ITEA (1997), Vol. **93V N.º 1,** 65-73

COMPARACIÓN DE PROCESOS EROSIVOS EN SUELOS AGRÍCOLAS MEDIANTE EL RADIOISÓTOPO CESIO-137

M.J. Cuesta Aguilar*
A. Delgado Cuenca**

* Becaria MEC, Programa I+D
Instituto de Desarrollo Regional
(Universidad de Granada)
C/ Rector López Argüeta, s/n.
C.P. 18.071 Granada (España)

** Químico. Empresa Aceites Jimena S.A.
Atarfe. Granada

RESUMEN

En el presente trabajo se pretende evaluar el estado erosivo de los suelos provocado por las diferentes técnicas de manejo en el cultivo del olivar (cultivo sin labranza, laboreo tradicional, agricultura de conservación). El estudio se enmarca en la cuenca del río Guadajoz, afluente de la margen izquierda del Guadalquivir, que discurre por las provincias de Jaén y Córdoba (Andalucía, España).

La metodología se ha basado en el análisis de muestras mediante técnicas isotópicas, en concreto a través del radioisótopo Cesio-137.

Tras los resultados obtenidos, podemos concluir que la mayor parte de los mismos nos confirman la hipótesis previa, es decir, que a medida que aumenta la remoción del suelo (según el tipo de labranza), la tasa de erosión se incrementa. Sin embargo algunos de estos resultados no son compatibles con esta hipótesis por lo que es necesario recurrir a explicaciones basadas en otros aspectos.

Palabras clave: Erosión de suelos, Cultivo del olivar, Radioisótopo Cesio-137.

ABSTRACT
COMPARATION OF EROSIVE PROCESSES IN CULTIVATED SOILS USING THE RADIO-ISOTOPE CESIUM-137

In this study, soil erosion caused by different cultivation techniques for olive-trees (cultivation without soil disturbance, traditional agriculture or conservational agriculture) is evaluated. The work has been carried out in the drainage area of the Guadajoz river, an tributary of the Guadalquivir river, in the provinces of Jaén and Córdoba (Andalucía, Spain). The samples have been analysed according to isotopic methods and more precisely measuring the content of Cesium-137 in the soil.

In general the results show that the erosion is positively related to removal (soil by cultivation. However, as some of the obtained results are not conform to this hypothesis, other explanations hare been argued.

Key words: Soil erosion,Olive-trees,Radio-isotopes,Cesium-137.

Introducción

El problema de disminución de productividad que representa la pérdida de suelo afecta con especial gravedad a los agrosistemas de la Europa mediterránea, siendo especialmente importante en Andalucía, donde la superficie afectada por la erosión en estado grave o muy grave es del orden del 60%.

En la tabla 1 (citado en GARCÍA ROSELL *et al.* 1993. Informe interno) se muestran unos datos de las áreas agrícolas según el grado de erosión a nivel nacional.

Los procesos más relevantes de la erosión hídrica son la erosión por salpicadura, laminar en regueros o surcos y la erosión en cárcavas y barrancos. La contraposición de pautas y caracteres de estos procesos plantea problemas a la hora de diseñar un método efectivo para medir la erosión del suelo.

Las dificultades asociadas con las técnicas clásicas de medida de erosión, como son la utilización de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), fotografías aéreas, medidas en parcelas, etc. han conducido a la investigación de nuevos métodos, entre los que se incluyen los de isótopos trazadores como el Cesio 137 que es la técnica utilizada en este trabajo. El objetivo del presente estudio es comparar la erosión provocada por las diferentes técnicas de labranza del cultivo del olivar en la cuenca del río Guadajoz.

Fuentes del Cs-137

El Cs-137 presente actualmente en el medio ambiente tiene dos fuentes principales (WALLING y QUINE, 1993):

– Pruebas atmosféricas nucleares que se produjeron principalmente durante el período comprendido entre 1950-70. La distribución del radioisótopo a gran escala muestra una variación relacionada con la precipitación anual (CAWSE y HORRILL, 1986); sin embargo, su depósito a nivel de campo parece haber sido relativamente uniforme. El depósito atmosférico del cesio-137 comenzó en 1954 y se pueden distinguir dos períodos de mayor intensidad en 1958 y entre 1963-64, y otros dos períodos de

TABLA 1
CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS AGRÍCOLAS SEGÚN EL GRADO DE EROSIÓN
(MILES Has)

REGIÓN	INAPRECIABLE	MODERADA	GRAVE	MUY GRAVE
Norte	651	981	95	5
Meseta Norte	1.300	3.510	1.477	276
Extremadura	1.362	4.072	3.057	934
Valle Ebro	594	1.975	1.035	376
Levante	410	1.745	1.157	366
Andalucía	654	1.537	2.061	1.323
Canarias	61	173	136	99
Total	5.032	14.002	9.018	3.379

menor depósito , en 1971 y 1974 que se corresponden con la moratoria de las pruebas.

En el hemisferio norte el depósito ha sido diez veces superior al producido en el hemisferio sur debido a que las principales pruebas nucleares se realizaron en aquel hemisferio.

– Emisión de la central nuclear de Chernobyl como consecuencia del accidente ocurrido el 26 de abril de 1986. El Cs-137 procedente de Chernobyl fue transportado a baja altitud por una nube de escombros y la mayoría del Cs-137 depositado estuvo asociado a las precipitaciones procedentes de esta nube. En España el depósito de Cs-137 debido a Chernobyl es casi inapreciable. (NAVAS y MACHIN, 1991; RUIZ y LUCAS, 1991).

Técnica del Cs-137 para medir erosión

Las bases de esta técnica son las siguientes (WALLING y QUINE, 1993):

A. En la mayoría de los ambientes el Cs-137 fue adsorbido rápida y fuertemente por las partículas del suelo en la capa superficial y la migración vertical postdepósito es insignificante (LIVENS y LOVELAND,1988; BACHUBER *et al,* 1982; FRISSEL y PENDERS, 1983; SQUIRE y MIDDLETON, 1966).

B. La posterior redistribución del Cs-137 refleja el movimiento de las partículas del suelo ya que éste permanece adsorbido y se mueve asociado a ellas.

C. Suponiendo que la distribución inicial del Cs-137 fuera uniforme, las diferencias en cuanto a su contenido representan el impacto neto de las distribuciones del suelo durante el período desde el depósito del Cesio-137.

D. La desviación del contenido en Cs-137 respecto al nivel de referencia puede reflejar erosión si la desviación es negativa o depósito en el caso de desviación positiva.

Según WALLING y QUINE,(1991), la técnica ofrece las siguientes ventajas frente a otros métodos:

– Proporciona medidas cuantitativas de velocidad y modelos sobre erosión de suelos.

– Todos los procesos que contribuyen están representados en la velocidad de erosión medida.

– Se requiere sólo una visita al lugar que se va a estudiar y no se modifica el medio ambiente.

Esta técnica se ha aplicado para estimar erosión y sedimentación en diversas áreas del mundo, como por ejemplo, USA (RITCHIE *et al.,* 1974), Canadá (DE JONG *et al.,*1983), Australia (LONGMORE *et al.,* 1983; CAMPBELL, 1983; CAMPBELL *et al.,* 1986), Gran Bretaña (LOUGHRAN *et al.,* 1987), España (NAVAS y MACHÍN, 1991; NAVAS y WALLING,1992; QUINE *et al.,* 1994).

En el presente trabajo esta técnica ha sido empleada para obtener unos resultados preliminares sobre los diferentes estados erosivos provocados por las distintas técnicas de laboreo empleadas en el cultivo del olivar en ciertas comarcas de las provincias andaluzas de Jaén y Córdoba.

Las actuales técnicas de manejo del olivar, llevan poniéndose en práctica aproximadamente una década. Con anterioridad, en las labores antiguas, era común el volteo del suelo hasta una profundidad media de unos 20 cms. Debido a esto la incorporación del Cesio en el suelo ha sido redistribuida de forma similar con ese margen de profundidad, por lo que al repetirse este proceso en

todos los puntos muestreados, bastaría con analizar los primeros 5 cms de cada perfil para obtener resultados sobre la influencia que la técnica de manejo empleada tiene sobre la capa superficial del suelo. Es decir aunque no podamos saber si el depósito es mayor o menor que el que se pueda encontrar en capas inferiores, si podemos dar validez a la *diferencia de actividad* encontrada en esa capa superficial, entre una muestra en la que se ha empleado un determinado sistema de cultivo, y otra en la que se ha utilizado otro.

Tecnicas de laboreo empleadas en el olivar

La zona objeto de estudio es un área olivarera enmarcada hidrológicamente en la cuenca del río Guadajoz, afluente de la margen izquierda del Guadalquivir, más concretamente en el sector Central del Subbético, ocupando la zona SE de Córdoba, y el extremo SW de Jaén. Ambas son provincias olivareras por excelencia, con una susceptibilidad a la erosión bastante alta (MOREIRA, 1991).

Son diversas las técnicas de manejo utilizadas para el cultivo del olivar, entre ellas se pueden distinguir:

– El laboreo convencional, donde los aperos voltean gran cantidad de tierra en repetidas ocasiones a lo largo del año. El suelo queda muy removido y suelto.

– No laboreo, que consiste, en el apisonamiento del suelo con pases de rulo para lograr su compactación, (PASTOR y MORALES, 1991), además se emplean biocidas para el tratamiento de las malas hierbas.

En el no laboreo se pueden distinguir además sistemas mixtos:

– Sistema de ruedos permanentes donde se apisona sólo el 40% del terreno,es decir, el proyectado bajo la copa.

– Laboreo mínimo en franjas donde se alternan unas labradas y otras sin labrar, es decir alisadas.

Por último, y como hecho novedoso hay, que destacar la existencia de hectáreas de olivar cultivadas de un modo distinto, como una versión más del no laboreo, y es la técnica que emplea la cubierta vegetal de malas hierbas entre las calles de la plantación, la cual es desbrozada antes de que entre en competición hídrica con el olivo.

Metodología

Las muestras se tomaron en olivares con distintos sistemas de labranza.

En cada punto de muestreo se tomaron dos muestras, una en la zona superior de la ladera(pendiente 0%) y otra muestra en un punto con una pendiente del 15%. En cada zona se tomó un paralelepípedo de 0,25 m^2 de superficie y 5 cm de profundidad.

La preparación de la muestra consiste en el secado a 120 °C y posterior tamizado (malla 0,25 mm). Una submuestra de peso conocido se coloca en un Marinelli de 1 l. de capacidad.

La medida del Cesio-137 se realizó con un espectrómetro multicanal de 16.000 canales, conectado a un detector de germanio intrínseco hiperpuro tipo reverse. El tiempo de contaje fue de 1.500 minutos, con el que se consiguió una precisión analítica del 10% en las muestras de menor actividad y del 2% en las más activas.

TABLA 2
CARACTERIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

LOCALIZACION	COORDENADAS	PENDIENTE	ALTITUD	S. LABRANZA
	Long./ Lat.	%	m	
"Los Baldíos"	4 06'55"/	0	682	No laboreo
Priego de Co.	37 27'13"	15	678	
(Córdoba)				
"Valverde"	4 07'40"/	0	685	Sin cultivar
Priego de Co.	37 27'17"			
(Córdoba)				
"Las Mesas"	4 08'26"/	0	450	Laboreo
Alcaudete	37 36'03"	15	445	convencional
(Jaén)				
"El Tobazo"	4 00'46"/	0	575	No laboreo
Alcaudete	37 33'55"	15	572	Cobertera
(Jaén)				Vegetal

A cada muestra también se le determinó el porcentaje de agua, materia orgánica, gravas, arenas y arcillas más limos. El contenido en agua de las muestras se determinó secando a 120 °C durante 24 horas una cantidad pesada de muestra. El contenido en gravas se determinó pasando la muestra por el tamiz A.S.T.M. n.º 10. La fracción superior a 2mm se lavó hasta que pasó agua limpia, se secó en estufa y se determinó el porcentaje de gravas. Para la determinación de arenas y limos más arcillas, de la fracción inferior a 2mm se tomaron 100 gramos y se añadieron a una disolución al 4 % de hexametafosfato sódico, se dejaron en reposo al menos 18 horas y se hicieron pasar por el tamiz A.S.T.M. n.º 200, se lavó con agua hasta que pasó agua limpia. La fracción superior a 0,075 mm se secó y se pesó, determinándose el contenido en arenas, la fracción restante la constituían arcillas más limos.

Resultados y discusión

El la tabla 3 se muestra el contenido en agua, materia orgánica, gravas, arenas y arcillas más limos de cada muestra.

Las actividades detectadas en cada punto de muestreo, así como la erosión obtenida, se presentan en la tabla 4. La erosión media de cada muestra se ha determinado siguiendo el método gravimétrico de BROWN *et al.* (1981) que tasa la erosión desde 1954.

Este autor propone la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{10(Z-Se)}{CeT}$$

Y= Pérdida media anual de suelo (t ha^{-1} $año^{-1}$).

Z= Inventario de Cesio 137 (Bq m^{-2}).

Se= Inventario medio del área erosionada (Bq m^{-2}).

Ce= Concentración media de Cesio 137 en el área erosionada (Bq Kg^{-1}).

T= Tiempo desde el inicio del depósito de Cesio 137 (1954).

Como se puede deducir de la expresión anterior, no se tienen en cuenta parámetros que valoren la influencia del método de cultivo con la erosión como pueden ser la profundidad del arado, ni tampoco se estiman datos físicos del suelo como puede ser la densidad aparente.

En otros métodos (método proporcional de De Jong *et al.,* 1983, 1986), sí se consideran los parámetros citados, si bien las limitaciones técnicas por la falta de material adecuado hicieron imposible su utilización. Es por esto por lo que utilizamos la fórmula de Brown, advirtiendo que los resultados de erosión obtenidos (tabla 4, última columna) no son compatibles con las conclusiones obtenidas de los estudios realizados relacionando el nivel de erosión con la técnica de cultivo que correspondería a la siguiente secuencia:

Erosión sin cultivo < cubierta vegetal < mínimo laboreo < laboreo convencional.

No se ha obtenido el contenido en agua, materia orgánica ni granulometría de Valverde al no considerarlas significativas ya que es el punto de referencia estable y no erosionado, por lo que esos datos no aportarían nada nuevo al estudio.

Debido a que el método de Brown no es el mas adecuado para la cuantificación de la erosión en nuestras condiciones, relativizamos la importancia de la última columna de la tabla 4 y consideramos como resultados finales los datos de actividad del Cesio 137, los cuales permiten estimar cualitativamente el nivel de erosión producido por la aplicación de una técnica de manejo del suelo concreta, y permitan corroborar que el nivel de erosión es inversamente proporcional a la actividad del Cesio 137, por lo que se establece finalmente la misma secuencia señalada anteriormente entre nivel de erosión y sistema de cultivo.

Todos los puntos de referencia poseen una actividad por unidad de superficie inferior a la obtenida en "Valverde". Según Navas *et al.* (1991) para poder aplicar esta técnica se ha de establecer en primer lugar la carga de referencia del Cesio-137. ÉEsta se obtiene muestreando un lugar estable, es decir, no erosionado y horizontal, lo más cercano posible al lugar de estudio, que en este caso es Valverde, un lugar llano que no ha sido cultivado al menos en los últimos cuarenta años y que se localiza próximo al resto de las muestras tomadas.

TABLA 3
CONTENIDO DE AGUA, MATERIA ORGÁNICA Y GRANULOMETRÍA DE LAS MUESTRAS (EN %)

MUESTRA	H_2O	M.O.	GRAVAS	ARENAS	LIMOS+ARCILLAS
L.Baldíos	1,58	4,81	27,85	13,93	58,22
E. Tobazo	1,91	4,62	34,72	26,29	38,99
L. Mesas	2,36	5,45	19,93	28,21	51,86

TABLA 4
ACTIVIDADES DE CESIO-137 DETECTADAS EN LAS DIFERENTES MUESTRAS

MUESTRA	ACTIVIDAD	ACTIVIDAD	EROSION
	± 20 (Bq/Kg)	± 2o (Bq/m2)	(t/ha/año)
Valverde (0%)	31±1	1622±52	–
L.Baldíos (0%)	22,9±0.9	960±38	–
L.Baldíos (15%)	6,4±0.4	422±26	21
E. Tobazo (0%)	22,0±0.9	1395±57	–
E. Tobazo (15%)	15,4±0.7	644±29	12
L.Mesas (0%)	6,8±0.5	319±23	–
L.Mesas (15%)	3,1±0.3	156±15	13

De los datos sobre la actividad reflejados en la tabla 4 y tomando como punto de partida la actividad de Valverde podemos deducir que los emplazamientos con 0% de pendiente están erosionados con respecto al punto de referencia.

"El Tobazo" (0%), que no sufre ningún tipo de laboreo es el que presenta una actividad más próxima a "Valverde". A continuación le sigue "Los Baldíos"(0%), donde se aplica un arado que afecta a los primeros cinco centímetros del suelo. Por último se encuentra "Las Mesas" (0%) donde la técnica de labranza empleada conlleva el volteo de unos veinte centímetros de suelo.

Análogas conclusiones se obtienen de los resultados de las muestras tomadas en pendiente del 15%. Por las limitaciones del método de Brown, comentadas anteriormente, consideramos definitivos para poder realizar el estudio comparativo, los datos sobre actividad.

Desde el punto de vista de la erosión y según los estudios realizados por PASTOR y MORALES (1991), se ha comprobado que la mayor tasa de erosión se produce en suelos cultivados al modo tradicional, mientras que se produce una disminución significativa cuando se practica el no laboreo. Cuando éste último se realiza con el método de la cobertera vegetal, la reducción de la erosión es prácticamente total. Sin embargo, los resultados obtenidos mediante la técnica del Cs-137 muestran que la erosión producida en el olivar cultivado al modo tradicional es similar a la obtenida en aquél que emplea la cobertera vegetal.

A la vista de los resultados se consideró la ubicación de los puntos muestreados con respecto a la red de drenaje y se observó que "Los Baldíos" estaba situado próximo a una zona activa tectónicamente (GARCÍA CORTES, 1991), como lo demuestran los frecuentes deslizamientos y el encajamiento de la red hidrográfica, lo cual justificaría la alta erosión registrada, mientras que los otros dos puntos de muestreo se encuentran mas alejados. Lo dicho anteriormente indica que para estudios posteriores habrá que considerar la posición relativa de los puntos de muestreo con respecto a la red de drenaje. Por otra parte teniendo en cuenta el análisis granulométrico reflejado en la tabla 3 pode-

mos concluir que el elevado porcentaje de limos+arcillas de "Los Baldíos" (58.22%) provocará el aumento de la escorrentía al descender el nivel de infiltración del agua, con lo que se producirá una mayor erosión. El resultado de "Las Mesas" se podría justificar por el mayor contenido en agua y en materia orgánica de la muestra aún cuando la técnica de labranza afecta a más profundidad del suelo que en "Los Baldíos".

Agradecimientos

Los resultados experimentales obtenidos para la realización de este estudio se llevaron a cabo en el laboratorio de Química Inorgánica (Radioquímica) de la Universidad de Granada, y contaron con el apoyo de D. Cecilio González Gómez, y Dª Antonia Camacho García, a quienes agradecemos su colaboración.

Bibliografía

BACHUBER H.; BUNZ K.; SCHIMMACK W.; GANS I. 1982. "The migration of Cs-137 and Sr-90 in multilayered soils: result from batch, column and fallout investigation".*Nuclear Tecnology,* 59,291-301.

BROWN R.B.; KLING G.F.; CUTSHALL N.H. 1981. "Agricultural erosion indicated by Cs-137 redistribution: II". *Estimates of erosion rates. Soil Science Society of America Journal,* 45, 1191-1197.

CAMPBELL B.L.;1983. "Applications of environmental caesium-137 for the determination of sedimentation rates in reservoirs and lakes and related catchment studies in developing countries. Radioisotopes in Sediment Studies".*International Atomic Energy Technical Document,* 298, 7-30.

CAMPBELL B.L.; LOUGHRAN R.J.; ELLIOTTG.L.; SHELLY, D. 1986. "Mapping drainage basin sources using caesium-137". Drainage basin sediment. (R.F. Hadley, Ed)*IAHS*, nº 159. 437-446.

DE JONG E.; BEGG C.B.M.; KACHANOSKI R.G. 1983. "Estimates of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils". *Canadian Journal of Soil Science,* 63,607-617.

FRISSEL M.J.; PENDERS R. 1983. "Models for the accumulation and migration of Sr-90, Cs-137, Pu 239-240, and Am-241 in the upper layer of soils". *In Ecological Aspects of Radionuclide Release.* (Ed. P.J. Coughtrey). Nº 3, 63-72. Oxford.

GARCÍA CORTES, A. 1991. *Memoria del Mapa Geológico de España.* 1:50.000. Alcaudete. ITGE.

LIVENS F.R.; LOVENLAND P.J. 1988. "The influence of soil properties on the environmental mobility of Caesium in Cumbria". *Soil Use and Management,* 4, 69-75.

LONGMORE M.E.; O'LEARY B.M.; ROSE C.W.; CHANDICA A.L. 1983. "Mapping soil erosion and acumulation with the fallout isotope caesium-137". *Australian Journal of Soil Research,* 1, 373-385.

LOUGHRAN R.J.; CAMPBELL B.L.; WALLING D.E. 1987. "Soil erosion and sedimentation indicated by caesium-137". *Jackmoor Brook catchment, devon, England.Catena,* 14, 201-212.

MOREIRA J.M.; 1991. *Capacidad de uso y erosión de suelos:una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía.* Junta de Andalucía, AMA.

NAVAS A.; MACHIN J. 1991. "A preliminary research on the use of Cesium-137 to investigate soil erosion in the semiarid lanscape of the central Ebro river valley". *Soil Erosion Studies in Spain.* 191-202.

NAVAS A.; WALLING D.E. 1992. "Using caesium-137 to assess sediment movement on slopes in a semiarid upland environment in Spain. Erosion, Debris flows and Environment in Mountain Regions". *IAHS,* nº209, 129-138.

PASTOR M.; MORALES J. 1991. "Olivar en no laboreo. Mejora de la infiltración y captación de la escorrentía". *Agricultura* 914-927.

QUINE T.A.; NAVAS A.; WALLING D.E.; MACHIN J.; 1994. "Soil erosion and redistribution on cultivated and uncultivated land near Las Bardenas in the central Ebro river basin, Spain". *Land Degradation and Rehabilitation,*50,(1),41-55.

RITCHIE J.C.; SPRABERRY J.A.; MCHENRY J.R.; 1974. "Estimating soil erosion from the redistribution of

caesium-137". *Soil Science Society of American Proceedings*, 38, 137-139.

RUIZ P.; LUCAS F.E. 1991." Determinación de Cs-137 en muestras naturales en la cornisa cantábrica. Resúmenes de la XVII Reunión anual de la Soc. Luc. Española". *(Ed. Senda S.A.)*. 135-137.

SQUIRE H.M.; MIDDLETON L.J. 1966. "Behaviour of Cs-137 in soils and pastures a long term experiment". *Radiation Botany*, 6, 413-423.

WALLING D.E.; QUINE T.A.; 1991. "The use of caesium-137 measurementes to investigate soil erosion on arable fields in the U.K.:potential applications and limitations". *Journal of Soil Science*, 42, 146-165.

WALLING D.E.; QUINE T.A.; 1993. "Use of caesium-137 as tracer of erosion and sedimentation: Handbook for the aplication of the caesium-137 technique", 215-19.

GARCÍA-ROSSEL *et al.* (1993). *Proyecto LUCDEME.* Desertización en la Cuenca del río Almanzora. CSIC-Icona. Informe interno.

(Aceptado para publicación el 20 de septiembre de 1996)