

Técnicas isotópicas para la cuantificación de la erosión

por: M^a José Cuesta Aguilar* y Antonio Delgado Cuenca**

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

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 ha medida que aumenta la remoción del suelo (según el tipo de laboreo), la tasa de erosión se incrementa.



INTRODUCCION

El problema de disminución de productividad que representa la pérdida de suelo afecta con 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%. Más de nueve millones de hectáreas sufren en España un grado

- *La erosión acaba con los olivares*
- *La cubierta vegetal reduce la erosión*

de erosión grave o muy grave (Tabla 1).

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, entre otras han conducido a la investigación de nuevos métodos, entre los que se incluyen los de isótopos trazadores como el Cesio-137.

(*) Becaria MEC, Programa I+D. Instituto de Desarrollo Regional (Universidad de Granada).

(**) Químico.

TABLA 1. Niveles de erosión por Comunidades Autónomas (hectáreas)

Comunidades autónomas	Extrema	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja	Total
Andalucía	551.840	935.787	2.081.516	1.953.474	1.939.810	1.379.540	8.771.349
Aragón	32.807	126.844	441.575	1.384.431	1.850.948	929.852	4.766.367
Asturias	3.394	722		772.723	154.490	120.993	1.052.322
Baleares	25.304	24.703	35.874	54.192	265.807	104.839	508.719
Canarias	21.532	34.233	36.756	253.870	114.883	175.871	756.147
Cantabria	767	1.297	2.203	377.518	120.357	31.614	534.526
Castilla-La Mancha	37.847	189.415	753.945	1.879.690	3.273.843	1.836.896	7.961.901
Castilla-León	35.842	105.315	222.845	1.979.244	4.386.911	2.714.028	9.439.087
Cataluña	127.349	258.831	274.022	1.067.955	814.856	646.504	3.157.516
Extremadura	38.678	145.413	355.895	563.165	1.328.686	1.309.945	4.153.486
Galicia	33.192	82.913	55.755	770.487	1.311.683	625.006	2.921.946
Madrid		12.185	44.990	139.579	337.270	267.099	801.097
Murcia	34.823	85.342	282.134	317.372	293.995	124.315	1.138.281
Navarra	556	7.285	34.554	305.835	357.018	329.079	1.034.627
País Vasco	2.223	39	80.943	386.441	129.252	168.445	716.742
La Rioja		5.232	71.034	100.853	239.376	80.878	501.374
Valencia	231.605	645.795	335.473	616.043	389.516	306.430	2.328.867
Total	1.111.651	2.581.428	5.488.460	12.922.872	17.308.701	11.151.334	50.544.344

Fuente: ICONA. Plan Nacional Contra la Desertización. Madrid, 1993.

FUENTES DEL CS-137

El Cs-137 presente actualmente en el medio ambiente tiene dos fuentes principales:

- Pruebas atmosféricas de las armas nucleares que se produjeron principalmente durante el periodo comprendido entre 1950-70. Su distribución a gran escala muestra una variación relacionada con la precipitación anual; sin embargo, su depósito a nivel de campo parece haber sido relativamente uniforme. Aunque destaca la variación temporal en el depósito de Cs-137, debido a esta fuente, tanto en el Hemisferio norte como en el sur. Su deposición atmosférica comenzó en 1954 y se pueden distinguir dos periodos de mayor deposición en 1958 y entre 1963 y 1964, y otros dos periodos de menor deposición, en 1971 y 1974 que se corresponden con la moratoria de las pruebas nucleares.

También se puede observar que en el Hemisferio norte la deposición ha sido diez veces superior a la producida en el Hemisferio sur debido a que las pruebas de las armas nucleares se realizaron en este hemisferio.

- Emisión de la Central Nuclear de Chernobyl como consecuencia del acci-

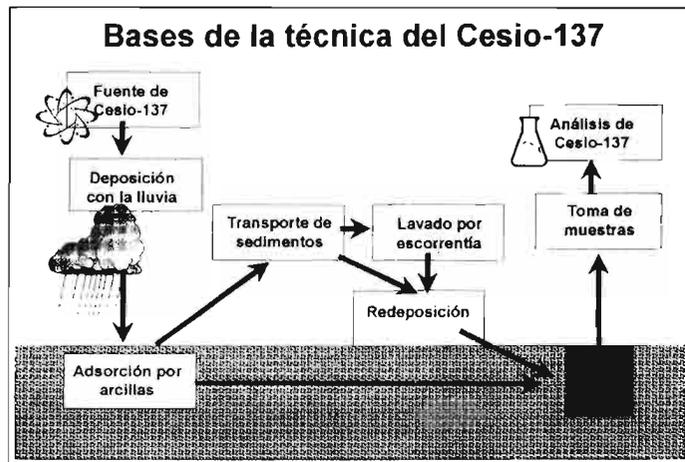
TABLA 2. Caracterización de los puntos de muestreo

LOCALIZACIÓN	COORDENADAS Long./ Lat.	PENDIENTE %	ALTITUD m	MANEJO DEL SUELO
«Los Baldíos» Priego de Co. (Córdoba)	4 06'55"/37 27'13"	0 15	682 678	Mínimo laboreo
«Valverde» Priego de Co. (Córdoba)	4 07'40"/ 37 27'17"	0	685	Sin cultivar
«Las Mesas» Alcaudete (Jaén)	4 08'26"/ 37 36'03"	0 15	450 445	Laboreo convencional
«El Tobazo» Alcaudete (Jaén)	4 00'46"/ 37 33'55"	0 15	575 572	No laboreo con cubierta vegetal

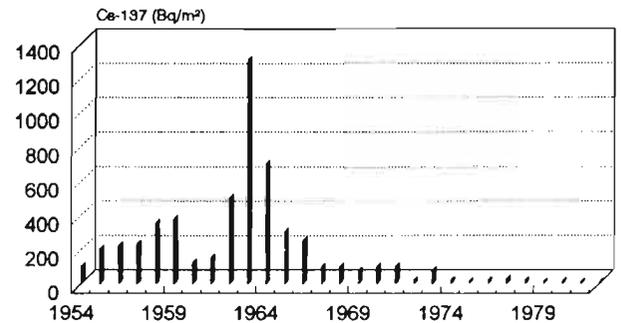
TABLA 3. Granulometría de las muestras

MANEJO SUELO	MUESTRA	AGUA %	GRAVAS %	ARENAS %	LIMO +ARCILLA %
No laboreo	L. Baldíos	1.58	27.85	13.93	58.22
Cubierta vegetal	E. Tobazo	1.91	34.72	26.29	38.99
Laboreo tradicional	L. Mesas	2.36	19.93	28.21	51.86

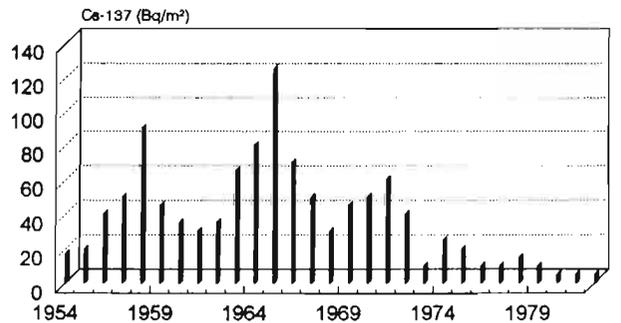
COLABORACIONES TECNICAS



Deposición de Cesio-137 atmosférico procedente de las pruebas nucleares Hemisferio Norte



Deposición de Cesio-137 atmosférico procedente de las pruebas nucleares Hemisferio Sur



dente 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 la deposición de Cs-137 debida a Chernobyl es casi despreciable (Navas et al., 1991).

TECNICA DEL CS-137 PARA MEDIR EROSION

Las bases de esta técnica son las siguientes:

a) El Cs-137 se depositó principalmente a finales de los años 50 y durante los 60, en la mayoría de los ambientes fue adsorbido rápida y fuertemente por las partículas del suelo en la capa superficial y la migración vertical postdeposición es insignificante.

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 dife-

rencias en cuanto a su contenido representan el impacto neto de la erosión del suelo durante el periodo desde la deposición de éste.

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, Canadá, Australia (Campbell, 1983;

Campbell et al, 1986), Gran Bretaña, España (Navas y Machín, 1991; Navas y Walling, 1992).

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.

TECNICAS DE LABOREO EMPLEADAS EN EL OLIVAR

La zona objeto de estudio es un área olivarera enmarcada hidrológicamente en la Cuenca del río Guadalajoz, 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 del suelo utilizadas para el cultivo del olivar, entre ellas se pueden distinguir:

TABLA 4. Actividades detectadas y erosión producida.

MANEJO DEL SUELO	LOCALIDAD	ACTIVIDAD DEL Cs-137±2σ		EROSIÓN (t ha ⁻¹ año ⁻¹)
		(Bq kg ⁻²)	(Bq m ⁻²)	
Sin cultivar	Valverde (0%)	31.0±1.0	1622±52	0
Mínimo laboreo	L. Baldíos (0%)	22.9±0.9	960±38	7
	L. Baldíos (15%)	6.4±0.4	422±26	46
No laboreo con cubierta vegetal	E. Tobazo (0%)	22.0±0.9	1395±57	3
	E. Tobazo (15%)	15.4±0.7	644±29	15
Laboreo convencional	L. Mesas (0%)	6.8±0.5	319±23	47
	L. Mesas (15%)	3.1±0.3	156±15	115

• 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 (Morales y Pastor, 1991), en el apisonamiento del suelo con pases de rulo para lograr su compactación, además se emplean herbicidas 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.

las calles de la plantación, la cual es desbrozada antes de que entre en competición hídrica con el olivo.

METODOLOGIA

Las muestras se tomaron en olivares con distintos sistemas de laboreo. 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 m² de superficie y 5 cm de profundidad.

La preparación de la muestra consiste en el secado a 120 °C y posterior tami-

analítica del 10 % en las muestras de menor actividad y del 2 % en las más activas.

A cada muestra también se le determinó el porcentaje de agua, materia orgánica (M.O.), 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° 10. La fracción superior a 2 mm se lavó hasta que pasó agua limpia, se secó en estufa y se determinó el porcentaje en gravas. Para la determinación de arenas y limos más arcillas, de la fracción inferior a 2 mm se tomaron 100 gramos y se añadieron a una disolución al 4 % de hexametáfosfato sódico, se dejaron en reposo al menos 18 horas y se hicieron pasar por el tamiz A.S.T.M. n° 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 DISCUSION

El cálculo de la erosión a partir de la actividad del Cesio 137 se ha realizado teniendo en cuenta uno de los modelos teóricos existentes actualmente, el método gravimétrico de Brown (1981) que tasa la erosión desde 1954. Este autor propone la siguiente ecuación:

$$Y = 10 (Z - Se) / (Ce T)$$

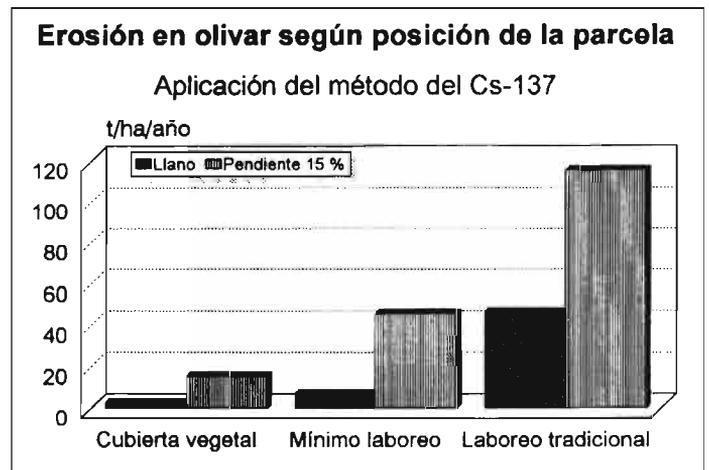


• Laboreo mínimo en franjas donde se alternan unas labradas y otras sin labrar.

Por último y como hecho novedoso hay que destacar la existencia de una gran superficie 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

zado (malla 0,25 mm). Una submuestra de peso conocido se coloca en un Marinelli de un litro de capacidad.

La medida del Cs-137 se realizó con un espectrómetro multicanal de 16.000 canales, conectado a un detector de germanio intrínseco hiperpuro tipo reverse. El tiempo de cotaje fue de 1.500 minutos, con lo que se consiguió una precisión



Siendo: Y la pérdida media anual de suelo (t/ha · año); Z el inventario de Cesio 137 (Bq/m) en la zona de referencia, esto es la parcela llana que nunca se ha cultivado; Se inventario medio del área erosionada (Bq/m); Ce concentración media de Cesio 137 en el área erosionada (Bq/kg) y T el tiempo desde el inicio del depósito de Cesio 137 (año 1954).



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

Todos los puntos de referencia poseen una actividad por unidad de superficie inferior a la obtenida en «Valverde», lo cual muestra la influencia del arado, ya que es un lugar que no ha sido cultivado al menos en los últimos cuarenta años. «El Tobazo», que no sufre ningún tipo de laboreo, es el que presenta una actividad más próxima a «Valverde». A continuación le sigue «Los Baldíos», donde se aplica un arado que afecta a los primeros cinco centímetros del suelo (mínimo laboreo o laboreo reducido). Por último se encuentra «Las Mesas» donde la técnica de labranza empleada conlleva el volteo de unos veinte centímetros de suelo (laboreo tradicional).

En otros métodos (método Proporcional), si se consideran los parámetros citados sin bien complica la ventaja de esta sencilla técnica, haciendo difícil su empleo. Es por esto por lo que utilizamos la fórmula de Brown, advirtiendo las limitaciones que está tiene por la antes expuesto. De todos formas los resultados son claros, la mayor erosión se corres-

ponde con las prácticas tradicionales de laboreo y muy especialmente cuanto se realizan en pendiente, por el contrario la aplicación de técnicas de laboreo de conservación tienen un buen resultado en el control de los procesos erosivos, sobre todo en terrenos llanos, ya que para zonas con pendiente el laboreo mínimo no muestra un buen control de la erosión siendo aconsejable las técnicas que mantienen una cubierta vegetal bajo el olivar.

Desde el punto de vista de la erosión y según los estudios realizados por Morales y Pastor (1991) se ha comprobado como 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 cubierta vegetal, la reducción de la erosión es prácticamente total, como muestran los resultados expuestos, lo que hacen aconsejable adoptar esta técnica de manejo del suelo en nuestros olivares, especialmente en aquellos que ocupan zonas en pendientes o laderas sin aterrizar.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten corroborar que el nivel de erosión es inversamente proporcional a la actividad del Cesio 137, datos que permiten estimar cualitativamente el grado de erosión producido por la aplicación de una técnica de manejo del suelo concreta.

BIBLIOGRAFIA

- Brown, R.B. (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.; Elliott, G.L. y Shelly, D. (1986). Mapping drainage basin sources using caesium-137. *Drainage Basin Sediment Delivery*. (Ed. R.F.Hadley) IAHS, nº159. 437-446.
- Morales, J. y Pastor, M. (1991). Olivar en no laboreo. Mejora e la infiltración y captación de la escorrentía. *Agricultura* 914-927.
- 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. y Machín, J. (1991). A preliminary research on the use of Caesium-137 to investigate soil erosion in the semiarid landscape of the central Ebro river valley. *Soil erosion Studies in Spain*. 191-202.
- Navas, A. y 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, nº 209:129-138.
- Walling, D.E. y Quine, T.A. (1991). The use of caesium-137 measurements to investigate soil erosion on arable fields in the U.K.: potential applications and limitations. *Journal of Soil Science*. 42: 146-165.

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 D^a Antonia Camacho García, a quienes agradecemos su colaboración.