

El papel de los tomillares (*Thymus vulgaris* L.) en la protección de la erosión del suelo

Miguel A. Casermeiro¹, María Teresa de la Cruz Caravaca¹, Juan Hernando-Costa¹, María Isabel Hernando-Massanet¹, José A. Molina² & Purificación Sánchez²

¹ Departamento de Edafología, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid, Plaza Ramón y Cajal s/n, 28040 Madrid.

² Departamento de Biología Vegetal II, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid, Plaza Ramón y Cajal s/n, 280040 Madrid.

Correspondencia

M.A. Casermeiro

Tel.: 91 394 20 88

Email: caserme@eucmos.sim.ucm.es

Recibido: 15 Octubre 2001

Aceptado: 15 Enero 2002

Resumen

Se estudia la influencia de los tomillos vulgares (*Thymus vulgaris*) en la prevención de procesos de erosión de suelos en la cuenca del Arroyo de la Vega (Madrid) que discurre por materiales miocenos. Los grupos de suelos representativos de la zona son fluvisoles, calcisoles, leptosoles, gypsisoles, regosoles y cambisoles. Dicha cuenca esta catalogada por la Comunidad de Madrid como Zona de Erosión Significativa al estar produciéndose en la actualidad fenómenos activos de erosión. Se han elegido seis parcelas con tomillo siguiendo criterios de pendiente, representatividad espacial y ambiental. En cada parcela, se estudian los índices de abundancia/dominancia de las comunidades vegetales, cobertura aérea de la vegetación, número de individuos y biomasa. Con objeto de evaluar el comportamiento del suelo frente a la erosión se estudian las propiedades de los horizontes superficiales de los suelos: textura, pH, conductividad eléctrica, porosidad, densidad real y aparente, capacidad de retención de agua, carbono orgánico, nitrógeno total, carbonato cálcico equivalente y carbonato cálcico extraíble con oxalato amónico. Además se realizan pruebas de simulación de lluvia, usando un simulador de lluvia portátil, obteniéndose curvas de escorrentía y pérdida de sedimentos.

Las parcelas con menor biomasa presentan elevada tasa de escorrentía con pérdida de sedimentos, mientras que las parcelas con elevada biomasa, mayor diversidad de especies acompañantes y mayor pedregosidad superficial, presentan menor escorrentía y menor pérdida de sedimentos.

Palabras clave: Tomillares, Erosión del suelo, Simulación de lluvia.

Abstract

The role of thyme (Thymus vulgaris) shrubs in the protection of soil erosion.

The role of *Thymus vulgaris* formations in the control of erosion problem, in the arroyo de la Vega basin, is the main objectives of this paper. The main representative soil units are: fluvisols, calcisols, regosols, leptosols, gypsisols and cambisols, all developed from miocenic materials. This area is catalogued by local authorities (Comunidad de Madrid), as Significant Erosion Area because there exist an active process of soil erosion. Six plot has been selected according to their environmental and spatial representative and slope degree. In each plot the following data were achieved: abundance/dominant index of every

vegetal community, plant cover, number of species, number of individuals of each specie and biomass. In order to evaluate the behaviour of soil against erosion the following features were studied: texture, pH, electrical conductivity, water storage capacity, porosity, density, bulk density, organic carbon, total nitrogen, equivalent calcium carbonate and calcium carbonate extractable in ammonia oxalate. Rainfall test were performed in each plot using a portable rainfall simulator; runoff and sediment yield-out data were obtained. Plots with low biomass show a high runoff and soil losses mean while plots with a high biomass, vegetal diversity and high value of surface stoniness show lower values of runoff and sediment yield-out.

Key Words: Thyme bushes, Soil erosion, Rainfall tests.

Introducción

En los últimos años se han realizado investigaciones para asegurar la sostenibilidad del uso del suelo, tratando de mantener la calidad del mismo. Pero aún faltan conocimientos acerca de la naturaleza de la erosión y sus consecuencias, sobre todo en las áreas cultivadas, de las que el 30 % se ven afectadas por este proceso. La erosión es importante en zonas de clima árido y semiárido en las que es difícil mantener una cobertura vegetal adecuada, estando en relación con la distribución e intensidad de las precipitaciones a lo largo del año (años) y con las propiedades y uso del suelo (Wolman & Miller 1960) Son muchos los modelos propuestos para predecir la erosión potencial (Wischmeier 1959, Wischmeier & Smith 1962-1965-1978, Knisel 1980, Morgan & Fitnney 1987, Nearing et al. 1989, Williams 1990, Morgan et al. 1994, entre otros) y en todos ellos se contempla el factor cobertura vegetal. Según Do Prado (2000) la cobertura vegetal no sólo está representada por la vegetación, sino que también hay que tener en cuenta sus residuos. Barber (2000) sostiene que con una cobertura vegetal de 67-79%, la erosión se reduce al 10% de la que tendría ese suelo sin vegetación.

En la Comunidad de Madrid los agentes erosivos más importantes son el agua y el hombre. La acción del agua viene determinada por factores climáticos, relieve, cobertura vegetal, etc. El grado de erosión mayor se centra en zonas del sur y sudeste, en las que dominan regosoles, cambisoles, leptosoles y gygisoles (FAO 1998). La acción humana se manifiesta por abandono de cultivos (olivares en las laderas).

Las especies del género *Thymus* tienen una importancia clave en la vegetación ibérica, los vulgarmente llamados «tomillos» forman parte de los matorrales de caméfitos extendidos en la España mediterránea. Los «tomillares» se han ido extendiendo a lo largo y ancho de nuestra Península favorecidos por la intensa deforestación a que ésta se ha visto sometida, haciéndose dominantes en las primeras etapas del desarrollo del matorral mediterráneo. La mayoría de sus especies son capaces de soportar las duras condiciones de nuestro cli-

ma con sus prolongadas sequías estivales. *Thymus vulgaris* vive preferentemente sobre suelos ricos en bases, desarrollados a partir de calizas y margas, también en terrenos pedregosos y yesosos cuando la influencia del yeso no es muy marcada (Morales Valverde 1986).

El objeto del presente trabajo es relacionar la pérdida de suelo con la cobertura vegetal, factores edáficos y pendiente, en parcelas con tomillares, realizando pruebas de simulación de lluvia, si bien en el estudio integral del Arroyo de la Vega aparecen numerosas parcelas en las que dominan pastizales y otros matorrales.

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el Arroyo de la Vega en el sudeste de la Comunidad de Madrid. Este valle está catalogado como Zona de Erosión significativa por la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid (1997). Las zonas donde se están produciendo los fenómenos de erosión son las laderas que unen el páramo con el fondo del valle. Este arroyo discurre por materiales miocenos (facies blandas, carbonatadas, yesosas, etc.) socavando el páramo en el que predominan las calizas pontienses y costras pleistocenas, produciendo cuevas con pendientes, a veces, importantes y con escasa vegetación arbórea, siendo ésta sustituida por matorrales de coscojas, romeros y tomillos. El clima, de acuerdo con Rivas-Martínez (1997), es mediterráneo pluviestacional oceánico. Esta zona se localiza en el piso bioclimático mesomediterráneo superior con un ombrotipo seco. La media de la precipitación anual es de 458 mm con un ritmo ómbrico, otoño>primavera>invierno>verano. El máximo riesgo de erosión es en otoño, después del período de sequía y con el máximo de precipitación anual.

Las unidades de suelo representativas de este valle son: luvisoles crómicos en los páramos, calcisoles rendsicos, leptosoles líticos y rendsicos, regosoles calcáricos y cambisoles calcáricos, en las cuevas, y fluvisoles calcáricos en los márgenes del arroyo.

La vegetación natural esta representada por bosques: encinares (*Quercus rotundifolia*) y quejigares (*Quercus faginea*); espartales (*Stipa tenacissima*) y matorrales: coscojares (*Quercus coccifera*), romerales (*Rosmarinus officinalis*) y tomillares (*Thymus vulgaris*) (cf. Rivas-Martínez 1982).

El uso tradicional de esta zona es la agricultura en páramos y fondo de valles y cultivos de olivos y ganadería en las cuestas. Se han producido profundos cambios en la estructura agraria durante el siglo pasado, provocando el abandono de áreas de pendiente que han sido colonizadas por vegetación natural.

Material y métodos

Seis parcelas de 25 m² de superficie, con tomillares, han sido seleccionadas en función de los siguientes criterios: fisonomía y representatividad ecológica, representatividad espacial y posición fisiográfica.

El tamaño de parcela se ha seleccionado para recoger la mayoría de la información de las comunidades vegetales (Barkman 1989). En cada una de estas parcelas se ha medido la pendiente utilizando un clinómetro y se ha estimado la pedregosidad superficial, hojarasca y cobertura vegetal. Además, se ha realizado un muestreo de la vegetación referenciando la presencia/ausencia de las especies vegetales. La frecuencia de aparición de las especies se ha medido con objeto de calcular el Índice de Diversidad de Margalef (Magurran 1996, Grytnes 2000). La biomasa de cada parcela se ha medido por métodos objetivos indirectos. Toda la biomasa aérea fue recolectada en una subparcela de 6,25 m², en el triángulo del vértice inferior izquierdo de la parcela. La biomasa húmeda fue desecada a 85 °C hasta peso constante, posteriormente esta biomasa se clasificó en función del biotipo de las especies vegetales según Elleberg & Mueller-Dombois (1966). No se recogieron las especies anuales ya que en otoño, cuando el riesgo de erosión es mayor, su biomasa no es relevante. La nomenclatura utilizada para la flora vascular es la propuesta por Castroviejo et al. (1986/2001).

Se tomaron muestras de suelo hasta una profundidad de 30 cm y se procedió a la determinación de la textura, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno total,

relación C/N y carbonato cálcico equivalente según ISRIC (1993). Para la determinación del carbonato cálcico extraíble en oxalato amónico se siguió la Norma Francesa (NF 1982).

Se recogieron también cilindros inalterados, siguiendo la metodología propuesta por FAO (1977). Las muestras inalteradas de suelo se utilizaron para la determinación de las densidades real y aparente, la porosidad y la capacidad de almacenamiento de agua.

En cada una de las parcelas se realizó una prueba de simulación de lluvia en suelos saturados posteriormente a un período de lluvias, utilizando un simulador de lluvia portátil (Kamphorst 1987). La prueba se realizó en una subparcela de 0.1m², con una intensidad e lluvia de 458 mm min⁻¹ y una energía cinética de 3.92 Jm⁻² mm⁻¹. El tiempo de simulación fue superior a 5 minutos. Además, se recogieron los sedimentos arrastrados durante la simulación de lluvia, se desecaron a 105°C y se pesaron.

Resultados y conclusiones

Los bióticos dominantes en los tomillares son los caméfitos y los hemicriptófitos (Tabla 3), en ocasiones aparecen fanerófitos. No se aprecian tendencias entre la composición en bióticos y su influencia en la protección del suelo.

La biomasa se relaciona, en líneas generales, con la escorrentía y la pérdida de sedimentos; a mayor biomasa, menor escorrentía y pérdida de suelo. Una excepción es la parcela 4, que a pesar de tener el valor máximo de biomasa presenta unos valores intermedios de escorrentía. Esto puede ser debido a que existen numerosos individuos de fanerófitos (encinas muy jóvenes) que participan aportando biomasa, pero sin embargo la intercepción de la lluvia es menos eficaz de lo previsible. No obstante, si que disminuyen lo suficiente la energía cinética de las gotas de lluvia para impedir el arrastre de sedimento.

De manera análoga, se relacionan los valores de biodiversidad con la protección del suelo. A mayor índice de biodiversidad menor escorrentía y pérdida de suelo. Así aquellas parcelas con un índice superior a 5 presentan valores muy bajos de escorrentía y arrastre de sedimentos, mientras que las parcelas con valores de biodiversidad menores tienen mayor escorrentía.

Parcelas	UTM		Pendiente	Cobertura aérea	Hojarasca	Pedregosidad
	X	Y				
1	4468234	480758	20	100	0	5
2	4467641	480053	10	90	10	0
3	4463940	446375	21	30	0	80
4	4465145	479317	27	70	5	40
5	4463888	474642	20	20	40	50
6	4469628	480636	17	70	5	50

Tabla 1. Características generales de las parcelas (unidades en %).
Table 1. Plot description (units in %).

Nº Parcela	1	2	3	4	5	6
Lino-Salvietum						
<i>Thymus zygis</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Linum suffruticosum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Lavandula latifolia</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Aphyllantes monspeliensis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Coronilla minima</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Hippocrepis commutata</i>	0	0	0	1	0	0
Cisto-Rosmarinetum						
<i>Rosmarinus officinalis</i>	0	1	0	0	0	0
Var – nitrófila						
<i>Plantago albicans</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Arenaria leptoclados</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Linum strictum</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Bellardia trixago</i>	0	0	1	1	0	0
Características Rosmarinetea						
<i>Helianthemum cinereum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Thymus vulgaris</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Helianthemum hirtum</i>	0	1	1	0	1	0
<i>Helichrysum stoechas</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Genista scorpius</i>	1	0	0	1	1	0
<i>Helianthemum apenninum</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Fumana procumbens</i>	1	0	0	1	0	1
<i>Fumana ericoides</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Sideritis hirsuta</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Stipa iberica</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Avenula marginata sulcata</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Euphorbia nicaeensis</i>	1	0	1	1	0	0
<i>Lithodora fruticosa</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Koeleria vallesiana</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Coris monspeliensis</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Teucrium polium</i>	1	1	0	0	1	0
<i>Alyssum serpyllifolium</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Galium frutescens</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Stachelina dubia</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Argyrolobium zanonii</i>	0	1	0	1	0	1
<i>Dactylis glomerata</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Polygala monspeliaca</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Medicago sativa</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Bombycilaena discolor</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Cuprina vulgaris</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Euphorbia serrata</i>	1	1	1	0	0	0
Compañeras						
<i>Bryophyta</i>	1	1	0	1	0	1
<i>Carlina corymbosa</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Brachypodium phoenicoides</i>	1	0	0	1	0	1
<i>Eryngium campestre</i>	1	1	0	1	0	1
<i>Galium parisiense</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Cephalaria leucantha</i>	0	1	0	1	0	1
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Phlomis lychnitis</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Sanguisorba minor</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Brachypodium dystachion</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Serrulata pinnatifida</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Odontites longiflora</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Crepis vesicaria</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Thapsia villosa</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Anagallis arvensis</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Atractylis humilis</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Coronilla scorpiodes</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Ononis pusilla</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Orobanche sp</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Ononis spinosa</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Scorzonera graminifolia</i>	1	0	1	1	0	0
<i>Silene mellifera</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Silene nocturna</i>	0	0	1	0	0	0
Características de bosque						
<i>Quercus faginea (pl)</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Quercus rotundifolia (pl)</i>	1	0	1	0	1	1

Tabla 2. Inventario de vegetación. 0=ausencia, 1=presencia.

Table 2. Plant reelevés.

CAM	n° sp Totales	Ch	Biomasa gm ⁻²			N° de individuos				I D M
			H	P	Total	Ch	H	P	Totales	
1	31	335	651	1	987	70	124	2	196	5,68
2	22	1925	228	46	2200	354	68	6	428	3,47
3	32	907	53	0	961	127	139	3	269	5,54
4	25	2653	197	2146	4998	330	115	33	478	3,89
5	22	398	2	218	621	218	4	28	251	3,80
6	26	597	135	1	734	275	207	1	483	4,05

Tabla 3. Número de especies vegetales, biomasa por biotipo, n° de individuos por biotipo e Índice de Diversidad de Margalef. Ch: Caméfitos, H: Hemicriptófitos, P: Fanerófitos, IDM: Índice de Diversidad de Margalef.

Table 3. Vegetation data, number of individuals and biomass per biotype and Margalef Diversity Index.

MUESTRA	Tiempo (segundos)												RESIDUAL	TOTAL
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330		
1	0	14	23	32	33	40	50	50	49	50	49	49	32	471
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	18	67	68	88	78	115	98	102	66	73	50	11	834
4	0	64	180	206	208	202	230	202	212	172	190	182	60	2108
5	0	38	176	176	176	164	178	180	166	144	160	164	40	1762
6	0	30	188	208	224	238	238	220	244	230	190	160	60	2230

Tabla 4. Valores de escorrentía (mL) cada 30 segundos. RESIDUAL: Escorrentía residual después de haber acabado la simulación de lluvia. TOTAL: Suma de escorrentía parcial.

Table 4. Runoff data (mL)/30 seconds.

Muestra	Sedimentos g	Sedimentos gm ⁻²	Sedimentos kgha ⁻¹
1	0,61	6,78	67,78
2	0	0	0
3	0,98	10,89	108,89
4	1,54	17,12	171,19
5	9,70	107,78	1077,78
6	10,30	114,44	1144,44

Tabla 5. Pérdida de sedimentos.

Table 5. Sediment yield out.

MUESTRA	PH	C.E. (μS/cm)	%CaCO ₃ ¹	%CaCO ₃ ²	% CARBONO ORGÁNICO	% NITRÓGENO	RELACIÓN C/N
1	8,2	196	11,00	45,34	2,36	0,16	14,75
2	8,1	205	8,30	23,25	3,96	0,17	23,29
3	8,2	146	9,60	39,76	2,88	0,14	20,57
4	8,0	204	14,00	28,13	2,46	0,11	22,36
5	8,3	156	6,60	48,80	2,73	0,11	24,82
6	8,4	145	6,10	47,20	1,58	0,08	19,75

Tabla 6. Datos de suelos, pH, conductividad eléctrica, contenido en carbonatos, carbono orgánico, nitrógeno, y relación carbono nitrógeno. %CaCO₃¹: Carbonato cálcico activo. %CaCO₃²: Carbonato cálcico equivalente.

Table 6. Soils data, pH, electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen, carbon/nitrogen ratio and carbonate contents.

MUESTRA	ARENA GRUESA	ARENA FINA	LIMO	ARCILLA	DENSIDAD REAL Mgm ⁻³	DENSIDAD APARENTE Mgm ⁻³	POROSIDAD %	RETENCIÓN DE AGUA (-33kPa)gkg ⁻¹
1	15,69	35,73	14,85	33,73	2,26	1,50	33,70	214
2	17,31	36,92	6,99	38,78	2,05	1,46	28,90	220
3	35,53	29,76	7,56	27,15	2,40	1,29	46,28	259
4	18,48	33,69	7,04	40,79	2,39	1,64	31,41	116
5	10,72	22,52	31,58	35,18	2,35	1,08	53,95	220
6	16,85	25,94	25,15	32,06	2,21	1,26	42,87	176

Tabla 7. Fracciones granulométricas (%), densidad real y aparente, porosidad y retención de agua.
Table 7. Textural data (%), density and bulk density and water retention.

Los valores de escorrentía (Tabla 4) están relacionados, con la pérdida de sedimentos (Tabla 5). Los suelos que presentan procesos de escorrentía intensos (4, 5 y 6) sufren una mayor pérdida de sedimentos. No se aprecia una clara relación con la cobertura vegetal (Tabla 1); sin embargo, si se tienen en cuenta los parámetros edáficos, parece existir cierta relación entre la escorrentía y pérdida de sedimentos y el contenido y naturaleza de la materia orgánica. La importancia de la materia orgánica como componente del suelo que influye de forma decisiva en la estabilidad de los agregados se ha puesto de manifiesto por numerosos autores (Edwards et al. 1967, Tisdall et al. 1982, Elliot 1986, etc.). Aquellos suelos que tienen mayor contenido en carbono orgánico (Tabla 6) o que tienen una relación C/N baja, tienen una escasa o nula pérdida de sedimentos.

La parcela 2 no presenta escorrentía ni pérdida de sedimentos ya que, además de la escasa pendiente (Tabla 1), presenta un denso tapiz de briófitos que retiene agua y le proporciona una importante cantidad de carbono orgánico que frena la erosión.

La parcela 6, donde la escorrentía y pérdida de sedimentos es mayor, corresponde a un suelo de cultivo abandonado, por lo que es posible que el empleo de agromecánica en épocas anteriores haya provocado procesos de compactación del suelo.

El pH básico de los suelos es el que corresponde a zonas de materiales carbonatados, con ligera presencia de sales, como indican los valores de conductividad (Tabla 6). Los carbonatos son abundantes debido a la escasez de precipitaciones y a procesos de recarbonatación secundaria. Otro dato que se debe considerar es el contenido en carbonato cálcico activo (finamente dividido), aquellas parcelas cuyo contenido es bajo (parcelas 5 y 6) sufren mayor pérdida de sedimentos, siendo independiente de la escorrentía, mientras que en las que tienen un contenido próximo al 10%, la pérdida de sedimentos es notablemente menor. Hay que tener en cuenta que el carbonato cálcico finamente dividido se altera suministrando calcio, éste satura las superficies coloidales y favorece la estabilidad de los agregados estructurales (Kjellander et al. 1988).

Granulométricamente las texturas son franco-arcillosas, arcillo-arenosas y franco-arcillo-arenosas (Tabla 7), por lo que las propiedades del suelo se ven influidas por las fracciones finas, condicionando gran abundancia de poros finos, sin embargo las modificaciones estructurales rebajan la retención de agua.

Las parcelas de tomillares con mayor índice de biodiversidad, elevada biomasa y alta pedregosidad superficial, así como con elevado contenido en carbono orgánico, menor relación C/N y valores de carbonato cálcico finamente dividido próximos al 10%, presentan menor escorrentía y menor pérdida de suelo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto: Influencia de la cobertura vegetal en la degradación de suelos por erosión hídrica. Aplicación al plan forestal de la Comunidad Autónoma de Madrid (07m/001/99).

Referencias

- Barber R. 2000. Principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo del suelo. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de Tierras y Aguas de la FAO, nº 8. Roma: Ed. FAO.
- Barkman JJ. 1989. A critical evaluation of the minimum area concepts. *Vegetatio* 85: 89-104.
- Castroviejo S. et al. 1986-2001. Flora iberica 1-8. Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC.
- CMA de la CAM. 1997. Plan forestal de la Comunidad de Madrid. CAM: Madrid.
- Do Prado L. 2000. Cobertura del suelo. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de Tierras y Aguas de la FAO, nº 8. Roma: Ed. FAO.

- Edwards AP & Bremner JM. 1967. Microaggregates in Soils. *Journal of Soil Science* 18: 64-73.
- Ellemberg H. & Mueller-Dombois D. 1966. A key to Raumkiaer plant life forms with revised subdivisions. *Berichte des Geobotanischen Instituts der Eidg. Techn. Hochschule Stiftung Rübel* 37: 56-72.
- Elliot ET. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society American Journal* 50: 627-633.
- Grytnes JA. 2000. Fine-scale vascular plant species richness in different alpine vegetation types: relationships with biomass and cover. *Journal Vegetation Science* 11: 87-92.
- F.A.O. 1977. Guía para la descripción de perfiles. Roma: Ed. F.A.O.
- F.A.O. 1988. Revised legend of the FAO-UNESCO soil map of the world (Provisional edition of the final text). Roma: Ed. F.A.O.
- ISRIC. 1993. Procedures for Soil Analysis. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre.
- Kamphorst A. 1987. A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 3: 407-415
- Kjellander R, Marcelja S & Quirk JP. 1988. Attractive double-layer introductions between calcium clay particles. *Journal Colloid and Interface Science* 126: 194-211.
- Knisel WG. 1980. Creams: a field scale model for chemical, runoff and erosion from agricultural management systems. Conservation Research Report. United States Department of Agriculture.
- Magurran AE. 1996. Ecological Diversity and its Measurement. New York: Chapman & Hall.
- Morales Valverde R. 1986. Taxonomía del género *Thymus* (excluida la sección *Serpyllum*) y *Thymra* en la Península Ibérica. *Ruizia* 3. Madrid: CSIC.
- Morgan RPC & Fitney HJ. 1987. Drag coefficients of single crop rows and their implications for wind erosion control. In: *International Geomorphology 1986* (Gardiner V, ed.). Chichester: Wiley, pp. 449-458.
- Morgan RPC, Quinton JN & Rickson RJ. 1994. Modelling methodology for soil erosion assessment and soil conservation design: The EUROSEM approach. *Outlook in Agriculture* 23: 5-9.
- Nearing MA, Foster GR, Lane IJ & Finkner SC. 1989. A process-based soil erosion model for USDA. Water Erosion Prediction Project technology. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineer* 32: 1587-1593.
- N F. 1982. *Qualité des sols. Détermination du calcaire actif*. Paris: Ed. AFN, Norme Française X.
- Rivas Martínez S. 1982. Memoria del mapa de las series de vegetación de la Provincia de Madrid. Madrid: Diputación de Madrid.
- Rivas Martínez S. 1997. Syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America I. *Itinera Geobotanica* 10: 5-148.
- Tisdall JM & Oades JM. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in Soils. *Journal of Soil Science* 33: 141-163.
- Williams JR. 1990. Assessing the impact of erosion on soil productivity using the EPC Model. *Soil Erosion in Agricultural Land*. New York: Wiley & Sons.
- Wischmeier WH. 1959. A rainfall erosion index for a Universal Soil-loss Equation. *Proceeding Soil Science Society American* 23: 246-249.
- Wischmeier WH & Smith DD. 1962. Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning. *International Association Hydrology Publisher* 59: 148-159.
- Wischmeier WH & Smith DD. 1965. Predicting rainfall-erosion-losses from cropland east of the Rocky Mountains (Handbook nº 282). Washington: Agricultural Research Service.
- Wischmeier WH & Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses (Handbook nº 537). Washington: Agricultural Research Service.
- Wolman MG & Miller JP. 1960. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *Journal of Geology* 68: 54-74.