

## Introducción a los suelos de Monegros

R. Rodríguez-Ochoa<sup>1</sup> y O. Artieda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Medio Ambiente y Ciencia del Suelo. E.T.S. de Ingeniería Agraria. Univ. de Lleida. Avda. Rovira Roure, 177. 25198 Lleida. rrodriguez@macs.udl.es

<sup>2</sup> Unidad de Suelos y Riegos, Servicio de Investigación Agroalimentaria (DGA); Laboratorio Asociado de Agronomía y Medio Ambiente (DGA-CSIC). Apdo. 727, 50080-Zaragoza (España). octavio@syrsig.mizar.csic.es



### Introducción

Los Monegros se encuentran situados en la parte oriental de la Depresión media del Ebro, siendo difícil su delimitación geográfica precisa. El presente trabajo se enmarca en una área más amplia que comprende, además de la comarca de Los Monegros considerada por De Los Ríos (1982), zonas de la margen derecha del Ebro con una fisiografía similar.

### Fisiografía

Los rasgos generales del clima son las escasas e irregulares precipitaciones, la prolongada sequía estival, el efecto secativo del viento y la presencia, en zonas bajas, de nieblas heladas persistentes en invierno.

La precipitación presenta valores medios anuales variables entre 320 mm en *Zaragoza Aeropuerto* (Faci y Martínez-Cob, 1991) y unos 650 mm en la zona de la Sierra de Alcubierre (Del Pie *et al.*, 1997).

Las temperaturas medias anuales están en torno a los 11,5 °C en las zonas altas de la Sierra, y valores de hasta 14,5 °C en las zonas bajas.

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) oscila entre unos 1200 mm en las zonas bajas y desde unos 700 a 1100 mm en la Sierra de Alcubierre, dependiendo de la altitud, orientación y pendiente. (Del Pie *et al.*, 1997).

En cuanto a los vientos, es de destacar la presencia del *cierzo*, viento de dirección NW, con velocidades medias de 40 km/h, llegando a alcanzar rachas de hasta 70 km/h.

Los aspectos hidrogeológicos son de suma importancia en la zona situada entre la Sierra de Alcubierre y el Ebro y han sido motivo de diferentes estudios ( Cantos, 1953; Cuchí, 1989; MOPU-CSIC, 1989; IRYDA, 1989; Sánchez *et al.*, 1989; Samper, 1989; Berga, 1993; García-Vera, 1996), centrados fundamentalmente en el área situada entre Bujaraloz y Sástago. Según Berga (1993) existen múltiples niveles saturados de espesor y extensión lateral reducidos, asociados a las litologías más permeables, con salinidades que oscilan entre 4 y 97 dS·m<sup>-1</sup>, y con predominio de los iones sulfato y

magnesio. Estas aguas subterráneas alimentan el elevado número de depresiones existentes, apareciendo láminas de agua, permanentes o temporales, muy salinas con Na<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup> como iones predominantes y conductividades eléctricas (CE) medias de unos 70 dS·m<sup>-1</sup> (Berga, 1993).

Los niveles freáticos al norte de la Sierra son de tipo superficial, principalmente ligados a la puesta en regadío del sistema Flumen-Monegros, con características hidrológicas e hidroquímicas asociables a la geomorfología. Atendiendo a la tipología de la salinidad se pueden diferenciar tres quimismos: clorurado-sulfatado/sódico, clorurado-sulfatado/sódico-magnésico-calcico y carbonatado-clorurado-sulfatado/sódico (Rodríguez-Ochoa *et al.*, 1998).

Tomando como información de partida la dada por Quirantes (1971) y Alberto *et al.* (1984) se diferencian tres unidades geomorfológicas, dos unidades deprimidas separadas por la Sierra de Alcubierre. La zona situada al norte (zona norte en adelante) de la Sierra está drenada por los ríos Flumen, Alcanadre y Cinca y la del sur (zona sur) lo hace fundamentalmente por el río Ebro. En cada una de estas grandes unidades se diferencian otras unidades subordinadas.

De una manera sintética se puede decir que los relieves estructurales, los glacis, los valles de fondo plano (vales) y las depresiones son los rasgos geomorfológicos más destacables de la zona.

Las zonas llanas corresponden a relieves estructurales desarrollados a favor, fundamentalmente, de calizas tableadas; y a glacis con cubiertas detríticas coluviales de origen regional.

En las zonas con predominio de materiales lutíticos-yesíferos los vales constituyen una de las formas del paisaje más característica. Destacan las de la zona sur por su recorrido sinuoso y su patrón morfológico digitado

Las depresiones son una de las formas originales del relieve, constituyendo uno de los focos más importantes del endorreísmo en España.

La Figura 1 muestra un esquema general de la geomorfología de Monegros.

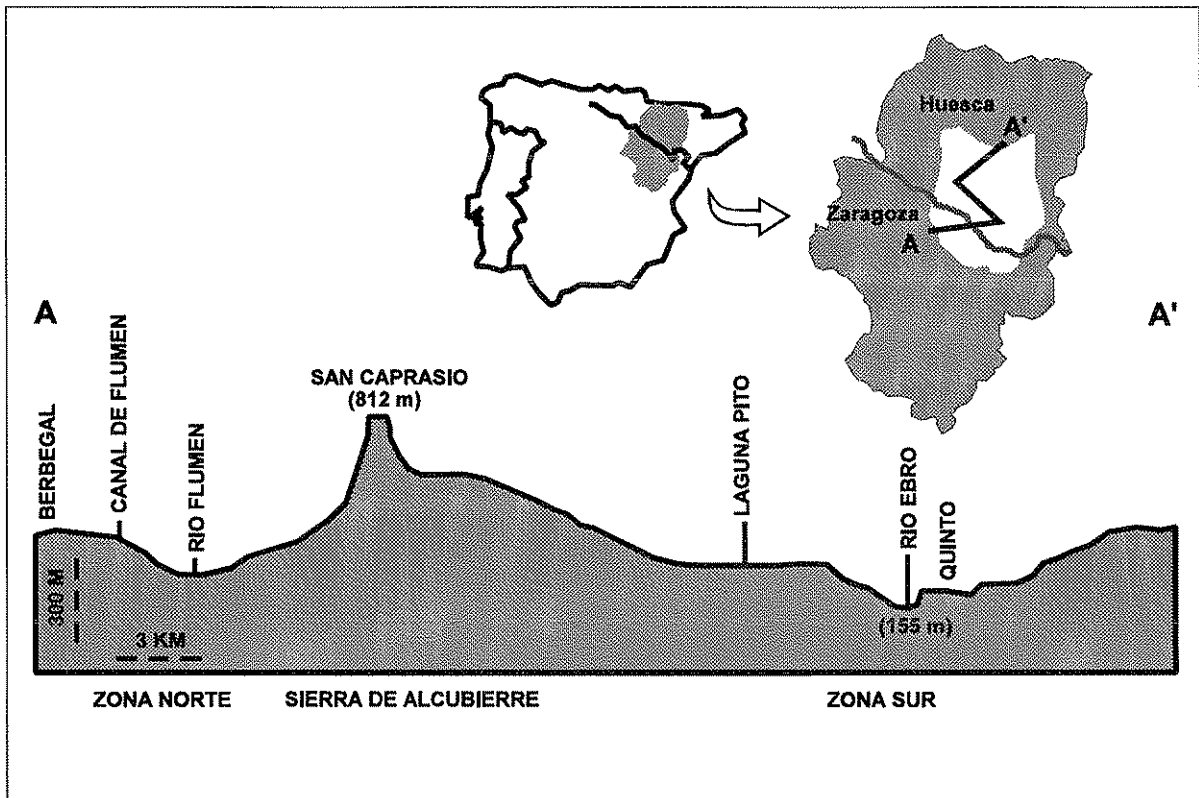


Figura 1. Esquema topográfico según la dirección señalada (A-A').

### Los suelos

El modelo de distribución espacial de las diferentes tipologías de suelos propuesto se basa en el estudio de los principales factores formadores (Jenny, 1941). Esto permite inventariar el recurso suelo y conocer sus características y propiedades. Este conocimiento permitirá hacer un uso racional y sostenible, evitando problemáticas como la salinización, erosión, etc, así como establecer medidas de recuperación de áreas ya degradadas.

En el caso de los suelos de Monegros los factores formadores de mayor importancia son la geomorfología y los materiales geológicos, siendo el clima y los aspectos bióticos (distribución de vegetación y cultivos, etc) elementos a tener en cuenta.

La relaciones entre geoformas y suelos se establecen a diferentes escalas con el objetivo de poder sinterizar la información a un nivel de reconocimiento (escala 1:200.000). Los materiales geológicos considerados como materiales originarios de los suelos comprenden no sólo las rocas si no también los diferentes sedimentos.

La clasificación de los suelos siguiendo los criterios de Soil Taxonomy (SSS, 1975, 1996) exige la determinación de los epipediones y endopediones de diagnóstico así como de otras características diagnósticas (SSS, 1975, 1996).

El Cuadro 1 muestra la importancia cuantitativa de cada uno de los horizontes de diagnóstico presentes en cada una de las tres grandes zonas en que se ha dividido el área estudiada.

Una de las características de diagnóstico utilizadas en la clasificación de los suelos es su régimen de humedad. Se definen dos tipos: el régimen *arídico*, con una época de sequía muy prolongada, propio de zonas áridas; y el régimen *xérico*, con menor duración de la sequía y característico de zonas mediterráneas. El Cuadro 2 incluye las diferentes tipologías de suelos agrupadas según el régimen de humedad en el que se encuentran.

Cuadro 1.

Importancia cuantitativa de los diferentes horizontes de diagnóstico en las tres zonas en que se ha dividido el área de estudio.

Horizontes de diagnóstico	Zona Norte	Sierra	Zona Sur
<b>EPIPEDIONES</b>			
Móllico	—	•	—
Óchrico	•••••	•••••	•••••
Argílico	•	—	—
Cálcico	••••	••	••
Gípsico	•	•	••••
<b>ENDOPEDIONES</b>			
Hipergípsico	—	•	•••
Nátrico	•	—	—
Petrocálcico	••••	○	•
Petrogípsico	—	—	○
Sálico	○	—	••

○ Presente; • Poco frecuente; •• Frecuente; ••• Muy frecuente; •••• Abundante; ••••• Muy abundante.

Los principales tipos de suelos clasificados a nivel de subgrupo según Soil Taxonomy (SSS, 1975, 1996) quedan recogidos en el Cuadro 3. En este cuadro se muestra la relación establecida entre las diferentes tipologías de suelos y la unidad geomorfológica sobre la que se desarrollan, para cada una de las tres zonas estudiadas.

**Cuadro 2.**

Grupos de suelos agrupados por régimen de humedad

Régimen de humedad del suelo (SSS, 1975, 1996)	Suelos clasificados a nivel de grupo (SSS, 1975, 1996)
Arídico	Torriorthents Haplogypsis Haplosalids Calcigypsis Torrifluvents Haplocalcids Petrocalcids Petrogypsis
Xérico	Xerorthents Xerofluvents Xerochrepts Natrixeralfs Haploxerals

**Cuadro 3.**

Principales tipos de suelos (Subgrupos según SSS, 1975, 1996) presentes en cada una de las unidades geomorfológicas en las tres zonas en que se ha dividido Monegros.

Unidad Geomorfológica	Zona Norte	Sierra	Zona Sur
Relieves estructurales en arenitas	Torriorthents lítico-xéricos Torriorthents líticos	-	-
Relieves estructurales en calizas	Torriorthents lítico-xéricos Xerorthents típicos. Xerorthents líticos	Torriorthents lítico-xéricos Xerorthents típicos.	Torriorthents típicos Torriorthents líticos Haplogypsis típicos Haplogypsis líticos
Relieves estructurales en yesos	-	-	Haplogypsis líticos Haplogypsis lépticos
Laderas desnudas con predominio de yeso-roca	Haplogypsis líticos Haplogypsis lépticos	Haplogypsis líticos Haplogypsis lépticos	Haplogypsis líticos Haplogypsis lépticos
Laderas desnudas sobre otros materiales Terciarios	Torriorthents xéricos Xerorthents típicos	Xerorthents típicos Torriorthents xéricos Torriorthents típicos Haploxerolls típicos	Torriorthents típicos Haplogypsis típicos
Laderas coluviales	Xerorthents típicos Torriorthents xéricos Xerochrepts calcixeróllicos	Xerorthents típicos Torriorthents xéricos Torriorthents típicos Xerofluvents típicos	Haplogypsis típicos Calcigypsis típicos Torriorthents típicos
Glacis subactuales	Xerofluvents típicos Xerochrept calcixeróllico Xerochrepts fluvénticos Natrixeralfs típicos	-	Haplogypsis típicos Haplogypsis sódicos
Valles de fondo plano	Xerofluvents típicos Xerofluvents oxyácuicos Natrixeralfs típicos Xerochrepts gípsicos	-	Haplogypsis típicos Haplogypsis sódicos Torrifluvents típicos Haplogypsis lépticos Calcigypsis típicos Haplosalids gípsicos
Depresiones endorreicas	Xerofluvents típicos Haplosalids típicos Torriorthents xéricos Xerorthents típicos Xerochrepts ácuicos	-	Torriorthents típicos Haplogypsis típicos Haplosalids gípsicos
Terrazas fluviales (aluvial actual)	Xerofluvents típicos Xerofluvents oxyácuicos	-	Xerofluvents típicos Xerochrepts gípsicos
Terrazas fluviales antiguas	Haplocalcids xéricos Petrocalcids xéricos Xerochrepts calcixeróllicos Xerochrepts petrocálcicos Haploxeralfs cálcicos	-	Petrocalcids típicos Haplocalcids típicos Petrogypsis típicos Haplogypsis típicos Haplogypsis lépticos Calcigypsis típicos Torriorthents típicos
Glacis	Haplocalcids xéricos Petrocalcids xéricos Xerochrepts calcixeróllicos Xerochrepts petrocálcicos	-	Haplocalcids típicos Petrocalcids típicos

Los Torriorthents y Xerorthents son suelos, en régimen arídico los primeros y en régimen xérico los segundos (Cuadro 2), poco profundos y con escaso desarrollo edáfico, presentando únicamente un epipedión óchrico.

Los Torrifluvents y Xerofluvents, suelos con una distribución irregular de materia orgánica a lo largo del perfil, son generalmente profundos y sin otro horizonte diagnóstico que un epipedión óchrico. Se caracterizan por tener una elevada capacidad de retención de agua y una alta capacidad productiva potencial, si bien pueden presentar problemas de salinidad o encharcamiento.

Los Xerochrepts son suelos relativamente favorables para el desarrollo vegetal, cuya profundidad, pedregosidad y reserva de agua pueden ser variables. Presentan un desarrollo moderado, con epipediones óchricos y endopediones cálcicos, petrocálcicos y gípsicos. La capacidad de uso de estos suelos es aceptable no presentando problemas de salinidad, encharcamiento ni erosión.

Los Petrogypsis y Haplogypsis son suelos frecuentes en la zona sur, y se caracterizan por la existencia de un horizonte de acumulación de yeso, que puede estar cementado (horizonte petrogípsico) o no (horizontes de diagnóstico gípsico o hipergípsico). La presencia de yeso confiere a estos suelos una elevada resistencia a la degradación estructural.

Los Petrocalcids y Haplocalcids están caracterizados por la presencia de horizontes de acumulación de carbonatos, cementados o no respectivamente. Su profundidad efectiva está condicionada por la presencia del horizonte cementado, siendo el resto de características similares a las de los Xerochrepts.

Los Calcigypsis presentan horizontes cálcicos y gípsicos.

Los Haplosalids son suelos asociados a zonas con problemas de drenaje que presentan una elevada cantidad de sales más solubles que el yeso. Su uso está imposibilitado y la vegetación natural asociada es característica halófila.

Los Haploxerolls son suelos con epipedión mólico, de colores muy oscuros y contenidos en materia orgánica humificada relativamente altos. Se localizan en las umbrías de las laderas, sobre lutitas y calizas, de las zonas más elevadas de la Sierra de Alcubierre.

Los Haploxeralfs son suelos en régimen xérico, poco frecuentes y prácticamente exclusivos de la zona norte. Están asociados a terrazas, presentando además de un epipedión óchrico, endopediones argílicos y cálcicos.

Los Natrixeralfs son suelos alcalinos con estructuras prismáticas o columnares características, con horizontes, óchrico, nátrico y cálcico. Son suelos citados en la bibliografía como solonetz, siendo relativamente frecuentes en la zona norte (sector de Flumen).

Después de haber repasado las características generales de los suelos de Monegros se pueden destacar algunas de sus propiedades o características por su relevancia y singularidad dentro del contexto de los suelos de España y Europa.

La historia geológica de la zona condiciona la presencia de rocas evaporíticas intercaladas entre materiales detríticos. Los yesos y sales más solubles controlan junto con el clima la existencia de ciertos aspectos particulares de los suelos de la zona, que han condicionado en parte, los tipos, distribución y diversidad de los ecosistemas.

Los suelos con yeso merecen una especial atención no sólo por su importancia cuantitativa sino también por su originalidad a nivel mundial, ya que se estima que representan unos 7 millones de ha en el mundo (Boyadgiev, 1974). La singularidad de estos suelos está relacionada con la distribución y características de las rocas sobre las que se desarrollan.

Algunos de estos suelos fueron reconocidos en la provincia de Zaragoza por Kubiëna (1952) quien los denominó yermas de costra yesosa.

En primer lugar hay de dejar claro que la presencia de yeso en un suelo no debe ser confundida con la presencia de salinidad, entendiéndose ésta como la presencia de sales más solubles que el yeso. Este hecho que fue claramente destacado por Huguet del Villar en 1929 ha sido sin embargo motivo de confusión para numerosos estudiosos del tema (Szabolcs, 1981).

El contenido en yeso de los suelos de Monegros es variable, llegando a existir horizontes con contenidos en yeso superiores al 90%, muy característicos de la zona y con una génesis particular (Herrero, 1991; Artieda, 1996).

La movilidad del yeso en el perfil, así como su elevada presión de cristalización hacen de este mineral un elemento fundamental en la generación de porosidad edáfica, favoreciendo la aireación y la infiltración del agua.

Además la solubilidad del yeso unida a la escasa pluviometría hace de éste un agente importante en la alteración del resto de los materiales (Herrero, 1991; Artieda, 1996) debido a los procesos de disolución-precipitación.

Por otro lado, la presencia de yeso en los suelos garantiza una concentración de calcio que controla los procesos de dispersión, favorece la incorporación de la materia orgánica e incrementa los procesos de estructuración.

Sin embargo el yeso presenta algunas características limitantes para el uso agrícola del suelo. Este es el caso de su baja capacidad de intercambio iónico, que condiciona el bajo contenido en nutrientes. Los desequilibrios nutricionales, debidos al exceso de calcio, así como la limitación a la exploración radicular son otros problemas que plantean.

Sin embargo contenidos no elevados de yeso pueden resultar beneficiosos para el desarrollo de los cultivos. Así Van Alphen y de los Ríos (1971) establecían que contenidos de yeso en torno a un 2% favorecían el crecimiento de las plantas, entre 2 y 25% no se observaban efectos y a partir de un 25% podían causar disminuciones en la producción.

En cuanto a la génesis de estos suelos es de destacar la presencia de horizontes de acumulación generalizada de yeso, muy típicos de la zona (Figura 2A). Los porcentajes de yeso son superiores al 60% y se reconocen en campo por su aspecto pulverulento y tacto harinoso (yeso farináceo). Se conocen en la zona con el nombre de *blanqueros* siendo su color en húmedo blanco-rosáceo. Su génesis está ligada a procesos de disolución de yeso roca y precipitación tanto *in situ* como a distancias mayores (Herrero, 1991; Artieda, 1996). Las condiciones físico-químicas para su formación no se conocen de modo preciso, si bien se sabe que la materia orgánica desempeña un papel fundamental (Cody, 1979; Porta, 1986).

Otras formas del yeso en los suelos son nódulos friables, acumulaciones vermiformes, yeso travertínico etc.

En cuanto a los suelos afectados por salinidad, cabe destacar su presencia en la zona norte, principalmente ligada a las zonas transformadas en regadío. La superficie afectada por sales en el sistema de Flumen-Monegros (zona norte) representa un 47% de las 53000 ha que tiene el área regada actualmente.

En la zona sur los suelos salinos se asocian actualmente a zonas mal drenadas o depresiones, sin relación a la actividad antrópica. Las transformaciones en regadío de estas zonas requerirán un control, seguimiento y corrección para evitar procesos de degradación de suelos y aguas, permitiendo la permanencia y sostenibilidad de los sistemas agro-silvo-pastorales de la zona.



Figura 2. A: Haplogypid Léptico desarrollado sobre yeso roca.



Figura 2. B: Suelo alcalino. Natrixeralf típico.

La salinidad de los suelos viene condicionada de modo directo por la presencia de sales en los materiales geológicos. Esta salinidad es muy variable tanto en la vertical de la columna litológica como lateralmente. Los extractos de saturación de materiales lutíticos analizados en diferentes puntos de Monegros se caracterizan por valores de CE de entre  $1,5$  y  $80 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , y valores de relación de absorción de sodio (RAS) entre  $1$  y  $85$ , en la zona norte (Rodríguez-Ochoa *et al.*, 1998). Para la zona sur, en Valfarta, estos valores oscilan entre  $7$  y  $34 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y RAS entre  $3$  y  $81$ , mientras que en la zona de Fuentes de Ebro varían entre  $2,7$  y  $98 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  y RAS entre  $5$  y más de  $100$  (Artieda, datos no publicado).

Se han identificado hasta quince mineralogías de sales solubles acumuladas en los suelos de la zona norte (García-González *et al.*, 1996; Rodríguez-Ochoa *et al.*, 1998).

La movilización de estas sales y su acumulación en los suelos es debida a dos procesos fundamentalmente. En la zona norte la acción antrópica ha sido la causante principal (Rodríguez-Ochoa *et al.* 1998), mientras que en la zona sur los procesos movilizados han sido fundamentalmente procesos naturales (Herrero, 1982, Artieda 1996).

La cartografía y seguimiento de la salinidad han sido analizados mediante diferentes técnicas por Herrero (1987); Rodríguez-Ochoa *et al.* (1989); Díaz y Herrero (1992) y Salazar *et al.* (1996), entre otros.

Los resultados de los anteriores trabajos parecen indicar, como vía para abordar dicha problemática, la combinación de información detallada de suelos, técnicas instrumentales en campo, análisis de laboratorio y herramientas geoestadísticas.

Ligados a los problemas de sodificación se han estudiado diferentes aspectos de importancia agronómica y medioambiental.

Los procesos de degradación de la estabilidad estructural de los suelos de la zona han sido abordados por Amézketa (1992) y Aragüés y Amézketa (1991). Dichos procesos condicionan de forma limitante propiedades tan significativas como la infiltración del agua, disponibilidad hídrica para la vegetación, incremento de la escorrentía superficial, etc.

La translocación de arcillas sódicas y otras fracciones texturales en los suelos (Porta y Rodríguez-Ochoa, 1991), son la causa de la degradación de la porosidad conectada y colmatación de sistemas de drenaje enterrado (Rodríguez-Ochoa *et al.*, 1988; Herrero, 1989).

Estos mismos procesos están relacionados con la formación de costras superficiales (Rodríguez-Ochoa *et al.* 1998) y procesos de erosión por tuneles (Rodríguez-Ochoa *et al.*, 1999), entre otros.

## Bibliografía

- ALBERTO, A., GUTIÉRREZ, M., IBÁÑEZ, M.<sup>a</sup>J., MACHÍN, J., PEÑA, J.L., POCOVÍ, A. & RODRÍGUEZ, J. 1984. *El cuaternario de la Depresión del Ebro en la región aragonesa. Cartografía y síntesis de los conocimientos existentes*. Univ. de Zaragoza. Estación Experimental de Aula-Dei. 217 pp + mapas.
- AMÉZKETA, E. 1992. *Físico-química, estabilidad estructural y técnicas de lavado de suelos salino-sódicos del sistema de riegos Monegros-Flumen (Huesca)*. Tesis Doctoral. Univ. Lérida. 220 pp. (Inédita).
- ARAGUÉS, R. & AMÉZKETA, E. 1991. Respuesta de cinco horizontes de un suelo salino-sódico al lavado con soluciones de diferente concentración salina. *Inv. Agrar.: Prod. Prot. Veg.*, 6 (2): 161-169.
- ARTIEDA, O. 1996. *Génesis y distribución de suelos en un medio semiárido. Quinto (Zaragoza)*. Ministerio de Agricultura. 222 pp + Mapa.
- BERGA, A. 1993. *Relaciones clima-agua-suelo en Monegros-II*. Tesis Doctoral. Univ. Lérida. 392 pp + Tomo anejos y Mapas. (Inédita).
- BOYADGIEV, T.G. 1974. *Contribution to the knowledge of gypsiferous soils*. AGON/SF/SYR/67/522. FAO, Rome.
- CANTOS, J. 1953. Investigación hidrológica en Los Monegros. *Mem. I.G.M.E.*, T. V. 127-160.
- CODY, R. D. 1979. Lenticular gypsum: occurrences in nature, and experimental determinations of effects of soluble green plant material on its formation. *J. Sed. Petrol.*, 49 (3): 1015-1028.
- CUCHÍ, J. A. 1989. *Aportaciones al conocimiento de los suelos salinos de Aragón*. Colección Tesis Doctorales I.N.I.A., 79. M.A.P.A. Madrid. 396 pp
- DE LOS RÍOS, F. 1982. *Informe sobre Los Monegros*. Geographicalia, serie Monográfica, 2. 143 pp.
- DEL PIE, J. A., RODRÍGUEZ-OCHOA, R., OLARIETA, J.R., SANCHEZ, J. 1997. Procesos erosivos y sus factores de control en condiciones semiáridas. Robres (Huesca). *I Congreso Forestal Hispano-Luso*. G<sup>o</sup> Navarra. Pamplona. 277-282.
- DIAZ, L. & HERRERO, J. 1992. Salinity estimates in irrigated soils using electromagnetic induction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 152: 151-157.
- FACI, J.M. & MARTÍNEZ-COB, A. 1991. *Cálculo de la evapotranspiración de referencia en Aragón*. Diputación General de Aragón. Serie Estudios Agrarios. 115 pp.
- GARCÍA-VERA, M.A. 1996. *Hidrogeología de zonas endorreicas en climas semiáridos. Aplicación a Los Monegros (Zaragoza y Huesca)*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. Serie Investigación, n<sup>o</sup> 3. 297 pp.
- HERRERO, J. 1982. *Salinidad del suelo en salobres de Monegros y Somontano Oscense como condicionante de la vegetación*. Institución Fernando el Católico. Zaragoza. 50 pp.
- HERRERO, J. 1987. Tendencias de la salinidad en suelos del sistema de riegos Flumen-Monegros. *SMAGUA*. Zaragoza. 413-421.
- HERRERO, J. 1991. *Morfología y génesis de suelos sobre yesos*. Col. MONOGRAFÍAS INIA, n<sup>o</sup> 77. MAPA. 447 pp.
- HERRERO, J., RODRÍGUEZ-OCHOA, R. & PORTA, J. 1989. *Colmatación de drenes en suelos afectados por salinidad*. Institución Fernando el Católico, Zaragoza, 134 pp.
- HUGUET DEL VILLAR, E. 1929. *Geobotánica*. Ed. Labor. Barcelona. 339 pp.
- IRYDA. 1989. *Estudio geohidrológico de los sectores VIII, IX y XI de la zona regable de Monegros-II (Zaragoza-Huesca)*. (Inédito).
- JENNY, H. 1941. *Factors of soil formation*. McGraw-Hill. New York. 281 pp.
- KUBIÉNA, W.L. 1952. *Claves sistemáticas de suelos*. C.S.I.C. Madrid. 382 pp.
- MOPU-CSIC. 1989. *Evaluación preliminar del impacto ambiental de los regadíos en el polígono Monegros-II*. (Inédito).
- PORTA, J. 1986. *Edafogénesis en suelos yesíferos en medio semiárido*. Trabajo original de investigación para acceder a Catedrático de Universidad. 136 pp. (Inédito).
- PORTA, J. & RODRÍGUEZ-OCHOA, R. 1991. Translocaciones sólidas en suelos con características sódicas en Monegros-Flumen (Huesca): Procesos e implicaciones para el uso agrícola. *Suelo y Planta*, 1: 603-617.
- QUIRANTES, J. 1971. Apuntes morfológicos sobre la parte central de la Depresión del Ebro. *Geographica*, 4: 209-227.
- RODRÍGUEZ-OCHOA, R., HERRERO, J. & PORTA, J. 1988. Micromorphological assessment of drain siltation risk indexes in a Saline-Sodic soil in Monegros Area (Spain) In Federoff, N., L.M. Bresson & M.A. Courty (eds) *Soil Micromorphology*. Afes. Plaisir. 161-175.
- RODRÍGUEZ-OCHOA, R., PORTA, J. & HERRERO, J. 1989. Suelos en regadío con drenaje enterrado. *XVI Reunión Soc. Esp. Ciencia del Suelo*. Lleida. 95 pp.
- RODRÍGUEZ-OCHOA, R., PRATDESABA, E., OLARIETA, J.R. & SÁNCHEZ, J. 1999. Gully-piping erosion processes and structural instability of salt affected soils (Flumen-Monegros Area, Spain). *6th. Meeting Soils Mediterranean Type of Climate*. Barcelona.
- RODRÍGUEZ-OCHOA, R., USÓN, A., OLARIETA, J.R., HERRERO, J. & PORTA, J. 1998. Irrigation from the Sixties: Flumen-Monegros. 51 pp. In *Tour Guide 8B: Soil information for sustainable development*. BOIXADERA, J., R.M. POCH & C. HERRERO. 16th World Congress of Soil Science. Inter. Union Soil Sciences.
- SALAZAR, M., RODRÍGUEZ-OCHOA, R. & QUÍLEZ, D. 1996. Cartografía detallada de la salinidad empleando el sensor electromagnético y técnicas geoestadísticas en suelos del Área de Flumen-Monegros (Huesca). Comunicación. *IV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. Lleida.
- SAMPER, F.J. 1989. *Análisis de impacto ambiental de la transformación en regadío de la zona endorreica de Bujaraloz-Sástago*. D.G.A. Zaragoza: 1-79 (informe inédito).
- SÁNCHEZ, J.A., MARTÍNEZ-GIL, F.J., DE MIGUEL, J.L. & SAN ROMÁN, J. 1989. Hidroquímica de la zona endorreica de las lagunas de Monegros, provincias de Zaragoza y Huesca. *Bol. Geol. Min.*, 100(5): 876-885.
- SOIL SURVEY STAFF (SSS). 1975. *Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. U.S. Dep. Agric. Soil Conserv. Serv. Agric. Handbook 436. U.S. Gov. Print off. 745 pp.
- SOIL SURVEY STAFF (SSS). 1996. *Keys to soil taxonomy*. Seventh edition. U.S. Dep. Agric. Natural Resources Conserv. Serv. Washington. 642 pp.
- SZABOLCS, I. 1981. Salt accumulation in soils. *Proc. Third Intern. Soil Classification Workshop*: 186-198. ACSAD. Damascus.
- VAN ALPHEN, J.G. & DE LOS RÍOS, F. 1971. Gypsiferous soils. Notes on their characteristics and management. *Bull. 12. I.L.R.I.* Wageningen, The Netherlands. 5-44.
- VIZCAYNO, C., GARCÍA-GONZÁLEZ, M.T., GUTIÉRREZ, M. & RODRÍGUEZ-OCHOA, R. 1995. Mineralogical, chemical and morphological features of salt accumulations on semiarid soils. *Geoderma*, 68: 193-210.