de San Juan (Presa) y Villa del Prado (Central de las Picadas), realizando las oportunas correcciones por altitud.

Caracterización climática de la Comarca Suroccidental.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	91	81	51	72	53	40	13	14	38	63	115	102
tm	6,1	7,8	10,0	13,0	17,2	22,1	26,0	25,2	21,3	15,2	9,9	6,5

P: precipitación media mensual (mm); tm: temperatura media mensual (°C)

2. **Sierra Oeste.** Es la prolongación hacia el noreste de la Comarca Suroccidental. Las cimas alcanzan altitudes medias y el terreno es particularmente quebrado. El clima es relativamente seco y está caracterizado por la estación meteorológica de Robledo de Chavela. Como en el caso anterior al ser estación sólo pluviométrica, la caracterización térmica se ha obtenido a partir de las temperaturas de San Juan presa y Villa del Prado Cent. Picadas tras las necesarias correcciones por altitud.

Caracterización climática de la Sierra Oeste.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	63	66	53	65	53	28	12	11	29	58	93	71
tm	5,1	6,8	9,0	12,0	16,0	21,0	25,0	24,0	20,0	14,0	8,5	6,1

P: precipitación media mensual (mm); tm: temperatura media mensual (°C)

3. **Rampa.** Es una especie de peana de la sierra. Tiene anchura variable y se extiende desde la falla de Torrelodones hasta el inicio de las vertientes de la sierra. Su altitud oscila entre 900 y 1100m, pero engloba en su área terrenos montuosos como la sierra de Hoyo de Manzanares y el Cerro de San Pedro. Las características climáticas están representadas por las de la estación meteorológica de Villalba.

Caracterización climática de la Rampa.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	59	75	42	57	59	43	16	15	44	52	107	86
tm	5,2	6,2	8,7	11,2	15,0	20,0	24,3	24,0	20,2	14,0	8,6	5,4

P: precipitación media mensual (mm); tm: temperatura media mensual (°C)

4. **Sierra Húmeda.** Se ha designado con este nombre la amplia área de la sierra situada generalmente entre cotas 1100 y 1700 m de altura y con clima húmedo. La delimitación espacial de este ámbito de características húmedas se ha realizado teniendo en cuenta la distribución en campo del roble (*Quercus pyrenaica*). Las características climáticas las proporciona la estación de Rascafría, corregida térmicamente para una altura de 1300 m, que se considera la altitud media.

Caracterización climática de la Sierra Húmeda.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	119	126	85	93	82	62	21	11	51	87	139	132
tm	1,8	2,7	4,5	6,4	10,1	15,1	17,4	16,8	13,9	9,3	4,6	2,4

P: precipitación media mensual (mm); tm: temperatura media mensual (°C)

5. **Cuenca Intramontana.** Se ha designado con este nombre el área en torno al valle medio y bajo del Lozoya. Se caracteriza por estar enmarcada por montañas y por poseer un clima de transición tal y como muestra la vegetación presente en la zona. Existen enclaves de encinas, enclaves de robles (*Quercus pyrenaica*) y otros donde ambas especies están íntimamente mezcladas. Para la caracterización climática de este ámbito se ha elegido la estación meteorológica de Riosequillo.

Caracterización climática de la Cuenca Intramontana

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	67	71	45	64	64	48	20	16	42	51	102	74
tm	4,2	4,8	6,6	8,6	12,6	16,6	20,4	20,0	17,0	12,0	7,2	4,7

P: precipitación media mensual (mm); tm: temperatura media mensual (°C)

6. **Cumbres.** Se ha considerado bajo esta denominación todos los terrenos situados por encima de 1700m. Es una zona fuertemente batida por el viento y con clima frío. Se ha tomado la estación meteorológica de Navacerrada para definir el clima de la zona.

Caracterización climática de las Cumbres.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P	151	145	145	141	129	79	29	24	75	143	210	166
tm	-0,6	-0,8	0,9	2,3	6,5	11,5	16,0	15,9	12,6	7,0	2,3	0,0

P: precipitación media mensual (mm); tm: temperatura media mensual (°C)

4.1.2.2. Ámbitos de la Cuenca Sedimentaria

Los ámbitos identificados en este territorio, atendiendo al relieve, material geológico y geomorfología, son los siguientes:

1. **Páramo.** Lo constituyen las altas mesetas del sureste de la Comunidad coronadas por calizas pontienses o, donde las calizas han sido desmanteladas, por areniscas y conglomerados.
2. **Vertientes del Páramo y formaciones yesíferas.** Como el nombre indica engloba las empinadas laderas resultante de la rotura del páramo y el encajamiento fluvial cuaternario.
3. **Formaciones yesíferas con relieve suave.** Son superficies de erosión labradas sobre materiales yesíferos. Ocupan amplias extensiones en el sur-sureste de la Comunidad.

4. **Formaciones en materiales eólicos.** Son materiales bien clasificados transportados por el viento. El espesor del sedimento no es grande, no obstante forman un manto que, aunque discontinuo, cubre algunas áreas de las formaciones yesíferas anteriores en los valles del Tajo y Tajuña.
5. **Formaciones en materiales arcillosos.** Estos materiales sedimentarios proceden de la Sierra y ocupan áreas más bien reducidas en zonas centrales de la Comunidad.
6. **Formaciones en materiales detríticos arenosos (arcosas).** Proceden, al igual que las arcillas, de la Sierra. En este caso concreto provienen directamente de los granitos y gneises. Por ello las arenas están constituidas fundamentalmente por cuarzo y feldespatos. Se encuentran en el borde de la Cuenca Sedimentaria, en una banda que incluyendo la ciudad de Madrid se extiende en dirección noreste-sudoeste paralela a la falla de Torrelodones.
7. **Formaciones aluviales y aluviocoluviales.** Los ríos Alberche, Guadarrama, Manzanares, Jarama, Henares, Tajuña y Tajo han creado un importante sistema constituido por terrazas, llanuras aluviales y formas derivadas aluviocoluviales. A grandes rasgos pueden diferenciarse las formaciones aluviales y aluviocoluviales del Alberche y el Jarama por contener poco carbonato cálcico y sus suelos ser neutros o ligeramente ácidos, las del Guadarrama y Manzanares por el carácter netamente arenoso, las del Henares por el apreciable contenido en carbonato cálcico y consecuentemente suelos con pH alto y, finalmente, las del Tajuña y Tajo por que las terrazas altas tienen un apreciable grado de erosión, en parte debido a que se apoyan en materiales inestables como el yeso y las margas yesíferas, y las bajas y, sobre todo, las llanuras aluviales por tener un cierto carácter salino.

4.1.3. Tierras

Según la FAO (1976) tierra es el ambiente físico relativamente homogéneo en lo relativo a clima, relieve, litología, hidrología, vegetación y suelos.

El procedimiento seguido para la diferenciación cartográfica de las tierras dentro de los seis ámbitos de la Sierra y los siete de la Cuenca Sedimentaria ha consistido en el análisis conjunto de material cartográfico, observaciones de campo y perfiles de suelos.

Material cartográfico

- *Mapas geológicos del Instituto Geológico y Minero (Plan MAGNA), escala 1:50.000.* El análisis de estos mapas ha aportado información sobre dos factores formadores de los suelos: roca o material parental y tiempo (este último sólo se considera en las formaciones del Terciario superior y Cuaternario).
- *Mapas topográficos del Servicio Geográfico del Ejército y del Instituto Geográfico Nacional, escala 1:50.000 y 1:25.000.* Estos mapas han permitido precisar los recintos o unidades cartográficas obtenidos con los mapas geológicos y a la vez diferenciar las tierras de secano de las de regadío.
- *Mapas de pendientes, escala 1:50.000.* La cartografía de pendientes del terreno se ha obtenido a escala 1:50.000 a partir de los mapas digitales de pendientes (%) elaborados para cada hoja del Mapa Geológico (Plan MAGNA). Para la cartografía de la Cuenca Sedimentaria, los mapas digitales fueron obtenidos en formato raster por el Servicio de Cartografía de la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte a partir de la cartografía vectorial de altitud de la Comunidad de Madrid. Estos mapas de pendientes fueron posteriormente transformados y reclasificados por el equipo de trabajo para obtener de forma general los siguientes rangos de pendientes: 0-2%, 3-6%, 7-12%, 13-18%, 18-30%, 31-50% y más de 50%. Para la cartografía de la Sierra donde la pendiente cobra un mayor protagonismo, la cartografía de pendientes tanto digital como en papel fue elaborada y reclasificada directamente por el equipo de la Comunidad de Madrid. Estos mapas de rangos de pendiente en papel a escala 1:50.000 fueron empleados en la delimitación final de las tierras.

Observaciones de campo

Los recorridos de campo fueron útiles para completar la cartografía de las tierras y para aportar información acerca de las características superficiales de los suelos. Se realizaron 487 observaciones de campo, en las que se recogió información sobre los siguientes parámetros:

- Localización: haciendo referencia a puntos fácilmente localizables.
- Coordenadas: obtenidas mediante GPS, datum europeo WGS-84.
- Altitud: obtenida mediante GPS y/o estimación a partir de mapas topográficos.
- Pendiente: determinada mediante clinómetro (%).
- Grado de erosión: según los criterios establecidos en el método.
- Pendiente según USLE: gradiente y longitud.
- Clase de drenaje: según los criterios establecidos en el método.
- Inundación: según los criterios establecidos en el método.
- Fragmentos rocosos: según los criterios establecidos en el método.
- Pedregosidad: según los criterios establecidos en el método.
- Sistema de explotación: seco o regadío.
- Estructura del suelo: según FAO (1990).
- Consistencia del suelo: según los criterios establecidos en el método.

Perfiles de suelos

Las propiedades de los horizontes subsuperficiales así como las propiedades químicas se han obtenido a partir de la información contenida en los trabajos edafológicos realizados en la Comunidad de Madrid. De la relación total de perfiles de suelo existentes en las fuentes bibliográficas se ha realizado una selección de los que reúnen unas condiciones mínimas de calidad como la presencia de datos analíticos junto con la descripción de campo.

Las fuentes bibliográficas utilizadas han sido:

- Mapas temáticos de suelos de la Comunidad de Madrid. Bajo esta denominación se encuentran 39 trabajos que abordan estudios edáficos del territorio de la Comunidad de Madrid a nivel de municipios. En su conjunto aparecen descritos 3655 perfiles de suelo,

de los que están analizados 2828 perfiles y únicamente 1422 de éstos presentan todos los horizontes analizados.

- Cartografía Edafológica y Capacidad de uso del suelo de la subregión de Madrid. Ampliación para la realización de 300 perfiles edafológicos. Volúmenes I y II. CSIC. Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Departamento de Suelos. Diciembre 1972. Ministerio de la Vivienda. Comisión de Planeamiento y Coordinación del "Área Metropolitana de Madrid" (COPLACO). Este estudio dispone de 187 perfiles de suelo en la Comunidad de Madrid.
- Perfiles de suelos no publicados de un proyecto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en el que colaboró el Dr. Gallardo
- Caracterización edafológica e índices de vulnerabilidad de la Comunidad Autónoma de Madrid. Escala 1:200.000. T. Schmid, R. Millán, C. Lago y C. Trueba. Abril 2000. 190 pp. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológica (Ciemat). Este estudio contiene 264 perfiles de suelo de la Comunidad de Madrid.
- Base de datos de propiedades edafológicas de los suelos españoles. Volumen 5. Madrid. C. Trueba, R. Millán, T. Schmid, C. Roquero y M. Magister. Informes Técnicos Ciemat 871. Diciembre 1998. 111 pp. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológica (Ciemat). Este estudio no aporta perfiles de suelo adicionales a los del trabajo anterior.
- Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Medio Ambiente. Terrenos Contaminados. Nº2. 2002. 167 pp. Este estudio no contiene perfiles de suelo aplicables en el presente trabajo.

De los trabajos anteriores, los más utilizados fueron los tres primeros. Aunque en un principio se valoró la posibilidad de utilizar información edáfica correspondiente a las prospecciones del Canal de Isabel II, finalmente fue descartada al no reunir las condiciones necesarias.

La información edáfica extraída de cada horizonte de los 1008 perfiles de suelo seleccionados es la siguiente:

- Orden de horizonte
- Espesor de cada horizonte
- Profundidad efectiva
- Profundidad de enraizamiento
- Porcentaje de arcilla
- Porcentaje de limo USDA o ISSS
- Porcentaje de arena USDA o ISSS
- Porcentaje de arena fina ISSS
- Porcentaje de arena gruesa ISSS
- pH
- Materia orgánica
- Capacidad de intercambio catiónico
- Carbonato cálcico
- Conductividad eléctrica en el extracto de saturación
- Conductividad eléctrica en agua 1:2,5 (relación suelo:agua)
- Porcentaje de sodio intercambiable
- Porcentaje de fragmentos rocosos (en peso o en volumen)
- Grado de estructura
- Tipo de estructura
- Tamaño de estructura
- Consistencia en seco
- Consistencia en húmedo
- Tipo de cementación
- Grado de cementación
- Presencia de cutanes
- Presencia de *slickensides*
- Tamaño de poros
- Frecuencia de poros
- Tamaño de raíces
- Frecuencia de raíces

Con la información obtenida se han definido las tierras y elaborado una cartografía digital de unidades de tierras que ha servido como base cartográfica para la aplicación del método de Clasificación de la capacidad agrológica. Los programas empleados en la elaboración de la cartografía digital han sido CartaLinx Versión 1.2. (Clark University, USA) y ArcView (ESRI).

4.1.4. Leyenda del mapa de unidades de tierras

TERRITORIO	AMBITO	TIERRA
SIERRA	Comarca suroccidental	<p>Laderas de esquistos con Leptosoles y Cambisoles</p> <p>Superficies graníticas inclinadas (7-12%) con Cambisoles y Regosoles</p> <p>Laderas graníticas moderadamente escarpadas (13-18%) con Regosoles y Cambisoles</p> <p>Navas con suelos hidromorfos</p> <p>Laderas graníticas escarpadas (30-50%) con Regosoles y Leptosoles</p> <p>Laderas graníticas muy escarpadas (>50%) con Leptosoles</p> <p>Fondos de valle con Fluvisoles</p> <p>Coluviones y conos de deyección con Regosoles</p> <p>Superficies graníticas casi llanas (0-6%) con Cambisoles</p>
	Rampa	<p>Superficies graníticas inclinadas (7-12%) con Cambisoles y Regosoles</p> <p>Superficies graníticas suavemente inclinadas (3-6%) con Cambisoles</p> <p>Laderas graníticas (13-18%) con Regosoles y Cambisoles</p> <p>Laderas graníticas moderadamente escarpadas (18-30%) con Regosoles y Cambisoles</p> <p>Laderas graníticas escarpadas (30-50%) con Regosoles y Leptosoles</p> <p>Navas con suelos ligeramente hidromorfos</p> <p>Arenas cretácicas con Arenosoles</p> <p>Calizas con Calcisoles y Leptosoles</p> <p>Depósitos polimícticos con Regosoles y Luvisoles</p> <p>Pizarras con Leptosoles y Cambisoles</p>
	Sierra oeste	<p>Laderas graníticas escarpadas (30-50%) con Regosoles</p> <p>Laderas escarpadas (30-50%) de metasedimentos pelíticos con Leptosoles</p> <p>Superficies graníticas suavemente inclinadas (0-6%) con Cambisoles</p> <p>Navas con Fluvisoles</p> <p>Laderas graníticas inclinadas (7-12%) con Cambisoles</p> <p>Laderas graníticas moderadamente escarpadas (18-30%) con Cambisoles</p> <p>Laderas graníticas bastante inclinadas (13-18%) con Cambisoles</p> <p>Laderas graníticas muy escarpadas (>50%) con Regosoles y Leptosoles</p>

	Sierra húmeda	<p>Laderas graníticas moderadamente escarpadas (18-30%) con Cambisoles húmicos</p> <p>Laderas graníticas escarpadas (30-50%) con Cambisoles húmicos</p> <p>Laderas graníticas algo escarpadas (12-18%) con Cambisoles húmicos</p> <p>Navas y tollas con suelos hidromorfos</p> <p>Laderas graníticas muy escarpadas (>50%) con Cambisoles húmicos y Leptosoles</p> <p>Laderas graníticas inclinadas (7-12%) con Cambisoles húmicos</p> <p>Laderas graníticas suavemente inclinadas (0-6%) con Cambisoles húmicos</p> <p>Arenas lavadas con Arenosoles</p> <p>Arenas arcillas y gravas con Cambisoles y Luvisoles</p> <p>Calizas con Renzinas</p> <p>Laderas esquistosas inclinadas (7-12%) con Cambisoles y Acrisoles</p> <p>Laderas esquistosas moderadamente escarpadas (12-18%) con Cambisoles y Acrisoles</p> <p>Laderas esquistosas algo escarpadas (18-30%) con Cambisoles</p> <p>Laderas esquistosas escarpadas (30-50%) con Cambisoles</p> <p>Laderas esquistosas muy escarpadas (>50%) con Cambisoles y Leptosoles</p> <p>Laderas pizarrosas moderadamente escarpadas (18-30%) con Leptosoles y Cambisoles</p> <p>Laderas pizarrosas escarpadas (30-50%) con Leptosoles</p> <p>Laderas pizarrosas muy escarpadas (>50%) con Leptosoles</p>
	Cuenca intramontana	<p>Superficies graníticas suavemente inclinadas (0-12%) con Cambisoles</p> <p>Laderas graníticas moderadamente escarpadas (13-30%) con Cambisoles</p> <p>Laderas graníticas escarpadas (>30%) con Cambisoles</p> <p>Bloques y cantos con Acrisoles</p> <p>Coluviones de cantos y arenas con Acrisoles</p> <p>Metasedimentos equistosos con Cambisoles</p>
	Cumbres	<p>Laderas escarpadas (>30%) con Cambisoles húmicos y Leptosoles</p> <p>Laderas moderadamente escarpadas (<30%) con Cambisoles húmicos</p> <p>Coluviones de relieve moderadamente escarpado (<30%) con Cambisoles húmicos</p> <p>Tollas con suelos turbosos</p>

CUENCA SEDIMENTARIA	Páramo	Dolinas con Terra rossa Cerrillos con Terra rossa Costras calizas con Terra rossa Areniscas con Luvisoles
	Vertientes del Páramo y formaciones yesíferas	Margas blancas con Regosoles Laderas moderadamente escarpadas (18-30%) con Regosoles y Leptosoles Laderas escarpadas (30-50%) con Regosoles y Leptosoles Coluviones pedregosos con Regosoles Laderas moderadamente escarpadas (18-30%) con Gypsisoles Laderas escarpadas (30-50%) con Regosoles y Leptosoles yesíferos Acantilados (>50%) con Regosoles y Leptosoles Litarcosas en pendientes relativamente suaves con Calcisoles Litarcosas en pendientes acentuadas (18-50%) con Regosoles
	Formaciones yesíferas con relieve suave	Relieves suavemente inclinados (0-6%) con Gypsisoles Relieves suavemente inclinados (0-6%) en regadío con Gypsisoles Relieves inclinadas (6-18%) con Gypsisoles Fondos de valle con Gypsisoles Conos de deyección con Calcisoles y Gypsisoles Conos de deyección en regadío con Calcisoles y Gypsisoles Arenas micáceas y margas grises con Gypsisoles
	Formaciones en materiales eólicos	Loes con Calcisoles
	Formaciones en materiales arcillosos	Arcillas marrones con Regosoles Arcillas marrones con Regosoles en fuertes pendientes Arcillas con suelos de carácter vértico Arcillas con suelos de carácter vértico parcialmente erosionados Arcillas grises con suelos vérticos Arenas arcillosas con sílex y suelos de tipo Luvisol Arcillas rojas con Regosoles y Cambisoles
	Formaciones en materiales detríticos arenosos	Arenas micáceas con Luvisoles Arenas feldespáticas con Luvisoles en pendientes suavemente inclinadas (0-6%) Arenas feldespáticas con Luvisoles y áreas de erosión (6-12%) Arenas feldespáticas con Luvisoles parcialmente erosionados (12-18%) Arenas feldespáticas con Luvisoles algo hidromorfos

		<p>Fondos de valle con suelos arenosos</p> <p>Superficies con Luvisoles muy evolucionados</p> <p>Arenas y cantos con Cambisoles y Luvisoles</p> <p>Arenas y cantos con Cambisoles y Regosoles</p>
	Formaciones aluviales y aluviocoluviales	<p>Terrazas con suelos erosionados</p> <p>Terrazas en regadío con suelos erosionados</p> <p>Terrazas medias con Luvisoles y Calcisoles</p> <p>Terrazas medias en regadío con Luvisoles y Calcisoles</p> <p>Terrazas bajas con Calcisoles y Luvisoles</p> <p>Terrazas bajas en regadío con Calcisoles y Luvisoles</p> <p>Llanuras aluviales con Fluvisoles ligeramente salinos</p> <p>Llanuras aluviales en regadío con Fluvisoles ligeramente salinos</p> <p>Llanuras de inundación con Fluvisoles</p> <p>Terrazas arenosas con Luvisoles</p> <p>Escarpes de terrazas con Luvisoles y Calcisoles</p> <p>Abanicos aluviales con Luvisoles</p> <p>Glacis con Luvisoles y Calcisoles</p> <p>Glacis en general pedregosos con Calcisoles</p> <p>Coluviones y depósitos de pie de talud con Calcisoles</p> <p>Escarpes de terrazas con Calcisoles o Regosoles</p> <p>Terrazas altas con Luvisoles pardo rojizos o rojos</p> <p>Terrazas medias de la Campiña con Luvisoles</p> <p>Terrazas medias de la Campiña en regadío con Luvisoles</p> <p>Terrazas bajas de la Campiña con Luvisoles y Calcisoles</p> <p>Llanuras aluviales con Fluvisoles moderadamente calcáreos</p> <p>Llanuras aluviales en regadío con Fluvisoles moderadamente calcáreos</p> <p>Terrazas altas con suelos lavados</p> <p>Valles con Fluvisoles</p> <p>Conos aluviales con Luvisoles</p> <p>Glacis antiguos con Luvisoles arenosos</p> <p>Conos de deyección con Regosoles</p> <p>Llanuras aluviales con Fluvisoles no calcáreos</p> <p>Llanuras aluviales en regadío con Fluvisoles no calcáreos</p> <p>Terrazas bajas con Luvisoles y Cambisoles</p> <p>Terrazas medias con Luvisoles</p> <p>Terrazas altas con Luvisoles</p> <p>Depresiones endorreicas</p>

4.2. METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE CAPACIDAD AGROLÓGICA.

4.2.1. Determinación de las propiedades y cualidades de las tierras

Como paso previo a la obtención de las clases y subclases agrológicas, se ha procedido a realizar los cálculos para la determinación de las propiedades y cualidades de cada unidad de tierra.

4.2.1.1. Procesamiento de los datos climáticos

Las estaciones meteorológicas seleccionadas han aportado los datos para determinar los siguientes parámetros climáticos:

1. **Precipitación media anual:** se obtiene como suma de los valores de la precipitación media mensual de los doce meses del año.
2. **Temperatura media de mayo a septiembre:** se obtiene como media de las temperaturas medias mensuales de los meses mayo, junio, julio, agosto y septiembre.
3. **Temperatura media de diciembre y enero:** se obtiene como media de las temperaturas medias mensuales de los meses de diciembre y enero.
4. **Duración del periodo vegetativo:** es el número de meses en los que la precipitación mensual es mayor que dos veces la temperatura mensual siempre que esta temperatura media mensual sea superior a 6°C.

Inicialmente se procedió a realizar una generalización espacial con los valores de las cuatro propiedades obtenidas de forma puntual en cada estación con objeto de obtener mapas digitales de cada parámetro. Pero este procedimiento no se adaptaba a las exigencias de la capacidad agrológica de las tierras, por lo que se optó por seleccionar estaciones meteorológicas que fueran representativas de los territorios o ámbitos. Los valores de los cuatro parámetros de las estaciones representativas se asignaron a las correspondientes tierras presentes en los correspondientes ámbitos.

4.2.1.2. Procesamiento de los datos edáficos

Los datos de las 487 observaciones de campo se han digitalizado, agrupándolos por unidades de tierras. Paralelamente, los datos edáficos extraídos de los 1008 perfiles de suelo y 2912 horizontes seleccionados han sido igualmente digitalizados y asignados a su unidad correspondiente. Con ello se ha obtenido un valor medio o moda para cada unidad cartográfica de tierras. Con objeto de automatizar en lo posible los cálculos, se ha creado un programa informático que toma como valores de entrada los datos de campo y los datos de los perfiles de suelo y calcula de forma automática aquellas propiedades edáficas de tipo secundario como, por ejemplo, el índice de sellado y encostramiento o el parámetro C x P de la USLE.

4.2.1.3. Procesamiento de los datos de calidad de agua para riego

En el caso de los suelos en regadío es necesario tener en cuenta la calidad del agua de riego para prevenir los posibles riesgos de salinización y sodificación.

Para el análisis de la calidad de las aguas de riego se han seleccionado todos los aforos existentes en la Comunidad de Madrid (Red Oficial de Estaciones de Aforo) de aquellas zonas en las que se tienen cultivos de regadío. La red de estaciones de aforo proporciona información de los datos de los niveles y caudales en puntos seleccionados de los ríos, embalses y canales. De las estaciones de aforo existentes se han utilizado las de:

- Navalcarnero (Guadarrama)
- Espinillos (Henares)
- Algete (Jarama)
- Mejorada (Jarama)
- Puente Largo (Jarama)
- Vaciamadrid (Manzanares)
- Aranjuez (Tajo)
- Orusco (Tajuña)

Se han obtenido las medias de los valores anuales de conductividad eléctrica y las concentraciones de sodio, magnesio y calcio para las estaciones de aforo seleccionadas (tabla 11).

Tabla 11. Conductividad eléctrica y concentración de sodio, magnesio y calcio de las estaciones de aforo.

			CE	Na	Mg	Ca	Na	Mg	Ca	SAR
		Nº aforo	dS/m 25°C	mg/L	mg/L	mg/L	meq/L	meq/L	meq/L	
Navalcarnero	Guadarrama	179	0,53	58,0	12,2	43,6	2,5	1,0	2,2	2,00
Espinillos	Henares	62	0,90	70,4	39,2	108,4	3,1	3,2	5,4	1,47
Algete	Jarama	51	0,49	21,4	17,7	74,3	0,9	1,5	3,7	0,58
Mejorada	Jarama	52	0,67	59,7	28,1	90,5	2,6	2,3	4,5	1,41
Puente Largo	Jarama	175	1,31	152,1	49,4	194,2	6,6	4,1	9,7	2,52
Vaciamadrid	Manzanares	177	0,86	63,3	21,2	60,0	2,8	1,7	3,0	1,79
Aranjuez	Tajo	11	1,36	116,0	57,5	192,0	5,0	4,7	9,6	1,89
Orusco	Tajuña	82	0,82	12,5	37,9	171,8	0,5	3,1	8,6	0,22

Como se aprecia en la tabla 12, la calidad de las aguas de riego se sitúa entre las clases C3-S1 y C2-S1 con bajo riesgo de sodio y peligro de salinidad alto C3 y medio C2, según las normas Riverside.

Tabla 12. Clasificación de las aguas de riego según las normas Riverside.

	Nº aforo	Normas Riverside
Navalcarnero	179	C2-S1
Espinillos	62	C3-S1
Algete	51	C2-S1
Mejorada	52	C2-S1
Puente Largo	175	C3-S1
Vaciamadrid	177	C3-S1
Aranjuez	11	C3-S1
Orusco	82	C3-S1

4.2.2. Obtención del mapa de capacidad agrológica de las tierras

A partir de los datos de las observaciones de campo y de la información extraída de los perfiles de suelo de la bibliografía, y en su caso de los datos de calidad de las aguas, se han obtenido los valores de 23 propiedades y cualidades de cada una de las 94 unidades de tierra previamente identificadas en la Comunidad de Madrid. Tomando en consideración la definición de las clases agrológicas establecida en la Tabla 10 se ha obtenido una ficha de la capacidad agrológica de cada unidad de tierras, todo ello con ayuda de programación en Visual Basic para Aplicaciones sobre hojas de cálculo Excel.

Mediante la aplicación de un sistema de información geográfica (CartaLinx y ArcView) y tomando como base cartográfica las hojas del mapa de unidades de tierra previamente obtenido en formato digital, se ha generado la cartografía en formato electrónico de capacidad agrológica de la Comunidad de Madrid a escala 1:50.000.

5. CLASES Y SUBCLASES AGROLÓGICAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

En la Comunidad de Madrid se encuentran presentes siete de las ocho clases agrológicas definidas. La superficie aproximada ocupada por cada clase y su distribución porcentual se encuentra respectivamente en la tabla 13 y la figura 3. Se observa que la clase agrológica 3 es la que presenta una mayor ocupación con casi un 40% de superficie total seguida en importancia por la clase agrológica 6 que ocupa casi un 30% del territorio. A mayor distancia se sitúan las clases 4 y 7 que ocupan cada una superficie en torno al 13-14%. Por último, las clases agrológicas 2, 5 y 8 representan una proporción muy reducida del territorio. El detalle de la superficie ocupada (ha) por cada subclase se puede consultar en la tabla 14.

Tabla 13. Superficie de ocupación de las clases agrológicas

Clase agrológica	Superficie ocupada (ha)	Porcentaje sobre el total (%)
2	23497	3
3	303575	39
4	107554	14
5	7269	1
6	221032	29
7	103831	13
8	5244	1

Figura 3. Porcentaje de ocupación de las clases agrológicas.

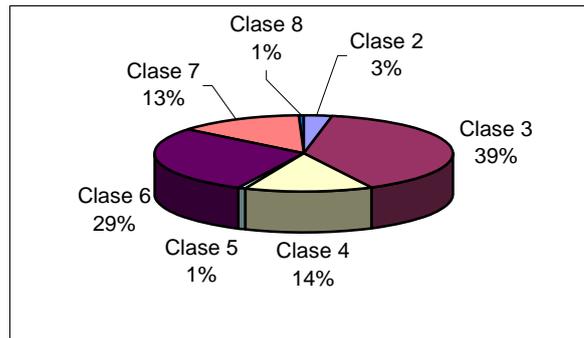


Tabla 14. Superficie y porcentaje de ocupación de las subclases agrológicas.

Clase agrológica	Subclase agrológica	Área ocupada (ha)	Porcentaje sobre el total
2	2es	4507.3	0.6%
	2sa	18989.2	2.5%
3	3c	49883.5	6.5%
	3e	667.0	0.1%
	3ec	18596.2	2.4%
	3es	95284.8	12.3%
	3lc	2612.8	0.3%
	3s	752.8	0.1%
	3sc	108775.5	14.1%
	3sl	21057.7	2.7%
4	3ws	5945.1	0.8%
	4c	9545.0	1.2%
	4e	16915.0	2.2%
	4es	5559.4	0.7%
	4l	7352.3	1.0%
	4s	49480.4	6.4%
5	4sc	18702.3	2.4%
	5w	7269.5	0.9%
6	6e	71752.5	9.3%
	6el	68356.2	8.9%
7	6l	80923.5	10.5%
	7c	4640.2	0.6%
	7el	11658.2	1.5%
	7es	4434.2	0.6%
	7l	50151.4	6.5%
	7lc	11623.7	1.5%
	7sl	21269.5	2.8%
7wc	54.0	0.0%	
8	8	5243.9	0.7%

A continuación se procede a la descripción detallada de las clases y subclases obtenidas, especificando la distribución geográfica, la superficie ocupada, el significado de capacidad agrológica de las clases y las limitaciones que definen las subclases.

CLASE AGROLÓGICA 1

En la Comunidad de Madrid no hay tierras de clase agrológica 1. Esta carencia se debe principalmente a motivos climatológicos (frío invernal), que excluye la posibilidad de algunos cultivos, como por ejemplo los cítricos.

CLASE AGROLÓGICA 2

Las tierras de clase agrológica 2 ocupan aproximadamente unas 23500 ha y representan en torno al 3% de la superficie total de la Comunidad. Están situadas en el sur de la Comunidad, concretamente en las zonas regadas de las llanuras aluviales y terrazas de los ríos Tajo, Tajuña, Jarama y Henares y los tramos finales del Guadarrama y Alberche. Además, hay pequeñas áreas regadas mediante pivots en la zona margoyesífera del sureste. La distribución es lineal y paralela a los cursos fluviales. Son las tierras con más alta capacidad agrológica de la Comunidad y las prácticas de conservación son fáciles de aplicar. Como ya se ha indicado, abarcan la mayoría de las zonas regadas de la Comunidad de Madrid, que, de esta manera, superan la limitación climática de una precipitación irregular e inferior a 450 mm anuales. Son aptas para uso agrícola con la mayor parte de los cultivos considerados, y, a la vez, también son aptas para prados, pastizales, bosques y áreas naturales. En la actualidad la mayor parte se dedica a cultivos herbáceos de invierno y verano. La concordancia entre el uso real y el potencial es una razón más para preservarlas en tal función.

Las limitaciones en esta clase son **(e)** erosión, que ha truncado el suelo en algunas zonas, **(s)** problemas en la zona radical, principalmente por salinidad, y **(a)** calidad del agua de riego.

- Subclase agrológica 2 es. Corresponde a las tierras en regadío de las terrazas medias del Tajo, Jarama, Henares, Guadarrama y Alberche. Esta subclase ocupa unas 4500 ha y representa un 0,6 % del territorio.

Las limitaciones de estas tierras son en primer lugar la erosión y en segundo lugar algunas características desfavorables (permeabilidad y pH) en la zona de desarrollo de las

raíces. La erosión ha truncado el suelo y los horizontes subsuperficiales, normalmente ricos en carbonatos, aparecen en superficie en algunas zonas.

- Subclase agrológica 2 sa. A esta subclase pertenecen unas 19000 ha (2,5 % del territorio total) y son las tierras en regadío de las llanuras aluviales y primeras terrazas del Tajo y tramo final del Jarama.

Los suelos son ligeramente salinos ($CE_s = 2 - 3$ dS/m), y también el agua de riego es moderadamente salina, debido a lo cual quedan excluidos los cultivos sensibles a la salinidad o es preciso tener en cuenta técnicas de riego especiales para estas condiciones.

CLASE AGROLÓGICA 3

La clase agrológica 3 es muy extensa (303.575,4 ha) y está presente en los dos territorios: Cuenca sedimentaria y Sierra, aunque es claramente dominante en el primero.

Las áreas principales en la Cuenca Sedimentaria son:

- Las mejores tierras en secano de los páramos alcarreños.
- Las formaciones yesíferas y arcillosas, ambas con relieve relativamente suave, del sur y este respectivamente de la Comunidad.
- Las arcillas marrones (facies Guadalajara) existentes en el río Pantueña y en la vertiente izquierda del Henares.
- Las llanuras aluviales y casi todas las terrazas de todos los sistemas fluviales (excluidas las de clase agrológica 2).
- La mayoría de los depósitos aluviocoluviales.
- Las superficies y terrazas antiguas con suelos arenosos.
- Las formaciones eólicas (loes) del valle del Tajo.
- Las arcosas o depósitos detríticos arenosos (facies Madrid) con topografía suave del centro y oeste de la Comunidad.

En la Sierra, las áreas más importantes son:

- Las navas o depresiones endorreicas de la base de la Sierra (cota inferior a 1100 m).
- Las superficies graníticas suavemente onduladas de la base de la Sierra (cota inferior a 1100 m).
- Las formaciones de tipo raña situadas al este del río Lozoya, en la Sierra Norte.

A esta clase agrológica pertenecen las mejores tierras de secano de la Comunidad y algunas tierras de regadío. Las situadas en la Cuenca Sedimentaria se dedican fundamentalmente a cultivos herbáceos de invierno-primavera, aunque también hay olivar y viñedo en pequeñas áreas del sur y sureste de la Comunidad. Y las situadas en la sierra se dedican a pastizales, aunque potencialmente son válidas para uso agrícola.

Las limitaciones que definen las subclases son: climáticas (c), de laboreo (l), limitaciones para el desarrollo de las raíces (s), humedad (w) y erosión (e).

- Subclase agrológica 3c: las tierras más importantes de esta subclase se localizan en las dolinas y llanadas del Páramo (Alcarria), en los relieves suavemente inclinados con suelos sobre yesos del sur y sureste, en las terrazas bajas en general, en las terrazas medias del Henares (Campiña), en las llanuras aluviales del Jarama y en los tributarios de los ríos principales. Esta subclase ocupa casi 50.000 ha y representa un 6,5 % del territorio total.

Las tierras pertenecientes a esta subclase son buenas tierras agrícolas. La limitación es de tipo climático, precipitación media inferior a 450 mm y período vegetativo algo corto.

- Subclase agrológica 3lc: las tierras de esta subclase se encuentran en el valle del Pantueña y margen izquierda del Henares. Esta subclase presenta una ocupación mucho menor que la anterior, en torno a 2.600 ha y representa únicamente un 0,3 % del territorio total.

El clima acompaña como limitación a la pendiente, que complica el movimiento de la maquinaria agrícola y favorece los procesos de erosión.

- Subclase agrológica 3s: las tierras de esta subclase agrológica ocupan en torno a 750 ha (0,1 % del territorio total) y se localizan en los llanos graníticos de la Comarca Suroccidental (San Martín de Valdeiglesias)

Los suelos que caracterizan esta subclase tienen baja capacidad de intercambio catiónico y reducida capacidad de almacenamiento de agua, lo que determina que las tierras sean secas y pobres en elementos nutritivos.

- Subclase agrológica 3sc: pertenecen a esta subclase los fondos de valle de las zonas yesíferas y arcósicas, las terrazas en secano del Tajo, Tajuña y Pantueña, las terrazas medias del Jarama, las llanuras aluviales en secano del Henares y Jarama, las arcillas del sur de Madrid y las arenas micáceas y feldespáticas de la facies Madrid (Getafe, Algete, Madrid, Alcobendas y Boadilla). También hay tierras de esta subclase en la Sierra, concretamente en las inmediaciones de Buitrago de Lozoya. Esta subclase es la más extensa dentro de esta clase 3, ocupando en torno a 109.000 ha (14,1 % del territorio total).

Las limitaciones proceden del suelo, por su escasa capacidad de almacenamiento de agua, y del clima, al ser zonas relativamente secas.

- Subclase agrológica 3sl: aparece solamente en la Sierra (21.000 ha; 2,7% del territorio) y está representada por los coluviones y superficies graníticas suavemente inclinadas de la Rampa.

Presentan como factores limitantes baja capacidad de almacenamiento de agua, baja capacidad de intercambio catiónico y afloramientos rocosos en superficie.

- Subclase agrológica 3ws: pertenecen a esta subclase algo menos de 6000 ha (0.8%) repartidas entre algunas terrazas altas del interfluvio Jarama-Henares, pequeñas áreas endorreicas de la terraza media del Jarama al este de la confluencia con el río Guadalix y las navas de la Rampa y Sierra Oeste.

Todas estas zonas presentan como característica común un imperfecto drenaje, y en algunas de ellas también una reducida capacidad de almacenamiento de agua.

- Subclase agrológica 3e: son áreas de extensión reducida que en conjunto no llegan a 700 ha (0,1%). Se incluyen aquí los conos de deyección en regadío ligados a los escarpes que bordean los grandes valles fluviales.

La limitación más importante es la erosión o bien las técnicas necesarias para su control.

- Subclase agrológica 3ec: esta subclase ocupa en torno a 18.600 ha (2,4%) y engloba los loes de los valles del Tajo y Tajuña, los abanicos aluviales y terrazas bajas del Henares y afluentes, los glaciares ligados a la destrucción del Páramo y las arcillas rojizas del entorno de Torrelaguna.

Las principales limitaciones, además del clima, son el truncamiento del suelo por erosión y una permeabilidad algo lenta.

- Subclase agrológica 3es: pertenecen a esta subclase más de 95.000 ha (12,3 % del territorio total). Estas tierras están constituidas por las zonas de areniscas del Páramo que afloran por desmantelamiento de las calizas, los conos de deyección ligados a la base de los escarpes de los valles fluviales, las arenas feldespáticas de la facies Madrid con relieve ondulado, y una parte de las terrazas altas de los sistemas fluviales.

Aunque no es la única limitación, la más importante es el truncamiento de los suelos por erosión.

CLASE AGROLÓGICA 4

Las tierras de clase agrológica 4 ocupan globalmente en torno a 108.000 ha distribuidas tanto en la Sierra como en la Cuenca sedimentaria. En la Cuenca sedimentaria se extiende por los relieves alomados de las arenas feldespáticas (facies Madrid), los materiales margoyesíferos y arcillosos del sur y el este del Cerro de los Angeles, las terrazas erosionadas de los principales ríos, las laderas de los arroyos tributarios del Henares y Jarama, y los cerrillos o pequeños relieves del

Páramo. En la Sierra ocupan una menor extensión y se localizan sobre todo en relieves relativamente suaves sobre materiales graníticos y gneísicos, y también en los pequeños enclaves areno-arcillosos del oligoceno y calizas y arenas cretácicas.

Las tierras de clase agrológica 4 son válidas para uso agrícola, aunque de carácter marginal, y también para prados, pastizales, bosques y áreas naturales. En el uso agrícola la gama de cultivos que pueden establecerse es reducida o las técnicas de conservación que hay que aplicar son complejas. Las tierras de esta clase están dedicadas a bosques y pastizales en la Sierra y a cultivos en la Cuenca sedimentaria. Los usos forestal y ganadero están totalmente ajustados a las condiciones de la clase agrológica. Por el contrario el uso agrícola es marginal y en proceso de regresión; este proceso ha determinado que algunos antiguos terrenos agrícolas de esta clase agrológica sean hoy eriales..

Las principales limitaciones que marcan la subclase en la Cuenca sedimentaria vienen marcadas por la erosión (**e**) que alcanza un grado severo, limitaciones al desarrollo radical (**s**) por una baja retención de agua en el suelo, y acusadas pendientes (**l**). En la Sierra aparece además el clima como condicionante (**c**), al existir un periodo vegetativo relativamente corto con veranos frescos.

- Subclase agrológica 4c: las tierras de esta subclase ocupan algo más de 9.500 ha (1,2 %) y se encuentran en la Sierra Húmeda, en áreas de relieve suave y materiales graníticos y gneísicos (Canencia, Lozoya, Rascafría y Miraflores).

La limitación la marca el clima: corto periodo vegetativo y veranos frescos.

- Subclase agrológica 4s: las tierras de esta subclase ocupan una extensión considerable (49.480 ha; 6.4% del total), tanto en la Sierra, en el entorno del embalse de Riosequillo (Buitrago de Lozoya), como en la Cuenca sedimentaria, en el Páramo y en las superficies y terrazas antiguas con suelos arenosos del alto Manzanares, Guadarrama y Alberche.

Las limitaciones más importantes están en el reducido espesor efectivo y/o en la baja capacidad de almacenamiento de agua.

- Subclase agrológica 4sc: las tierras de esta subclase se encuentran en la zona norte y central de la Sierra Húmeda. Tienen relieve ondulado y variados materiales, fundamentalmente granitos, gneises y esquistos aunque también hay arenas y calizas cretácicas. Ocupan en conjunto unas 18.700 ha que supone un 2,4 % del total del territorio.

Un reducido poder de retención de agua y un corto período vegetativo son las limitaciones más importantes de estas tierras

- Subclase agrológica 4l: sólo aparecen algo más de 7.000 ha presentes en el suroeste de la comunidad (Cuenca sedimentaria), vinculado al río Guadarrama y Arroyo Grande (afluente del Alberche).

La fuerte pendiente es el factor limitante sobresaliente en estas tierras.

- Subclase agrológica 4e: pertenecen a esta subclase unas 17.000 ha (2.2% del total) distribuidas entre algunas terrazas en regadío del Tajo, las lomas yesíferas al sureste del Cerro de los Angeles y los escarpes creados por el encajamiento fluvial en las terrazas altas del Henares y Jarama.

La limitación más importante es la erosión, que en estas tierras alcanza el grado severo.

- Subclase agrológica 4es: las tierras de esta clase son terrazas muy erosionadas; en muchos lugares forman un conjunto de pequeños cabezos aislados. En total ocupan algo más de 5500 ha (0.7% del territorio total).

La erosión muy marcada y el bajo poder de almacenamiento de agua derivado del carácter pedregoso de los suelos son los factores limitantes más importantes.

CLASE AGROLÓGICA 5

Las tierras de la clase agrológica 5 presentan características geomorfológicas completamente diferentes en los dos territorios de la Comunidad. En la Cuenca sedimentaria siguen el trazado de los cursos fluviales, ya que constituyen las llanuras de inundación de los ríos principales. En la Sierra, por el contrario, se circunscriben a las depresiones endorreicas (Navas). En ambos casos, el factor limitante es el exceso de agua, por inundación en el primer caso y encharcamiento en el segundo. Por ello, son inadecuadas para el uso agrícola y adecuadas para prados, pastizales y bosques (este último caso con especies muy concretas) y áreas naturales.

- Subclase 5w: es la única subclase que aparece en clase 5 y ocupa una extensión de 7270 ha (0,9%). El factor limitante de estas tierras es la inundación en la cuenca sedimentaria (aunque este fenómeno es cada vez menos frecuente y peligroso debido a la regulación de los cursos fluviales por los embalses) y el encharcamiento en la sierra.

CLASE AGROLÓGICA 6

Las tierras de esta clase ocupan algo más de 221.000 ha (28,6% del total) y se extienden por la Sierra y la Cuenca sedimentaria. En la Sierra ocupan amplias extensiones en la rampa e inicio de las vertientes, con relieve fuertemente ondulado. En la Cuenca sedimentaria se encuentran en las arcosas de la facies Madrid situadas al norte de la ciudad, y en las vertientes y escarpes de los sistemas fluviales del este (Jarama, Henares, Pantueña, Manzanares, Tajuña y Tajo).

Tienen severas limitaciones que, en principio, las hacen inadecuadas para el uso agrícola, estando limitado su uso a prados, pastizales, bosques y áreas naturales. En la Sierra las tierras de esta clase agrológica se dedican a pastizales y bosques. En la Cuenca sedimentaria aún hay cultivos, pero dominan los pastizales, los eriales y los bosques (a veces muy degradados). Las áreas cultivadas de esta clase agrológica se encuentran en situación totalmente marginal.

Las limitaciones que marcan las subclases son: la pendiente (**l**) y la erosión (**e**).

- Subclase agrológica 6l. Las tierras de esta subclase agrológica ocupan casi 89.000 ha lo que representa 10.5 % del total del territorio. En la Sierra están distribuidas en

amplias extensiones mientras que en la Cuenca Sedimentaria se circunscriben a las vertientes del Tajuña.

Las limitaciones son: en la Sierra el alto porcentaje de pedregosidad superficial, y en la Cuenca Sedimentaria la pronunciada pendiente.

- Subclase agrológica 6e. Las tierras de esta subclase agrológica se encuentran tanto en la Sierra como en la Cuenca sedimentaria ocupando un total de 71.752,5 ha (9,3 % del total). En la Sierra ocupan diversas zonas con distribución un tanto irregular. En la Cuenca sedimentaria aparecen en un área de arcosas (facies Madrid) al norte de la ciudad de Madrid, en los escarpes más pronunciados de las terrazas altas y en las vertientes de los ríos Jarama, Manzanares, Tajuña y Tajo.

El factor limitante más importante en las tierras de esta *subclase* es la erosión potencial, que excluye el uso agrícola.

- Subclase agrológica 6el. Las tierras de esta subclase agrológica se encuentran principalmente en la Sierra aunque también hay pequeños enclaves en la Cuenca sedimentaria, concretamente en las vertientes de los ríos Henares, Jarama, Tajuña, Tajo y en las de algunos de los tributarios. En conjunto ocupan en torno a 68.350 ha que supone un 8,9 % del territorio total.

Los factores limitantes más importantes de las tierras de esta subclase agrológica son la erosión potencial y la pendiente.

CLASE AGROLÓGICA 7

Las tierras de esta clase agrológica ocupan algo menos de 104.000 ha que se distribuyen fundamentalmente por las elevaciones de la Sierra, las calizas cretácicas del noreste de la Comunidad y los escarpes de los valles en la Cuenca sedimentaria, sobre todo en las zonas de rotura del Páramo.

Los factores limitantes son la temperatura del verano (**c**), pendiente y pedregosidad superficial (**l**), el espesor efectivo (**s**), erosión potencial (**e**) y el drenaje (**w**). La situación de cada uno

de estos factores, que a veces se presentan de forma combinada, excluye cualquier uso distinto de pastizales, bosques y áreas naturales.

- Subclase agrológica 7c. Las tierras de esta subclase agrológica ocupan 4640 ha (0,6% del territorio total) y se encuentran en las partes más altas de la Sierra aunque no tienen pendientes excesivamente pronunciadas.

El factor limitante más importante en este caso es de origen climático, concretamente las bajas temperaturas del verano.

- Subclase agrológica 7l. Las tierras de esta subclase agrológica ocupan una extensión considerable en la Sierra (El Escorial, Miraflores, Torrelaguna, sur del río Lozoya y Sierra de Guadarrama) pero también aparecen en el este y sureste de la Comunidad: en las calizas cretácicas y en las vertientes escarpadas de los valles del Jarama, Henares, Tajuña y Tajo. En conjunto suman algo más de 50.000 ha (6,5% del total).

El factor limitante en esta subclase es la fuerte pendiente de las laderas.

- Subclase agrológica 7lc. Las tierras de esta subclase agrológica ocupan en torno a 11.600 ha presentes en las zonas altas y con pendientes pronunciadas de la Sierra (Sierra de los Porrones, La Pedriza y longitudinalmente en la Sierra de Guadarrama).

Los factores limitantes son la pendiente y los veranos fríos.

- Subclase agrológica 7sl. Las tierras de esta subclase agrológica suman casi 21.300 ha (2,8% del total) y se encuentran en distintas partes de la Sierra. Concretamente en el suroeste en torno a Robledo de Chavela, en el centro ligadas a los relieves de la Rampa y en el noreste en la zona más inaccesible de la Sierra al este del río Lozoya.

Los factores limitantes son las pendientes pronunciadas y el reducido espesor efectivo de los suelos; en algunos casos también la abundante pedregosidad superficial.

- Subclase agrológica 7el. Las tierras de esta subclase agrológica ocupan unas 11.700 ha (1,5% del total). En la Sierra se sitúan fundamentalmente en la formación pizarrosa

que comienza en el embalse de San Juan y se extiende hacia el norte. En la Cuenca Sedimentaria se encuentran en los escarpes del Páramo.

Los factores limitantes más importantes son la elevada tasa de erosión potencial y la pendiente.

- Subclase agrológica 7es. Las tierras de esta subclase agrológica se extienden en unas 4.400 ha con una parte del área de pizarras negras situadas en el noreste de la Comunidad en torno al embalse de El Atazar.

Los factores limitantes son la elevada tasa de erosión potencial y el reducido espesor efectivo de los suelos, además de una pendiente acusada y abundante pedregosidad superficial.

- Subclase agrológica 7wc. Las tierras de esta clase agrológica son las tollas o pequeñas áreas endorreicas situadas en las alturas de la Sierra (54 ha).

Los factores limitantes son el mal drenaje ligado a la existencia de una capa freática y los veranos fríos.

CLASE AGROLOGICA 8.

Las tierras de esta clase agrológica suman en torno a 5240 ha (0.7% del total) constituidas por los acantilados y cumbres peñascosas. Están principalmente situadas en la Sierra, pero también en los escarpes de rotura del Páramo y en las vertientes muy pronunciadas de algunos valles, en este caso sobre formaciones yesíferas.

Las limitaciones son muchas pero destaca sobre todas la pendiente que sobrepasa el 50% de inclinación. Con tales características las tierras de esta clase agrológica son inadecuadas para cualquier uso agrario de carácter económico. Por tanto son válidas tan sólo para áreas naturales, zonas de esparcimiento y paisajismo.

El método establece que la clase agrológica 8 no tiene subclases.

6. CONCLUSIONES

- No hay tierras de Clase agrológica 1 en la Comunidad de Madrid.
- Las clases agrológicas más extensas en la Comunidad de Madrid son la 3 y la 6. La clase agrológica 3 ocupa un 40% de la superficie de la Comunidad Autónoma y la clase agrológica 6 casi un 30%. A mayor distancia se sitúan las clases 4 y 7 que ocupan cada una un 13-14%. Por último, las clases agrológicas 2, 5 y 8 representan una proporción muy reducida del territorio.
- La mayor parte de las tierras de regadío del Tajo, Tajuña, Jarama, Henares, Alberche, Guadarrama y Arroyo Grande pertenecen a la Clase agrológica 2.
- Las mejores tierras de secano junto con algunas pequeñas áreas de regadío pertenecen a la Clase agrológica 3. En la amplia extensión de esta clase agrológica la dedicación de las tierras es tanto agrícola como ganadera. Las tierras de cultivo ocupan una banda central SW – NE y áreas dispersas en el SE, y las tierras de prados las superficies más llanas de la Rampa, al pie de las vertientes de la Sierra.
- La clase agrológica 4 engloba tierras relativamente pobres. Ello es debido a propiedades desfavorables como erosión, bajo poder de almacenamiento de agua y/o pendiente
- La clase agrológica 5 agrupa tierras con características especiales. En concreto, pertenecen a esta clase las llanuras de inundación de los ríos principales y una parte importante de las áreas endorreicas, estas últimas situadas mayoritariamente en la Sierra.
- Las tierras de las clases agrológicas 6 y 7 son particularmente abundantes en la Sierra aunque también están presentes en la Cuenca sedimentaria. Son adecuadas tan sólo para bosques, pastizales y áreas de esparcimiento.
- A la clase agrológica 8 pertenecen las tierras más inaccesibles, cumbres y acantilados.

- Como recurso natural las tierras de clase agrológica 2 tienen importancia nacional y las de clase agrológica 3 regional.
- De acuerdo con la capacidad agrológica, en la Comunidad de Madrid deben preservarse para la actividad agraria las tierras de clase agrológica 2 y las de subclase agrológica 3e.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J. y Ortiz, R.** 1992. Metodología de capacidad de uso agrícola de suelos. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pamplona. p. 281-286.
- Azevedo, A.L. and J.C. Cardoso.** 1962. Soil classification in Portugal and its application in agricultural research. Trans. Comm. IV and V. Int. Soc. Soil. Sci. New Zealand. p. 473-479.
- Bridges, E.M.** 1997. World Soils (third edition). Cambridge University Press. Cambridge.
- Comunidad de Madrid.** (Varios años) Mapas temáticos de suelos de la Comunidad de Madrid.
- COPLACO.** 1972. Cartografía Edafológica y Capacidad de uso del suelo de la subregión de Madrid. Ampliación para la realización de 300 perfiles edafológicos. Volúmenes I y II. CSIC. Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Departamento de Suelos. Comisión de Planeamiento y Coordinación del "Área Metropolitana de Madrid". Ministerio de la Vivienda. Madrid.
- Dent, D. and Young, A.** 1981. Soil survey and land evaluation. Ed. George Allen & Unwin, London.
- FAO.** 1976. Esquema para la evaluación de tierras. Boletín de suelos de la FAO N° 32. Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- FAO.** 1990. Guidelines for Soil Description. Soil Resources, Management and Conservation Service Land and Water Development Division. FAO, Rome. 70 p.
- Finck, A.** 1988. Soil Management and Soil Conservation. K. Skogs- o. Lantbr.-Akad. Tidskr. 127: 195-212 p.
- Gallardo, J., Almorox, J., y Hontoria, C.** 2001. Clasificación de la capacidad agrológica de las tierras. Ed. E.T.S.I. Agrónomos, Madrid.
- Gil-Albert, F.** 1986. La ecología del árbol frutal. Serie Técnica. MAPA. 278 p.
- Gunn, R.H., J.A. Beattie, R.E. Reid and R.H.M. Graaff (Eds).** 1988. Australian Soil and Land Survey Handbook: Guidelines for Conducting Surveys. Inkata Press. Melbourne.
- ICONA.** 1982. Paisajes erosivos en el sureste español: ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación. ICONA. MAPA.
- ICONA.** 1988. Agresividad de la Lluvia en España. Valores del Factor R de la USLE. MAPA. Madrid.
- Instituto Geológico y Minero de España.** 2002. Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Medio Ambiente. Terrenos Contaminados. N°2. 167 p.

- Klingebiel, A.A. and Montgomery, P.H.** 1961. Land capability classification. USDA Agricultural Handbook 210. Washington, DC. US Government Printing Office. 21 p.
- Lal, R., G.F. Hall, and F.P. Miller.** 1989. Soil degradation: I. Basic processes. Land Degradation and Rehabilitation, vol. 1, 51-69 p.
- Ministerio de Agricultura.** 1974. Caracterización de la Capacidad Agrológica de los suelos de España. Metodología y Normas.
- Moreira, J.M..** 1991. Capacidad de uso y erosión de suelos. Una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía. Junta de Andalucía. Agencia de Medio Ambiente. Sevilla.
- Porta, J., Lopez-Acevedo, M. y Roquero, C.** 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Rawls, W.J., L.R. Ahuja, D.L. Brakensiek y A. Shirmohammadi.**1992. Infiltration and soil water movement. En Handbook of Hydrology. Editor: D.R. Maidment. McGraw-Hill, Inc. p.5.1-5.51.
- Remy, J.C. et Marin-Lafèche.** 1974. L'analyse de terre: réalisation d'un programme d'interpretation automatique. Ann. Agron. 25 (4) p. 607-632.
- Rhümann, H.** 1965. Dificultades de los trabajos motorizados en ladera. Ministerio de Agricultura.
- Richards, L.A.** 1954. Diagnosis and improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook nº 60. United States Department of Agriculture, Washington, p 159.
- Riquier, J., D.L. Bramaio and J.P. Cornet.** 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. FAO soil Resources, Development and Conservation Service, Land and Water Development Division. FAO, Rome, 38 p.
- Sánchez, J., J.L. Rubio, V. Martínez, y C. Antolín.** 1984. Metodología de Capacidad de Uso de los suelos para la Cuenca Mediterránea. I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tomo II. Madrid. p. 837-848.
- Schmid, T., Millán, R., Lago, C., y Trueba, C.** 2000. Caracterización edafológica e índices de vulnerabilidad de la Comunidad Autónoma de Madrid. Escala 1:200.000. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológica, Madrid, 190 pp.
- Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocky, E.C. Benham and W.D. Broderson.**1998. Field book for describing and sampling soils. Natural Resources Conservation Service; USDA, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Soil Survey Staff.** 1993. Soil Survey Manual. USDA. Handbook N° 18. Octubre 1993. 437 p.
- Soil Survey Staff.** 1996. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Handbook, title 430-VI (Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, November 1996).
- Stewart, G. A.** 1968. Land evaluation. Ed. MacMillan, South Melbourne, Australia.

Thornthwaite, C.W. and J.R. Mather. 1955. The Water Balance. *Climatology*, 8(1). Lab. of Climat.. Centeron, N.Y. 104 p.

Trueba, C., Millán, R., Schmid, T., Roquero, C. y Magíster, M. 1998. Base de datos de propiedades edafológicas de los suelos españoles. Volumen 5. Madrid. Informes Técnicos Ciemat 871. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológica, Madrid, 111 pp.

Urbano, P. 1995. Tratado de Fitotecnia General. Ediciones Mundi-Prensa. 895 p.

Van Diepen C.A., Van Keulen, H, Wolf, J., and Berkhout, J.A.A. 1991. Land Evaluation: from intuition to quantification. In B.A. Steward (Eds.), *Advances in Soil Science*. Vol. 15. Ed. Springer. New York.

Wischmeier, W.H., y Smith, D.D. 1965. Predicting Rainfall-erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. Guide for Selection of Practices for Soils and Water Conservation. ARS. USDA. Agriculture Handbook N° 282. p. 47

Wischmeier, W.H., C.B. Johnson and B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil and Water Conservation*. N° 26. p. 189-193.