

EROSIÓN DE LOS SUELOS EN EL ECOSISTEMA ESTEPARIO DE LÉCERA, ESPAÑA

SOIL EROSION IN THE STEPPE ECOSYSTEM OF LÉCERA, SPAIN

Mario Blasco Lamenca¹

Fecha de recepción: Mayo 15 de 2013

Fecha de aceptación: Junio 4 de 2013

RESUMEN

El estudio de la erosión fue realizado en la estepa de Lécerca, España. El material parental de los suelos se deriva principalmente de los sedimentos cálcicos y gípsicos del Terciario Miocénico. En comparación con los suelos de bosque, la materia orgánica disminuye con el uso agrícola a niveles cercanos al 1%. La CIC es dependiente del contenido de materia orgánica ($r = 0,7295$). Calcio es el catión dominante. La textura es franca, mientras que la estructura aparece destruida, actualmente debido al empleo de maquinaria pesada. Los datos demuestran que la erosión hídrica, calculada con USLE, no es importante, con pérdidas de suelo alrededor de $1,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}$. La erosión eólica es severa, las pérdidas aplicando la WEQ alcanzan los $13,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}$. Las pérdidas de materia orgánica pueden elevarse al 90 del total (índice el suelo de bosque). La arena se acumula en espacios abiertos en mayor porcentaje que en los protegidos. Utilizando el contenido de carbono inorgánico como indicador de la erosión total, la geológica significó una pérdida de C inorgánico equivalente a $0,006 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}$, mientras que la antrópica fue de $0,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}$, en un período de 2500 años.

Palabras clave: Estepa, erosión hídrica, USLE, erosión eólica, WEQ, erosión geológica.

1 Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Investigador y asesor independiente, Zaragoza, España.

ABSTRACT

The study of erosion was carried out in the soils of the Lecera steppe Spain. Soils are mainly derived from Tertiary Miocenic gypsic and calcareous sediments. Content of organic matter, OM, is very low, about 1%. CEC is OM dependent ($r = 0,7295$); texture is loam, soil structure is lost due to the use of heavy machinery and implements; calcium is the dominant element. At present, hydric erosion is not important, the estimative erosion losses with the Universal Soil Loss Equation, USLE, reported about $1,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}$. On the other hand, wind erosion is severe due to strong winds of *cierzo* (N-NW) that causes serious damage; the estimate soil loss using Wind Erosion Equation, WEQ was $13,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}$; other wind erosion measurement showed an important sand accumulation in unsheltered areas, while organic matter loss amounted to almost 90% of loss in soil of forest. Using inorganic carbon as index to measure total erosion, it was found that geological erosion amounted to $0,006 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}$ from Tertiary Miocenic to nowadays, but it is $0,7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}$ due to the human activities in a period of 2500 years.

Key words: Steppe, water erosion, USLE, wind erosion, WEQ, geological erosion

INTRODUCCIÓN

La erosión, pérdida de suelo por acción hídrica y eólica, es fácil de definir y detectar, pero difícil de controlar e incalculable en sus pérdidas. Hace muchos años que se conocen sus efectos. La Escuela Filosófica de Grecia predijo que la erosión acabaría con el dominio griego y así sucedió. Fueron substituidos por el Imperio de Roma, cuyo sustento alimenticio provenía del norte de Africa, hasta cuando la erosión marcó el declive de la producción agrícola, y con ello la desaparición del dominio romano.

Hasta el momento, historiadores y arqueólogos sitúan las primeras ocupaciones humanas e inicio de prácticas agropecuarias en el área de Mesopotamia (actual Irak) extendiéndose hacia todo el Medio Oriente e Irán. (Higham, 1990). En este último país, con una ocupación humana que data de 6.000 años BP, las Naciones Unidas (2001) realizaron un estudio en la región de Kashan, relacionando la degradación/erosiva del suelo con la explosión demográfica y sus

actividades sustitutorias del bosque (talado) por el sobrepastoreo, cultivos y, últimamente, el manejo descontrolado de maquinaria pesada, todo lo cual ha desembocado en el actual desierto. Es un cuadro escénico no solo de Irán sino aplicable a la gran mayoría de países.

Según Liñan y Sequeiros (1979), el mar cubrió buena parte del territorio aragonés, al cual pertenece la estepa de Lécera, en el Paleozóico (570-230 millones de años, BP) y también en diferentes períodos del Mesozóico (239-65 millones de años BP, Triásico, Jurásico, Cretácico). En el Paleógeno y el Eoceno (65-22,5 millones de años BP, Terciario Paleógeno) la sedimentación fue marina (Desir, 2001). En el Eoceno ocurre un hecho trascendental, la Fosa, o Cubeta del Ebro pierde comunicación con el mar, quedando convertida en un lago, el cual comenzó a colmatarse, en especial en el Mioceno y Plioceno (22,5-1,8 millones de años BP, Terciario Neógeno) cuando la sedimentación alcanza su máxima altura, (Ollero, 1996; Pellicer y Echeverría, 1989), representada por las "muelas" (alrededor de 700 msnm). A

partir de ahí comienza la erosión con el vaciado de sedimentos, que hoy en día continúa, formándose el Valle del Ebro, y su drenaje, río Ebro, hacia el mar Mediterráneo. El Mapa Geológico del Instituto Tecnológico Geominero de España (1991) establece que la estepa de Lécera pertenece al Terciario Miocénico Aragoniense, con algunas áreas Triásicas, y Jurásicas (Mesozóico), mientras que el Cuaternario (1,8 millones BP a la fecha), queda representado por el Holoceno, en la ortomagen espacial completa la información de la geomorfología del área donde se ubica la estepa.

La sedimentación marina en el Paleoceno-Eoceno estudiada por Desir (2001), es de aguas someras terminando por provocar su evaporación, permitiendo las reacciones conducentes a la deposición de evaporitas (yesos). Los sedimentos yesíferos Lécera-Vinaceite, constituyen la orla superior lacustre del Mioceno. Las evaporitas también son del período marino del Triásico (Bastida, 2005). Además, los estratos que forman el Jurásico son de constitución caliza, perteneciendo al Kimmeridgiense, Jurásico, Inferior (150-135 millones de años BP), época en la cual se produjeron procesos erosivos muy violentos (Liñan y Sequeiros, 1979) en la Cordillera Ibérica, tramo de Aragón depositándose las rocas calcáreas en muchas zonas entre la Cordillera y el río Ebro.

En adición a la erosión geológica, mucho más grave es el impacto antrópico. Es, sin duda, uno de los problemas más serios que tiene el Planeta, pues la erosión supone no solo pérdida de suelo sino también empobrecimiento social (Kirby y Morgan, 1971). En general, la erosión se relaciona directamente con las prácticas agropecuarias (García, 2000; Utrilla y Rodanes, 1997). Pero no solo la agricultura y ganadería, también prácticas de ingeniería mal hechas, contribuyen de manera sobresaliente a la erosión (López, 2003) al igual que la ocupación urbana.

Hay varias maneras de llegar a determinar la erosión (Soto, 1990). Desde la analítica de laboratorio, las ecuaciones USLE y WEQ, medidas socio económicas a las cuales no son ajenas las emigraciones humanas, y modelos matemáticos.

Toharia (1988), es categórico al decir que el desierto invade España, relacionando la desertificación con la erosión. Afirma que han sido las cabras agentes principales de la deforestación de los ecosistemas mediterráneos, citando al respecto que, en 1686, en la Provenza francesa se dictó una ley contra los rebaños de cabras por su incidencia en la destrucción de la cubierta vegetal de los suelos propiciando la erosión, al igual que ocurrió en la Isla de Santa Helena (Océano Atlántico) deforestada en 200 años, también por las cabras, introducidas tras el descubrimiento de la isla por los portugueses. Chambers (2002), mediante la palinología, comprobó que la sobreexplotación agropecuaria acabó con los bosques de las Islas Easter (Polinesia).

Guerrero *et al.* (1975) en una investigación en los Andes (Nariño, Colombia), encontraron que el paso del bosque primario a pradera, y después a cultivos, supuso una disminución significativa en la fertilidad de los suelos, en todos los ecosistemas desde el piso altitudinal montano hasta el tropical. También en Nariño, E.E. Botana, Cadena *et al.* (2012), para el desplazamiento del suelo, encontraron deferencia estadística significativa entre labranzas, correspondiendo el mayor valor, 6,36 cm, a la labranza convencional (mecanizada, 2 pases de arado y 2 de rastra de discos); establecieron que las propiedades físicas del suelo no fueron alteradas -a nivel estadístico-. Blasco (1966) estudiando el Valle del río Cauca, sugiere que la estabilidad de los suelos andinos con influencia volcánica, se debe a la formación de humatos de calcio que disminuyen las pérdidas de suelo. Por otro lado, la rápida formación de coloides amorfos, proceso casi inmediato en

suelos derivados de cenizas volcánicas, en comparación con la lenta cristalización de las arcillas, es causa de un intercambio iónico que retiene los elementos químicos (Comunicación personal del Dr. E. Besoain).

El primer gran impacto erosivo de carácter antropológico en Aragón habría que situarlo en la construcción de la represa de Almonacid de la Cuba (Municipio colindante con Lécera y similares suelos). Arenillas *et al.* (1996), refieren que la datación con ^{14}C sitúa la construcción de la represa en el período del Emperador de Roma, Augusto (27 AC - 14 AD). La represa tuvo una capacidad inicial de $4,3 \text{ hm}^3$ hasta el vertedero, y en sus primeros 50 años ya había perdido 3 hm^3 , debido a la enorme cantidad de sedimentos recibidos, a causa de la deforestación de los márgenes del Río Aguasvivas. En su tiempo, fue la mayor represa de la Península Ibérica.

Pérez-Soba *et al.* (2002) publicaron un estimativo de la erosión en Aragón (extensión: 47.677 km^2) señalando que dentro de los factores naturales, era la erosión hídrica la que más afectaba, que ayudada por la acción humana con prácticas indeseables, significa que la pérdida total anual de suelo de $1071\,594,020 \text{ Mg}$.

Con estos referentes y con información analítica y matemática, se decidió estudiar el fenómeno de erosión hídrica y eólica en el sistema estepario de Lécera, España.

MATERIALES Y MÉTODOS

La situación y aspectos generales de territorio estudiado quedaron expuestos en una publicación anterior en esta misma Revista de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, Colombia (Blasco, 2012).

Para la clasificación geológica se tuvo en cuenta el Mapa Geológico de España (1991) y

las observaciones de campo. Los análisis de suelos fueron realizados en el Laboratorio Agroambiental de la Diputación General de Aragón. La metodología queda explicitada en la Tabla 1. Las densidades real y aparente, fueron determinaciones propias. Todas ellas, químicas y físicas, son metodologías habituales en los Laboratorios de Suelos.

La ecuación **USLE** (Troeh *et al.*, 1991; Weschmeier y Smith, 1978), fue la utilizada para medir la erosión hídrica, y la ecuación **WEQ** (Hagen, 1991) para la erosión eólica. Para medir el impacto eólico también se utilizó la granulometría, materia orgánica, y carbono inorgánico, como indicadores erosivos. Para el Valle del Ebro, la Confederación Hidrográfica del Ebro emplea la ecuación USLE, con el factor $R = 100$, apropiado como promedio para toda la cuenca hidrográfica. (Instituto Nacional de la Conservación de la Naturaleza, 1987). Los parámetros de las ecuaciones son:

$$\text{Ecuación USLE} \quad A = R * K * LS * C * P$$

A = Pérdida por erosión del suelo, en Mg ha^{-1}

R = Factor de lluvia

K = Factor de erodabilidad del suelo

LS = Factor de longitud y pendiente del área

C = Factor de manejo y cubierta vegetal

P = Factor de prácticas usadas para controlar la erosión

A medida que aumenta la aridez, disminuye R , alcanzando 20 en el desierto. Para la estepa de Lécera puede aceptarse $R = 75$.

K se calcula con los porcentajes de materia orgánica y arcilla, y los índices de estructura y permeabilidad. Como es fácil deducir, R y K son factores independientes de la voluntad de quienes deseen evitar la erosión en sus zonas, o campos de cultivo. Por el contrario L , S , C , P , son variables dependientes de quien programe prácticas de conservación del suelo. LS es, a su

vez, la interacción de longitud de la parcela, **L**, y el porcentaje de pendiente, **S**, de la misma.

Ecuación **WEQ**: $E = f(I * K * C * L * V)$

E = Erosión anual de pérdida en Mg ha⁻¹

f = Indica la dependencia de los factores de la ecuación

I = Índice de erodabilidad del suelo

K = Factor de rugosidad de la superficie del suelo

C = Factor clima

L = Longitud del área no resguardada del viento

V = Cobertura vegetal

Para la interpretación de las ecuaciones y solución de problemas se tuvo en cuenta las recomendaciones de Miller y Gardiner (1998).

Granulometría. Diferencia entre porcentajes de los separados, en relación a la exposición de los suelos a la acción eólica.

Materia orgánica. Pérdida de materia orgánica comparando los porcentajes bajo diferentes usos agrícolas, con el contenido del bosque de referencia.

Carbono inorgánico. A partir del CO₃Ca. Variación cuantitativa de C inorgánico en diferentes condiciones desde su contenido en las rocas del Terciario Miocénico, hasta los suelos actuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ecología. El territorio estudiado es estepario, con transición a maleza desértica en los montículos más erosionados. Es un espacio abierto hecho por el hombre. Una referencia histórica de 1324 (Sesma *et al.*, 1996) refiere los conflictos entre vasallos de señores feudales, por la producción de leña y carbón vegetal en los bosques de Lecera, hoy territorio estepario. Desaparecido el

bosque, en la actualidad solo quedan matorrales de vegetación gipsófila resistente a la sequía (*Rosmarinus officinalis*, *Lavanda lavandula latifolia*, *Thymus vulgaris*, etc.). La biodiversidad, fauna y flora se ha refugiado en alguna medida, en los ribazos que dividen las parcelas agrícolas. Representativo de lo que pudo ser el bosque original, solo queda un vestigio en las Cucutas. Se trata de un bosque seco templado, situado entre los 800-900 msnm, en suelos calcáreos. Su vegetación está compuesta por encinas carrascas (*Quercus ile*, L.), sabinas (*Juniperus thuriferia* L.), enebros (*Juniperus communis* L.), como más importantes y autóctonas. Los pinos desaparecieron hace unos 75 años, habiéndose repoblado una parte. Por fortuna, en la actualidad la tala esta prohibida.

Geología. Con base en el Mapa Geológico (1991) y las observaciones de campo, se encontró abundancia de rocas calcáreas (CO₃Ca) y evaporitas (SO₄Ca.2H₂O) asociadas con la erosión del Jurásico y el depósito lacustre del Mioceno, respectivamente, responsables de la pedregosidad de la estepa. En menor grado aparecen dolomías (CO₃Ca.CO₃Mg) derivadas del Jurásico y al Triásico. La glauconita - mineral potásico- asociada al Kimmeridgiense Jurásico es remanente de la sedimentación marina. Entre los estratos Jurásicos se encuentra una capa de oolitos ferruginosos. Todas las rocas son sedimentarias, no encontrándose ninguna representación de rocas ígneas y metamórficas. Las rocas sedimentarias carbonatadas dominan en las inmediaciones de las Cucutas (987 msnm, Cordillera Ibérica) hasta la cota topográfica de los 650-700 msnm, para dejar paso a una mayor abundancia de evaporitas o yesos por debajo de esa altitud. Entre las rocas no carbonatadas se encuentran conglomerados, areniscas, calcilutitas y micritas. Especial mención merecen las margas, abundantes en toda la estepa. Son arcillas cementadas por calcio, margas calizas, o cementadas por yeso, margas yesíferas. La meteorización dominante es física.

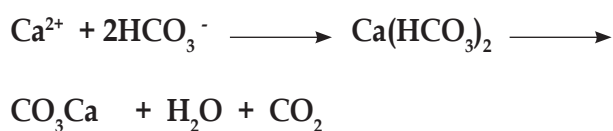
Suelos. De acuerdo con la geología de la estepa, el material parental proviene de las rocas calizas y dolomías del Jurásico, y en menor medida del Triásico, y de materiales sedimentarios del piso lacustre Miocénico del Terciario. En la constitución parental se entreveran yesos y calizas, con dominio de estas últimas en la orla superior de la estepa, en el resto los yesos son más importantes. Son suelos escasamente desarrollados, sin horizontes de diagnóstico. Desde el punto de vista taxonómico pertenecen a los órdenes Entisol e Inceptisol.

De los Entisoles se encuentran los Arents (del latín arare = arar), consecuencia de multitud de aradas a lo largo de cientos de años, que van formando un horizonte superficial (horizonte Ap), mezclando el suelo con los primeros centímetros del horizonte C (no hay horizonte B). Las aradas profundas propician la formación de Arents, y la consiguiente pérdida de fertilidad. Los Psamments (del griego psammos = arena), son incipientes, pero con tendencia a desarrollarse si no hay control de la erosión. Los Entisoles se encuentran en cualquier parte de la estepa, su material parental es Terciario, más gipsico que calcáreo

Un poco más desarrollados, los Inceptisoles son consecuencia del arrastre y deposición de materiales por los barrancos de Grallera y Fandeguero. Así mismo por depósitos eólicos en la parte más baja de la estepa, perteneciente al Cuaternario. Pueden ser clasificados como Inceptisoles Ochrepts.

Se estudió la formación de Bosque Seco, situado en las Cucutas. Es un ecosistema cubierto por encinas carrascas, sabinas, enebros (Ver el punto Ecología). Es bosque primario indisturbado, con elevado porcentaje de materia orgánica, no mezclada con material mineral. Son materiales orgánicos fibrosos sobre contacto lítico calizo, características que apuntan a clasificarlo como Histosol fibrist.

Es de mencionar las denominadas “lastras”, tanto cálcicas como gípsicas. En el caso de lastras cálcicas, el calcio de las rocas reacciona con las aguas carbonatadas someras para formar bicarbonatos. El calor succiona el bicarbonato haciéndolo subir hacia la superficie, y al evaporarse deja libre al calcio que precipita en bandas estratiformes -también en nódulos- más o menos paralelas a la superficie:



Las lastras de yeso indican que en tiempos pasados, las aguas lacustres que cubrieron la estepa, contenían abundante sulfuros y calcio en solución, conforme el agua del Lago Terciario se evaporó, los sulfuros se oxidaron a sulfatos que reaccionaron con el calcio. El yeso fue depositándose desde el fondo lacustre, formando orlas a diferentes profundidades.



Las lastras son horizontes petrocálcicos y petrogípsicos. Sin embargo no alcanzan la categoría de horizontes de diagnóstico, ya que no tienen relación con el suelo cuya formación fue de transporte o arrastre hídricos. Las lastras, probablemente, originadas en otras épocas geológicas previas al Holoceno. Son un problema porque impide el desarrollo radicular de las plantas y la infiltración del agua.

En la Tabla 1 se encuentran las características físico-químicas de los suelos estudiados. Cada muestra es el promedio de 5 de ellas. Los resultados expresados bajo los números 4,7,8 son los más representativos de la estepa. El número 3 corresponde a suelos situados en ribazos, los números 5 y 6 están influidos por arbolado. En estos tres últimos casos la materia orgánica se

ha regenerado en comparación con los suelos esteparios bajo cultivo de cereales o viña. Por cuanto las cifras son de fácil interpretación, solo se añaden unos pocos comentarios. La textura en los suelos de la estepa es aceptable, francos en distintas combinaciones con los otros separados. No así la estructura, destruida por el tráfico de maquinaria pesada en las tareas agrícolas, y por la escasez de materia orgánica que facilite la agregación.

La CIC y la presencia en niveles aceptables de potasio, magnesio y hierro, parecen indicar que las arcillas son mayormente illíticas. Descartando la muestra correspondiente al bosque seco, la correlación entre CIC- arcillas es de $r=0,3477$, mientras que la correlación CIC- materia orgánica es $r=0,7295$, es una CIC dependiente de la materia orgánica. Esta dependencia agrava la fertilidad por la escasez de materia orgánica en los suelos bajo cultivo.

Tabla 1. Promedios de valores de varias características físico-químicas de los suelos del ecosistema estepario de Lépera, España. Bs = Bosque seco; Te = Transición estepa; E = Estepa; 1 = Carrasca; 2 = Almendros; 3= Ribazo 4= Cereal; 5 = Arbolado; 6 = Pinar; 7 = Cereal; 8 = Viña-
Textura del suelo; F = Franco; F lim = Franco limoso; F arc = Franco arcilloso

	Ecosistema							
	Bs	Ts	E	E	E	E	E	E
Cobertura	1	2	3	4	5	6	7	8
Altitud 1/	850	700	650	600	530	515	515	425
Determinaciones analíticas								
Arena (0,05 – 2 mm)		22,29	17,05	34,09	37,79	23,87	27,55	43,41
Limo grueso (0,02 –0,05mm)		16,08	10,15	13,87	13,58	14,25	7,38	15,67
Limo fino (0,002 -.0,05mm)		33,86	61,63	38,87	29,09	37,79	36,67	22,64
Arcillas < 0,002 mm		27,7	11,13	13,17	19,54	24,09	28,38	18,18
Textura del suelo		F ac	F lim	F lim	F	F lim	F ac	F
pH (agua 1:2.5)	7,34	8,09		7,75	7,8	7,98	8,48	8,5
Salinidad (CE 1:5, dS/m)	0,85	0,34		2,68	0,70	0,30	0,20	0,18
CE ext, saturado(dS/m a 25°C)	1,33			2,87	3,47			
Materia orgánica %	22,17	2,57	7,03	1,49	4,03	3,22	1,88	1,79
CIC (cmol _c kg ⁻¹)	77,86	14,95	17,05	11,45	13,3	13,63	13,21	12,54
Nitrógeno total %	0,64	0,15		0,1	0,22	0,17	0,103	0,096
Relación C/N	19,95	10,56		8,93	10,72	11,07	10,61	10,84
Fósforo (Olsen) ppm	27,39	31,08		1,78	13,89	10,38	15,25	9,32
Potasio(Acet.NH ₄)mg kg ⁻¹	1234	308		142	720	510	376	236
Calcio (meq/l)				53,56	31,45			
Carbonatos totales %	20,28	50,08	47,72	36,06	48,38	44,71	43,72	37,30
Caliza activa %	6,9	14,6		4,2	12,9	12,5	13,3	13,6
Magnesio (cmol _c kg ⁻¹)	2,11	1,07		2,58	3,88	1,53	2,00	1,45
Sodio (meq/l)				0,33	0,57			
Hierro, mg kg ⁻¹	17,68	7,38		3,92	5,4	6,16	3,94	3,84
Densidad real	Promedio de 6 muestras			3,568	Mg/m ⁻³			
Densidad aparente				1,490	Mg/m ⁻³			
Porosidad %				42				
Peso 1 hectárea	Profundidad 25 cm ⁻¹			3,725				
Estructura	Predominio sw grano suelto							

Cuantificación de la erosión hídrica. En España, y en la mayoría de los países, la erosión causada por el agua se mide con la llamada "Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, o USLE, de Weschmeier y Smith (1978), con modificaciones de Troeh *et al.* (1991); Soto (1990) advierte sobre la dificultad de la fórmula. Se refiere en particular al factor **R**, que determina la frecuencia, intensidad y duración de los aguaceros, por cuanto la red de pluviógrafos es insuficiente. Una solución para resolver el problema es acudir a la mapificación de Weschmeier y Smith (1978) para Estados Unidos. A medida que aumenta la aridez, disminuye **R**, alcanzando 20 en el desierto. Para la estepa de Lécera puede aceptarse **R = 75**. Con USLE se calcularon los tres transectos principales de la estepa, y la conocida como la "Bajada de ka Val" (Fig. 1).

Primer transecto: Entre la Balsa de la Higuera a 517 msnm y la Balsa de la Matilla a 410 msnm. La distancia en línea recta es 5.300 metros. Es el terreno más indicativo de la estepa.

$$A = (75)(0,17)(0,27)(0,20)(0,60)(2,47) = 1,20$$

toneladas por hectárea y año

Segundo transecto: Santa Bárbara - Estación descende desde los 690 msnm a 517, para una distancia de 3.450 m, con una pendiente media del 4,8 %. Los suelos, como promedio, contienen 34 % de arenas, 52 % de limos y 13 % de arcillas (franco limoso).

$$A = (75)(0,7)(0,8)(0,20)(0,50)(2,47) = 10,37$$

toneladas por hectárea y año

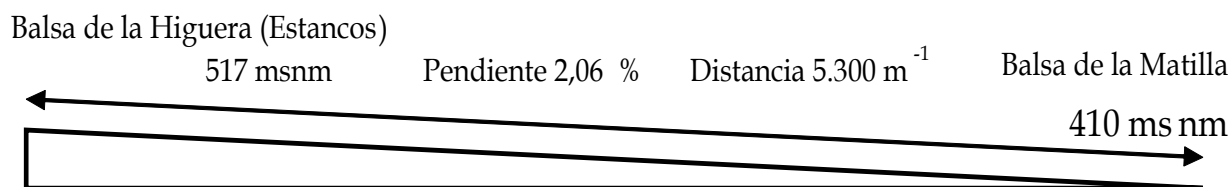
Tercer transecto: La Rebollosa hasta la Balsa de la Higuera, la distancia es 7100 metros en línea recta, descendiendo desde los 759 msnm a los 517 msnm. La pendiente media es 3,0 %, de clase textural franco limosa. En los alrededores de La Rebollosa llueve algo más que en Lécera, el resultado es:

$$A = (90)(0,48)(0,51)(0,20)(0,60)(2,47) = 6,53$$

toneladas por hectárea y año

De manera irregular en el tiempo, la bajada la Val es una avenida o torrencera tumultuosa de muy alta energía, en un lapso de 2-3 días, arrastrando tierra, y rocas desde 700-800 msnm, confluyendo en la Balsa de la Higuera. Presupone que en las partes altas del Municipio se produzcan lluvias copiosas e intensas. En el verano de 1999 la precipitación en los dos últimos días de junio, alcanzó los 75 mm/m², y los dos primeros días de julio, volvieron a caer 74 litros m². El suelo no pudo absorber tanta agua en tan corto período de tiempo, dando lugar a una gran escorrentía, conocida como la bajada de la Val. El cambio esencial en USLE fue **R = 500**, el resto es igual al cálculo anterior, pues sigue ese transecto. El resultado es:

$$35,67 \text{ toneladas por hectárea en un lapso no mayor de 4 días}$$



Textura: Arena 43,42 Limos 38,12 Arcillas 18,20 (media varias muestras). = Suelo franco

Figura. 1. Esquema del transecto de "Bajada de ka Val".

Es un espectáculo pero, a la vez, un desastre erosivo. El piso Cuaternario de la estepa es un relleno de tierras causada por la Val, y en menor medida por el Barranco del Fandeguero.

Cuantificación de erosión eólica. Tiempo atrás Russell (1966) definió los procesos de la erosión eólica: suspensión (partículas finas), saltación (intermedias), y reptación (gruesas). En la estepa de Lécera ocurren los tres procesos. Considerando épocas geológicas, la erosión hídrica es la más importante, sin embargo hoy la erosión eólica es principal. En la estepa se encuentran dos ejemplos sobresalientes de remoción, La Salada, y de depósito, Lassira.

La Salada es una concavidad endorréica, excavada por la acción del viento N-NW, con frecuencia fuerte a muy fuerte, conocido como cierzo. El régimen de humedad estacional intermitente, ha conformado un humedal. Son ecosistemas donde se concentra la mayor biodiversidad. Además de ser reservorios de agua dulce (García, 1996; Longares y Sese, 1996). En Europa se han destruido infinidad de humedales, de ahí que la Unión Europea, haya declarado como máxima prioridad la recuperación de estos enclaves.

En la Tabla 2 se encuentran los datos de suelo y subsuelo de La Salada, son evidentes sus diferencias con los otros suelos esteparios. Los valores calculados del SAR, dan 1 para la superficie y 5 para la segunda capa. Los valores analizados presentan $3,2 \text{ dS/m}^{-1}$ para el suelo y $10,16 \text{ dS/m}^{-1}$ para la segunda capa, lo cual califica a La Salada como salina. La clasificación de suelos salinos requiere una CE mayor de $4,0 \text{ dS/m}^{-1}$, y un SAR menor de 13, condiciones que cumple La Salada. La acumulación de bases sodio-magnesio es muy elevada. El examen granulométrico presenta notable diferencia entre el suelo y subsuelo. Las columnas de suelo requieren esta

ruptura granulométrica como una de las condiciones para dificultar la infiltración, facilitando los encharcamientos (Miller y Gardiner, 1998).

Tabla 2. Características físico química del suelo y subsuelo de La Salada

<i>Analítica</i>	<i>Suelo</i>	<i>Subsuelo</i>
<i>Arena total (0,05 - 2 mm) %</i>	58,26	6,91
<i>Limo grueso (0,02 - 0,05 mm) %</i>	11,51	29,84
<i>Limo Fino (0,002 - 0,02 mm) %</i>	16,38	56,66
<i>Arcilla (< 0,002 mm) %</i>	13,84	15,59
<i>pH (1:2,5 en agua)</i>	8,11	8,04
<i>Materia orgánica %</i>	2,65	2,38
<i>Prueba salinidad (dS/m¹)</i>	1,12	3,52
<i>Sales solubles</i>		
<i>CE Extracto saturado, (dS/m¹)</i>	3,20	10,16
<i>Calcio (me/litro)</i>	28,590	36,78
<i>Magnesio (me/l)</i>	8,48	66,44
<i>Sodio (me/l)</i>	4,03	38,60
<i>Potasio (me/l)</i>	0,85	4,48

La Salada se recuperó en 2002 con el aporte del Ayuntamiento de Lécera. El ecosistema se diferencia dentro de la estepa tanto por sus suelos como por su biodiversidad. Con la ayuda de la Asociación Naturalista de Aragón, ANSAR, se hizo una definición preliminar de su biodiversidad: Plancton (crustáceos, dípteros), fauna (anfibios, aves), flora (angiospermas mono y dicotiledóneas).

El ejemplo de depósito eólico es Lassira, yacimiento arqueológico ibero romano, antecedente del actual pueblo de Lécera; fue destruida en el año 49 de nuestra era (Martín Bueno, 1975), consecuencia de la guerra civil desatada entre César y Pompeyo durante el Imperio de Roma. Unos 2000 años después, el piso de la Ermita de Santo Domingo queda a 3 metros sobre dicho yacimiento. El perfil del suelo, (Tab. 3), se dividió en dos partes iguales de 1,50 m. El perfil es producto de la erosión eólica, el viento depositó las partículas más gruesas, 86,9% en detrimento de las arcillas que fueron transportadas a mayor distancia.

Qué cantidad de suelo fue transportada en ese período de tiempo. Teniendo en cuenta algunos de los datos físicos de la Tabla 1, se calculó el peso del suelo transportado, que equivaldría a 25.050 Mg o sea 12,7 Mg por año desde la destrucción de Lassira. Es un cálculo teórico pues debe asumirse que la mayor cantidad depositada proviene a partir de la desaparición del bosque, con mayor incidencia en los últimos 300 años.

Tabla 3. Características físicas de un perfil de suelo en sobre Lassira

<i>Ermíta de Santo Domingo</i>	
0 m	
1,5 m	
1,5 m	
3,0 m	
49 años AD	<i>Destrucción de Lassira</i>

<i>Arenas + limos</i>	<i>86,9%</i>
<i>Arcillas</i>	<i>13,1%</i>
<i>C inorgánico</i>	<i>4,21%</i>
<i>C orgánico</i>	<i>0,48%</i>
<i>CIC cmol_e/kg</i>	<i>9,7</i>
<i>Arenas + limos</i>	<i>77,8%</i>
<i>Arcillas</i>	<i>22,2%</i>
<i>C inorgánico</i>	<i>4,39%</i>
<i>C orgánico</i>	<i>1,0%</i>
<i>CIC cmol_e/kg</i>	<i>15,9</i>

Los resultados obtenidos con la ecuación WEQ para las distintas mediciones realizadas pueden ser discutibles. Sin software apropiado su aplicación es un tanto subjetiva, empezando por el factor climático, C, cuya referencia son las condiciones del área de Garden City en Kansas, USA con valor igual a 1. I varía entre 56 y 48 para suelos gípsicos (mayoría en la estepa) dependiendo de los porcentajes de arcillas encontrados (< o > de 20%). Para rugosidad de la superficie del suelo, K, podría aceptarse 0,7. No se tuvo en cuenta el factor L por tratarse de grandes superficies sin ninguna defensa contra el viento. El resultado inicial fue:

$$E_{\text{inicial}} = I \times K \times C = 52 \times 0,7 \times 0,7 = 25,48 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}$$

Ajustando el resultado con la lectura del diagrama para V, trigo, la erosión final equivalió a:

$$E_{\text{final}} = 13,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}$$

Cifra no muy lejana de la establecida para la erosión eólica en el perfil de Lassira. Para un Índice de Tolerancia que puede no superar 1 Mg ha⁻¹ año., la cifra erosiva encontrada puede considerarse excesiva. Si es correcta, el empobrecimiento de la estepa es bastante rápido. De todas formas, se recurrió a otras medidas indirectas, pero válidas para medir el desgaste del suelo.

Granulometría. La Figura 2, muestra la diferencia del impacto de la erosión eólica en sitios resguardados del viento (colinas, montículos) y su efecto en terrenos abiertos.

Los gráficos demuestran el arrastre de limos finos y arcillas, incluso un pequeño porcentaje de limos gruesos. Es obvio que la ganancia es de arenas. Es decir, conforme la erosión aumenta, el efecto desértico se hace mas patente, y la fertilidad del suelo disminuye. Así mismo, advierten de la necesidad de implementar barreras protectoras que impidan, al menos en parte, la pérdida de arcillas y limos finos, por consiguiente pérdida de fertilidad del suelo. A veces la baja productividad carga la mayor responsabilidad a la escasez de lluvias. Hay otras causas, como la aquí indicada.

Materia orgánica. El viento inicia el transporte de las partículas de suelo a partir de los 5,5 m⁻¹/s⁻¹ lo cual es bastante frecuente en Lécera. Aun en días sin viento, en lugares de tráfico (tractores, automóviles, etc.), el polvo que se levanta lleva en suspensión las partículas coloidales tanto minerales como orgánicas.

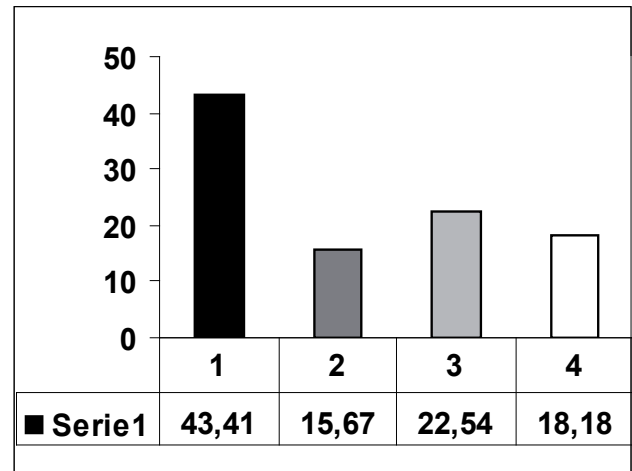
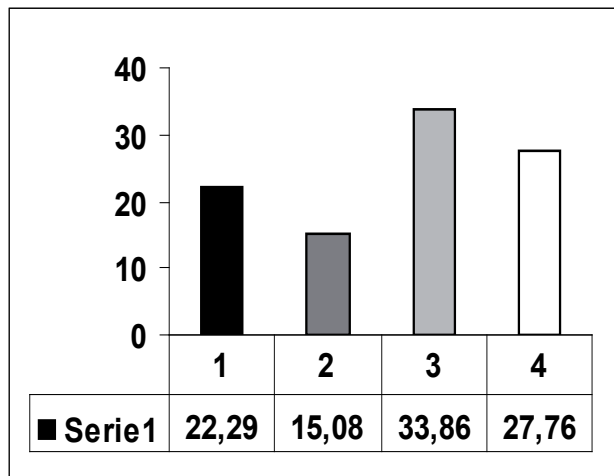


Figura 2. Efecto de la erosión eólica en áreas resguardadas y abiertas a la acción del viento (1= arenas, 2 limos gruesos, 3= limos finos, 4 =arcillas) Cifras en porcentajes

La disminución del contenido de materia orgánica en los suelos es evidente, pasándose de 22,17 % de materia orgánica en el bosque, a porcentajes bajos que en el caso del piso cuaternario, el de uso más intensivo, no alcanzan al 2%. La representación de los porcentajes se encuentra en la Figura 3.

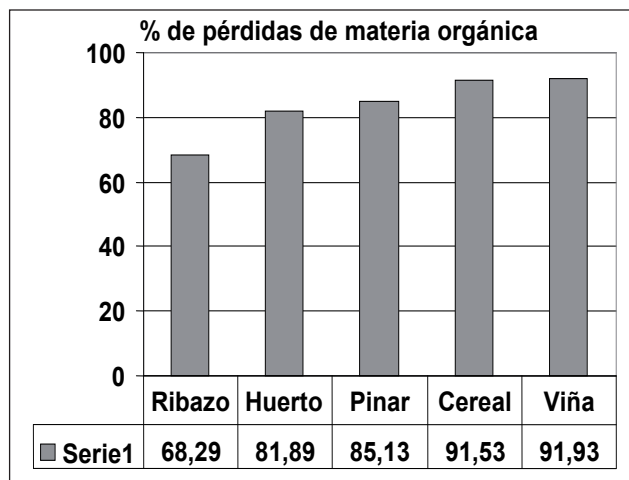


Figura 3. Pérdidas de materia orgánica relacionadas con el uso del suelo. (Índice bosque seco)

Propuesta de Ci para medir la erosión. La bibliografía dedicada al ciclo del carbono orgánico y, consecuentemente, a la materia

orgánica, es muy abundante, por ejemplo Lal *et al.* (1997), Wigley y Schimel (2000). Por el contrario, hasta donde se ha consultado la bibliografía, solo Grossman, *et al.* (1995) han utilizado los carbonatos para determinar el carbono inorgánico en áreas desérticas del sur de Nuevo México, USA. Aquí se presenta un modelo basado en el carbono inorgánico, Ci, como una posibilidad para medir la erosión total. En la Tabla 4, se registran los resultados obtenidos para Ci (carbono inorgánico) y Cor (carbono orgánico), y la relación entre ambos.

Los carbonos inorgánico y orgánico se encuentran interrelacionados. Las investigaciones tienden a demostrar que las rocas calcáreas han pasado por una fase biótica. Al respecto, Monger *et al.* (1991) demostraron la precipitación cálcica microbiana para formar rocas calizas.

Tabla 4. Relación entre carbono inorgánico, Ci, y carbono orgánico, Co.

<i>Secuencia</i> <i>Santa Bárbara</i>	<i>Ci</i> %	<i>Cor</i> %	<i>Ci/Cor</i>	<i>Secuencia</i> <i>Cucutas</i>	<i>Ci</i> %	<i>Cor</i> %	<i>Ci/Cor</i>
<i>Roca caliz a(muela)</i>	8,96	0,32	28,0	<i>Roca jurásica</i>	8,81		
<i>Poblado Ibérico</i>	6,18	1,12	5,51	<i>Encinar</i>	2,43	13,0	0,19
<i>Horno Ibérico</i>	4,23	1,38	3,1	<i>Almendros</i>	6,01	1,55	3,87
<i>Cereales (bajada)</i>	4,32	0,86	5,02	<i>Blanquizaes</i>	5,72	1,20	4,76
<i>Estepa</i>	5,72	4,08	1,40	<i>Pueblo</i>	5,80	2,34	2,47
<i>Estación pinos</i>	5,36	1,86	2,88	<i>Estepa (cereal)</i>	6,01	3,84	1,56
<i>Estación cereal</i>	5,24	1,09	4,80	<i>Lassira</i>	4,39	1,00	4,39
				<i>Matilla (viña)</i>	4,47	1,03	4,33

El estudio realizado por Grossman *et al.* (1995) en el desierto de Nuevo México, USA, para el carbono inorgánico dio valores comprendidos entre 6 kg/m² para el 35% del área muestreada, y 26 kg/m², para el 5% del área muestreada, cifras más altas que las encontradas en Lécera. Puesto que el índice de cálculo fue igual en ambos sitios (CO₃Ca x 0,12), la diferencia cabe atribuirle a la mayor aridez en Nuevo México, donde el rango de lluvia es 150-300 mm/año, lo cual significa que allí la erosión por efecto de la precipitación es menor que en el ecosistema estepario de Lécera.

Con independencia de que los cálculos para la erosión puedan ser discutibles y susceptibles de ajustarlos más al incluir parámetros adicionales, resulta incuestionable la diferencia cuantitativa entre erosión geológica y antrópica. La Figura 4 ofrece los resultados que cuantifican la secuencia erosiva con el cálculo de pérdida anual, tanto geológica, como antrópica en la estepa. Es obvio que a la antrópica habría que añadirle la correspondiente a la geológica, sin embargo, para un período de 10.000 años pudiera no influir significativamente. Medir la disminución del Ci sería recomendable para cuantificar la erosión de manera relativamente sencilla en enclaves

áridos y semiáridos. Podría ser una alternativa a la ecuación WEQ. Es de aclarar que si bien la actividad humana sedentaria relacionada con la agricultura y ganadería se inicia con el Holoceno (unos 12. 000 BP), la verdadera ocupación humana de la estepa de Lécera comienza con la llegada de los íberos hace tan solo 2.500 años BP (500 años AC).

La erosión geológica equivale a 6 millonésimas / kg de Ci erosionado/año. Lo cual equivale 0,006 Mg/ha/año. La erosión antrópica resultó igual a 0,7 kg/ de Ci erosionado por hectárea al año, tomando el porcentaje de carbonato y el peso de la hectárea para el ejemplo de la estepa en la secuencia Santa Bárbara,-Estación, el Ci representa 95,5 kg ha⁻¹. Por tanto, anualmente se perdió suelo (capa arable) equivalente a 7,35 hectáreas/ año a consecuencia de la acción antrópica. Habría que restarle EI (índice tolerancia). Similar cálculo es aplicable a la secuencia de Santo Domingo, partiendo de la formación Jurásica de la Fuente Peñisquera.

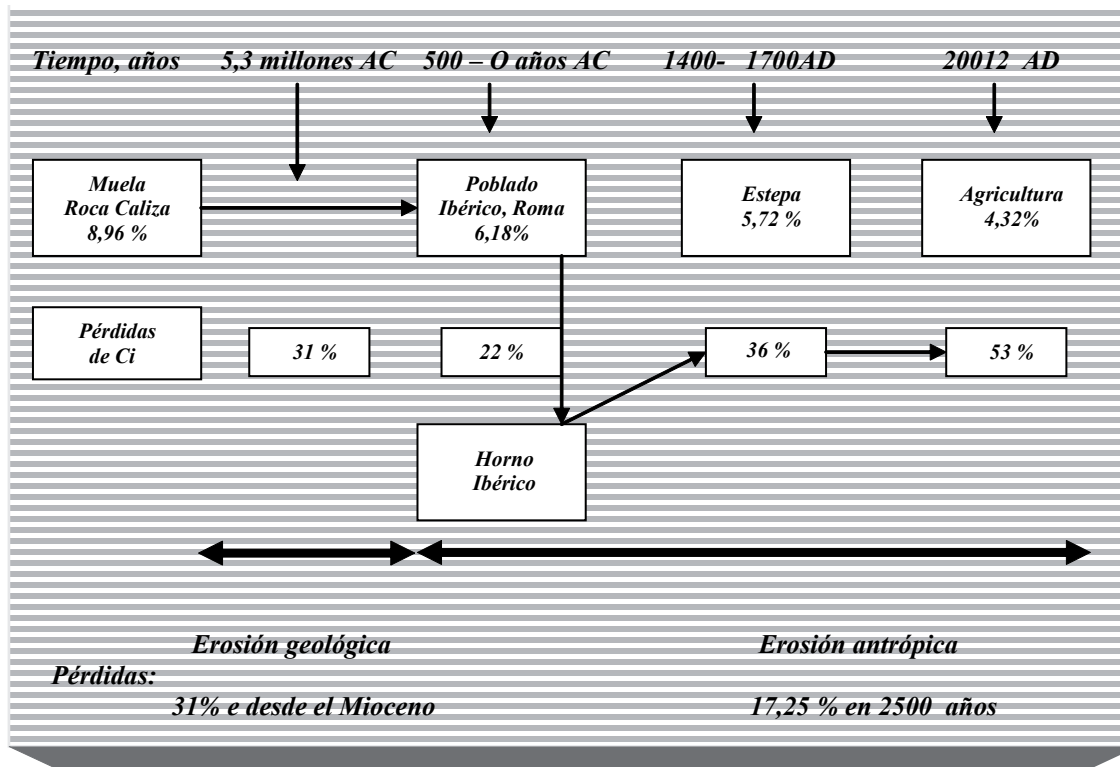


Figura 4. Erosión geológica y antrópica medidas por la pérdida de carbono inorgánico (Ci)

La comparación entre la erosión geológica y antrópica es elocuente. Puede admitirse errores derivados de las medidas de tiempo, y en el peso de la hectárea (habría que medirlo en toda la secuencia) pero aún así la diferencia entre ambas erosiones es muy significativa, volviendo a poner de manifiesto el impacto antrópico.

Para la interpretación de las cantidades de suelo erosionadas, hay varios criterios. Las pérdidas de suelo no deben superar el nivel de tolerancia a la erosión, T, que, según Miller y Gardiner (1998) no deben superar los 5 Mg ha⁻¹ año, aunque lo mejor es no superar pérdidas superiores a 1-2 Mg ha⁻¹ año. El cálculo del Índice de Erosividad es:

$$IE = R * K * LS/T$$

(R, S, LS se toman de la ecuación USLE)

Control de la erosión. En el yacimiento arqueológico de Santa Bárbara todavía se aprecia una terraza agrícola, con muro de contención construido con rocas calizas, hecho por los íberos hace unos 2500 años BP. Hay ejemplos más actuales de piedra, pero es común la práctica de ribazos de tierra, consolidados, a lo largo de los años, por matorrales gipsófilos y herbáceas. Los ribazos son la divisoria entre bancales agrícolas, conformando una semejanza de aterramiento. El bancal tiende a evitar la erosión hídrica y, a la vez, la franja mixta matorral-herbáceas ayuda a frenar la acción del viento, así sea en una fracción pequeña. En adición son las franjas que mantienen cierto nivel de biodiversidad.

Es recomendable recuperar los montículos (cabezos, colinas) cuya erosión ha llegado al punto de presentar síntomas de maleza desértica. Sería conveniente aprovechar algunos ribazos para

controlar la erosión por viento. En ambos casos se podría actuar utilizando vegetación arbórea autóctona (ver el punto dedicado a Ecología), u otros árboles de escaso consumo de agua. La actuación estaría dirigida al logro de empalizadas que frenasen el viento N-NW, cierzo.

CONCLUSIONES

Los suelos se derivan, principalmente de sedimentos gípsicos y calizos depositados durante el Terciario Miocénico, con influencia del Jurásico calcáreo, en las partes más elevadas de la estepa

Son suelos poco desarrollados, Entisoles e Inceptisoles. La textura es aceptable, combinaciones francas, con niveles de materia orgánica bajos cercanos al 1%, con abundancia de calcio, y fertilidad media. La CIC es dependiente de la materia orgánica. La estructura es muy pobre, su destrucción en el presente se debe al uso de maquinaria e implementos pesados.

La erosión hídrica hoy no es importante. Las mediciones con la ecuación USLE dan valores de menos de 2 Mg ha⁻¹ año para el plano más extenso de la estepa. La excepción, la constituye la conocida como "bajada de ka Val" una torrentera que arrastra un equivalente a cercano a los 36 Mg ha⁻¹ año.

La erosión eólica es severa. La medida con la ecuación WEQ da una pérdida de 13,9 Mg ha⁻¹ año. Otras medidas cuantifican las pérdidas de materia orgánica, cercanas o superiores al 85 % (índice de referencia bosque seco). La granulometría demuestra acumulación de arenas y disminución de separados más finos en espacios abiertos, en relación con los sitios resguardados por montículos y colinas.

Al utilizar carbono inorgánico para medir la erosión total, la erosión geológica representa una

pérdida de 0,006 Mg ha⁻¹ año de Ci, mientras la erosión antropológica es de 0,7 Mg ha⁻¹ año de Ci.

La práctica conservacionista usada es la separación de parcelas mediante ribazos, por lo común, de tierra. Se recomienda un mayor nivel conservacionista, empezando por recuperar los montículos (cabezos) en grado erosivo de maleza desértica, y aprovechar los ribazos, que sin interferir con las prácticas agropecuarias ayuden, en ambos casos, a frenar el viento N-NW, cierzo, aumentando así la fertilidad del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

ARENILLAS, M., DÍAZ-GUERRA, C. Y CORTÉS, R. 1996. La presa de Almonacid de la Cuba. Gobierno de Aragón, Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza. 19 - 103 p.

BASTIDA, F. 2005. Geología. Gijón, Ediciones Trea. 1: 974 p. 2: 1031 p.

BLASCO, M. 1966. Studies of some aspects of nitrogen in the soils of Colombia. Ph. D. Thesis. Chemistry Department, University of London. 311 p.

BLASCO, M. 2012. Clima y déficit hídrico en el ecosistema estepario de Lecera. España. Revista de Ciencias Agrícolas. 29(2): 5 - 15.

CADENA, B. P., EGAS BENAVIDES, D., RUIZ E., H., MOSQUERA, G. J., Y BENAVIDES, O. 2012. Efecto de cinco sistemas de labranza en la erosión de un suelo vitric haplustand, bajo cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista de Ciencias Agrícolas. 29(2): 116 - 128.

CHAMBERS, F. M. 2002. Environmental applications of pollen analysis. En: Haslett, S.K. Ed. Quaternary environmental micropaleontology. London, Arnold. 349 p.

- DESIR, G. 2001. Erosión hídrica de terrenos yesíferos en el sector central de la Depresión del Ebro, Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza. 326 p.
- GARCÍA, J. S. 2000. El papel de la población en el proceso de desertificación. En: Martín, F. Agricultura y desertificación. Mundi Prensa. Madrid. 71 - 86 p.
- GARCÍA, M. A. 1996. Hidrología en zonas endorreicas en climas semiáridos. Aplicación a Los Monegros. Consejo de Protección de la Naturaleza en Aragón, Zaragoza. 297 p.
- GROSSMAN, R. B, AHRENS, R.J., GILE, L.H., MONTOYA, C.E., CHADWICK, O.A. 1995. Areal evaluation of organic and carbonate carbon in a desert area of Southern New Mexico, En: Lal, R., Kimble, J.M., Levine, E., Stewart, B.A. (Eds.). Soils and global change. Lewis Publisher. Boca Raton. 81 - 91 p.
- GUERRERO, R., GAMBOA, J. Y BLASCO. M. 1975. Pérdidas de material orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio por efecto de la deforestación en suelos del área andina de Nariño (Colombia). Anales de Edafología y Agrobiología. 34(1-2): 11 - 24.
- HAGEN, L. J. 1991. A wind erosion prediction system to meet users needs. Journal of Soil & Water Conservation. 46(2): 106 - 111.
- HIGHAM, A. 1990. Los primeros agricultores y las primeras ciudades. Trad. del inglés Monserrat Tiana. Cambridge, UK, AKAL. 48 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. 1991. Orto-imagen espacial, Madrid, MOPT. 13 - 6 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA. 1987. Ministerio de Agricultura, Pesa y Ganadería. Cuenca Hidrográfica del Rio Ebro. Editorial ICONA. Madrid. 87 p.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. 1991 Mapa Geológico de España, Hoja Daroca. ITGE, Madrid. 239 p.
- KIRBY, M. J. Y MORGAN, R. P. C. 1991. Erosión del suelo. Limusa, México. 517 p.
- LAL, R., FOLLET, R. F. Y STEWART, B. A. 1997. Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton, FL, USA. 609 p.
- LIÑAN, E. Y SEQUEIROS, L. 1979. Geología de Aragón, rocas y fósiles. Guara Editorial. Zaragoza. 124 p.
- LONGARES, L. A. Y SESÉ, P. 1996. Biodiversidad de los pequeños humedales en el centro de la Depresión del Ebro, 18-21 abril, 271-279 p. En: Barrón, G., García Gil, M., Lardiés, R. Magallón, F. y Marco, P. Ed. Comunicaciones al XVIII Encuentro de Jóvenes Geógrafos. Huesca. AIGE, Universidad de Zaragoza. 389 p.
- LÓPEZ, F. Coord. 2003. La ingeniería en los procesos de desertificación. Madrid, TRAGSA. 1045 p.
- MARTÍN BUENO, M. 1975. Aragón arqueológico. Sus rutas. Zaragoza, Librería General. 191 p.
- MILLER, R. W. Y GARDINER, D. T. 1998. Soils in our environment. Eighth edition. Upper Sadle River, NJ, USA, Prentice-Hall. 736 p.
- MONGER, H. C., DAUGERTHY, L. A., LINDEMANN, W. C., LIDELL, C M. 1991. Microbial precipitation of pedogenic calcite. Geology. 19: 997 - 1000.
- OLLERO, A. 1996 El curso medio del Ebro. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza. 311 p.

- PELLICER, F. Y ECHEVERRÍA, M. A. 1989. Formas de relieve del centro de la depresión del Ebro. Institución Fernando El Católico, Pub. 1179, Zaragoza. 216 p.
- PÉREZ-SOBA, L, BARDAJÍ, M. Y PADRÓ, A. 2002. Lucha contra la erosión en Aragón. DGA Departamento de Medio Ambiente, Zaragoza. Medio Ambiente Aragón. 10: 8 - 12.
- RUSSELL, E. W. 1966. Soil conditions and plant growth, Ninth Edition. Longmans. London. 688 p.
- SESMA, J. A, UTRILLA, J, F Y LALIENA, C. 1996. Del mundo Andalusi a la Ilustración: Regadío, sociedad y poder en el entorno de la gran presa de Almonacid de la Cuba (siglos X al XVIII). En: Arenillas, M., Díaz-Guerra Jaén, C y Cortés Gimeno, R. La presa de Almonacid de la Cuba. Del mundo romano a la ilustración en la cuenca del río Aguasvivas. Gobierno de Aragón, Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza, MOPTMA. 157 - 312 p.
- SOTO, D. 1990. Aproximación a la medida de la erosión y medios para reducir esta en la España peninsular. Ecología, Fuera de Serie.1: 169 - 196.
- TOHARIA, M. 1988. El desierto invade España. Instituto de Estudios Económicos, Madrid. 156 p.
- TROEH, F, R, HOBBS, J. E., Y DONAHUE, R. L. 1991. Soil and water conservation. second edition. Prentice-Hall. Englewood, NJ, USA. 530 p.
- UNITED NATIONS. 2001. Assessment of dry lands desertified areas in the Islamic Republic of Iran. Publ. UN. 73 p.
- UTRILLA, P. Y RODANES, J. M. 1997. La actuación del hombre sobre el paisaje durante la prehistoria en el valle medio del Ebro. In García, J. M. y López, P. Ed. Acción humana y desertización en ambientes mediterráneos. Instituto Pirenaico de Ecología, C.S.I.C. Zaragoza. 61 - 98 p.
- WESCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA, Agriculture Manual nº 537.
- WIGLEY, T. M. L. Y SCHIMEL, D. S. 2000. The carbon cycle. Cambridge University Press, UK, 292 p.
- WESCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA, Agriculture Manual nº 537.
- WIGLEY, T. M. L. Y SCHIMEL, D. S. 2000. The carbon cycle. Cambridge University Press, UK. 292 p.