

# **Redistribución del suelo por las prácticas de laboreo**

Satur de Alba Alonso

Dpto. Geodinámica, Facultad de CC. Geológicas (UCM). Ciudad Universitaria s/n, 28040-Madrid.

## **Resumen**

La redistribución del suelo en las laderas por las prácticas de laboreo representa un proceso de erosión y degradación del suelo de elevada intensidad, responsable de la transformación y modelado de los paisajes de suelos actuales característicos de los sistemas agrícolas mediterráneos. Para el caso concreto del laboreo con el apero de vertedera, se presentan diversos modelos empíricos desarrollados, a partir de datos experimentales de campo, para cuantificar la intensidad de la movilización del suelo en función de la pendiente del terreno y de la dirección, profundidad y número de las operaciones de laboreo. Los resultados indican que la tasa de movilización de suelo por laboreo (kg/m) es proporcional a la pendiente del terreno, mientras que la variabilidad espacial e intensidad de los balances netos de pérdida o acumulación de suelo dependen de la morfología y curvatura de la ladera. Entre los mecanismos que dan lugar a una profunda transformación de los perfiles y paisajes de suelos destacan: i) la decapitación y truncamiento de los perfiles; ii) la sustitución de los horizontes edáficos superficiales dentro de la capa de laboreo; y, iii) la formación de falsos suelos truncados.

## **INTRODUCCIÓN**

Los paisajes agrícolas mediterráneos se caracterizan por presentar una elevada variabilidad espacial de los horizontes superficiales de suelo. Los tramos de ladera de morfología convexa, lomas, hombreras y divisorias de aguas, suelen presentar perfiles edáficos con los horizontes superficiales sumamente

adelgazados y, en la mayoría de los casos, suelos truncados en los que se han perdido totalmente esos horizontes y quedan expuestos en superficie los horizontes *C* originariamente subsuperficiales, en muchos casos horizontes cálcicos de tonos claros muy contrastados. Por otro lado, en los tramos inferiores de las laderas el horizonte superficial *A* se engrosa por la acumulación de material procedente de las partes altas de la ladera. Sin embargo, este patrón de distribución espacial de los suelos degradados difícilmente es atribuible de forma predominante a la acción de los procesos de erosión hídrica, dado que tanto la longitud como la pendiente de la ladera son los principales factores topográficos determinantes de la intensidad de la erosión hídrica (Wischmeier y Smith, 1978); mientras que en los tramos convexos de ladera ambos parámetros, pendiente y longitud de ladera, suelen ser particularmente reducidos. Todo ello pone de manifiesto que la modelización de la erosión del suelo en los campos agrícolas requiere tener en cuenta junto a los procesos de erosión hídrica otros mecanismos de redistribución de suelo (Quine y Walling, 1993).

La importancia de los procesos de redistribución y erosión del suelo por las prácticas de laboreo se pone de manifiesto al considerar que cada operación de laboreo con el apero de vertedera supone la movilización de una capa de suelo de espesor más o menos uniforme, generalmente de entre 20 y 40 cm, cuya extensión abarca toda la superficie cultivada. Durante el laboreo con la vertedera (modelos no reversibles) el suelo resulta desplazado por las palas de la vertedera siguiendo una trayectoria oblicua respecto a la marcha del tractor, hacia adelante en la dirección de laboreo y lateralmente hacia la derecha de la pala de vertedera ([figura 1](#)). Cuando los campos de cultivo se sitúan en superficies llanas, las labores con direcciones alternantes en años sucesivos producen un movimiento del suelo de tipo errático sin que tenga lugar desplazamiento neto alguno. En un punto cualquiera del terreno, las pérdidas de suelo ocurridas durante un pase de labor son compensadas con las labores posteriores. Sin embargo, en los campos situados en las laderas la movilización del suelo no resulta equivalente en todas las direcciones, sino que guarda una estrecha relación con la pendiente del terreno. El arrastre del suelo ladera arriba provocado por un pase de labor realizado en contra de la pendiente, no resulta suficiente para compensar la pérdida de suelo sufrida como resultado de esa misma labor hecha cuesta abajo, lo que da lugar a una pérdida neta de suelo en las zonas altas de la ladera. Mech y Free (1942) fueron los primeros investigadores que llevaron a cabo una serie de ensayos de campo para demostrar este desequilibrio.

En este trabajo se presentan diversos modelos desarrollados a partir de los resultados obtenidos en un trabajo experimental de campo realizado para cuantificar la movilización del suelo por el laboreo con vertedera. Después

del primer estudio de carácter cuantitativo realizado por Mech y Free (1942), muy pocos han sido los trabajos experimentales realizados para cuantificar los efectos del laboreo y prácticamente todos ya en los años noventa; en el caso concreto de la vertedera destacan los trabajos de Lindstrom *et al.*, (1990 y 1992), Revel *et al.*, (1993), Govers *et al.*, (1994) y Lobb *et al.*, (1995).

## MODELIZACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DEL SUELO POR LABOREO

Los ensayos de campo fueron realizados durante los años 1995 y 1996 en la Finca Experimental La Higuera (CCMA, CSIC), localizada en la localidad de Santa Olalla (Toledo). El método experimental aplicado fue diseñado para la consecución de un doble objetivo. En primer lugar, para evaluar la influencia de la pendiente del terreno ( $S$ ) sobre la distancia de desplazamiento del suelo ( $d$ ) durante el laboreo con vertedera; y en segundo lugar, para determinar el efecto de cuatro direcciones diferentes de laboreo: cuesta arriba i); cuesta abajo ii); y, en contorno (siguiendo una dirección más o menos paralela a la de las curvas de nivel), volteando lateralmente el suelo cuesta arriba iii) o cuesta abajo iv). En una ladera de morfología compleja se instalaron un total de 12 parcelas experimentales, dispuestas cubriendo un intervalo de pendientes del terreno de entre el 15 y el 30%, en las que se realizaron labores con vertedera siguiendo las distintas direcciones. Para la medición del desplazamiento del suelo se utilizaron trazadores metálicos instalados en la masa del suelo. Una descripción detallada del diseño experimental se presenta en De Alba (1998).

A partir de los datos experimentales se realizó un análisis de regresión para determinar la influencia de la pendiente  $S$  (%) sobre la distancia de desplazamiento del suelo  $d$  (cm). Se determinaron sendos modelos del tipo  $d = f(S)$ , uno para cada patrón de laboreo: a) en la dirección de la pendiente y b) en contorno ([figura 2](#)). Siguiendo el criterio aplicado por Lindstrom *et al* (1992), la pendiente del terreno  $S$  se consideró con signo negativo ( $S < 0$ ) cuando la labor se realizó a favor de la pendiente (cuesta abajo), así como cuando ésta se realizó en contorno pero volteando el suelo a favor de la pendiente; y con signo positivo ( $S > 0$ ) en los dos casos contrarios, para el laboreo cuesta arriba o en contorno pero volteando el suelo lateralmente cuesta arriba ([figura 2](#)). Para ambos modelos de regresión destaca el elevado nivel de significación estadística ( $p < 0.01$ ) con coeficientes de determinación  $R^2$  superiores a 0.94 ([tabla 1](#)). Los resultados indican una fuerte correlación inversa entre la pendiente del terreno y el desplazamiento del suelo (coeficientes  $b$  negativos). En consecuencia, cuando el suelo se moviliza a

favor de la pendiente ( $S < 0$ ) la distancia de desplazamiento aumenta conforme lo hace la inclinación del terreno, mientras que lo contrario ocurre cuando el suelo resulta desplazado en contra de la pendiente ( $S > 0$ ).

En la [tabla 1](#), se comparan los dos modelos establecidos (De Alba, 1998) con otros previos recogidos en la bibliografía, los de Lindstrom *et al.* (1992), Revel *et al.* (1993), Govers *et al.* (1994) y Lobb *et al.* (1995). En la tabla se indican para cada referencia, el intervalo de pendiente del terreno considerado en los experimentos de campo, la profundidad de laboreo aplicada y los distintos parámetros relativos a los modelos: coeficientes de regresión, número de puntos, coeficientes de determinación y significación estadística. En todos los casos los modelos reflejan tendencias generales idénticas, siendo las diferencias entre ellos achacables a las diferentes condiciones experimentales.

## TASAS DE MOVILIZACIÓN DE SUELO

Las correspondencias lineales  $d = f(S)$  obtenidas implican que para una misma pendiente del terreno el desplazamiento del suelo varía dependiendo de la dirección de laboreo. Direcciones opuestas de laboreo suponen pendientes  $S$  de diferente signo. De tal forma que para dos pases de labor consecutivos en direcciones contrarias, se puede calcular un balance neto de desplazamiento de suelo  $dn$  a partir de la diferencia de los desplazamientos ocurridos en ambas direcciones:  $d$  en sentido ascendente (con pendiente =  $S$ ) y  $d'$  en sentido descendente (con pendiente =  $-S$ ). Operando a partir de las ecuaciones de la [figura 2](#) se obtiene:

$$dn = d - d' = \{a + b \cdot S\} - \{a + b \cdot (-S)\} = 2 \cdot b \cdot S \text{ con } dn \text{ y } d \text{ en cm, y } S \text{ en } \%$$

sustituyendo los distintos coeficientes de regresión y tomando valores absolutos, el desplazamiento neto de suelo ladera abajo  $dn$  es igual a:

$$dn = 1.24 \cdot S \text{ (laboreo según la pendiente); y, } dn = 1 \cdot S \text{ (laboreo en contorno)}$$

Si se define la tasa de movilización de suelo  $Q_s$  (kg /m), como la cantidad de suelo que se moviliza a través de una sección de ladera, de dirección paralela a la de las curvas de nivel y longitud  $L = 1$  m, la tasa neta de movilización de suelo ladera abajo  $Q_{sn}$  (kg /m) tras dos pases de laboreo en direcciones opuestas, se obtendrá mediante el producto de la distancia de desplazamiento neto del suelo  $dn$  (m) por la profundidad de la labor  $D$  (0.24 m en los experimentos de campo) y la densidad aparente del suelo previa a la labor  $D_a$

(1370 kg /m<sup>3</sup> en los experimentos de campo), mediante la siguiente expresión de cálculo:

$$Q_{sn} = d_n \cdot D \cdot L \cdot D_a$$

sustituyendo los distintos valores ([figura 2](#)) para los dos patrones de laboreo considerados, se obtiene:

$$Q_{sn} = 4.08 \cdot S \text{ (laboreo según la pendiente); y, } Q_{sn} = 3.29 \cdot S \text{ (laboreo en contorno)}$$

## INFLUENCIA DE LA MORFOLOGÍA DEL TERRENO

Con objeto de visualizar la influencia del relieve sobre la redistribución del suelo por laboreo, se simuló la aplicación de largas series de laboreo sobre un perfil de ladera de morfología compleja ([figura 3](#)). Se utilizó un perfil teórico de ladera de 80 m de longitud, un desnivel máximo de 5 m y una pendiente máxima próxima al 40% ([figura 3c](#)). Como patrón de laboreo se simuló la realización de las labores en la dirección de la pendiente, a lo largo del perfil de la ladera, pero invirtiendo la dirección de laboreo en pases consecutivos. Para realizar los cálculos relativos a la redistribución del suelo se dividió el perfil en celdas cuadradas de 1 metro de lado, de tal modo que las diferencias de altura entre celdas adyacentes fueron utilizadas para calcular la pendiente y con ésta los desplazamientos de suelo entre celdas. Durante el proceso de simulación, en cada una de las celdas las entradas y salidas de suelo  $Q_s$  (kg/m) se repartieron por igual por toda la superficie de la celda y, por lo tanto, también los valores correspondientes de rebajamiento o elevación del nivel superficial. La [figura 3a](#) muestra la evolución del perfil de la ladera después de simular 25 y 50 secuencias de laboreo (considerando dos pases de labor en direcciones opuestas por secuencia). Se observa que la redistribución del suelo por el laboreo da lugar a un progresivo arrasamiento del modelado inicial del perfil de la ladera, mediante la erosión de las partes altas de los interfluvios y la colmatación de las vaguadas. En la [figura 3b](#) se representan las variaciones finales del nivel de la superficie del suelo en cada una de las celdas del perfil de ladera. De acuerdo con los resultados de Lindstrom *et al.* (1992), se observa que la movilización neta de suelo presenta una estrecha relación con la curvatura de la ladera y no con el valor mismo de ésta. Así por ejemplo, los tramos de ladera que presentan una mayor pendiente ([figura 3c](#)) dan lugar a balances netos de desplazamiento de suelo prácticamente nulos, ya que corresponden a tramos de ladera de perfil rectilíneo; mientras que la pérdida neta de suelo se produce en los tramos convexos y su acumulación en

los tramos cóncavos.

La elevada intensidad del proceso queda patente al observar que después de simular tan sólo 50 secuencias de laboreo, en las zonas de interfluvio las pérdidas de suelo llegan a suponer rebajamientos de hasta 75 cm de altura ([figura 3b](#)), mientras que en las vaguadas se obtienen acumulaciones de suelo de hasta 85 cm de espesor.

### **Implicaciones edafológicas: modificaciones del perfil del suelo**

La elevada intensidad de los efectos acumulados de la redistribución de la capa superficial del suelo por las prácticas de laboreo, hacen que éste sea un proceso de extraordinaria magnitud de transformación de los perfiles y paisajes de suelos en los campos agrícolas. No obstante, el efecto final varía de forma notable dependiendo de las características morfológicas iniciales del perfil de suelo.

#### **a) Mezclado e inversión de horizontes.**

En zonas en las que el espesor del horizonte superficial es menor que la profundidad de laboreo, las operaciones de laboreo con vertedera producen un mezclado progresivo de la masa de suelo del horizonte superficial con material procedente de la parte superior del horizonte subyacente (ej. en McKyes, 1985). La [figura 4a](#) muestra un esquema idealizado del proceso. En una primera fase de mezclado, el horizonte superficial *Ap* o capa de labor, muestra zonas bien diferenciadas que corresponden a los dos horizontes genéticos originarios (*A* y *B*; *A* y *C*; o *B* y *C*; en la [figura 4a](#) horizontes *Bt* y *Ck*). Conforme se repiten las operaciones de laboreo, el mezclado sucesivo da lugar a un horizonte más o menos homogéneo, cuyas propiedades serán más similares a uno u otro de los horizontes originales, en función de la proporción de masa de suelo de cada uno de ellos presente en la mezcla.

#### **b) Decapitación y truncamiento del perfil de suelo.**

En términos generales, el truncamiento del perfil de suelo consiste en la pérdida del horizonte u horizontes superficiales del perfil (horizontes *A* y *B*) por erosión, de tal modo que un horizonte que originariamente fuera subsuperficial queda expuesto en superficie. Los resultados de diversas simulaciones del proceso de erosión por laboreo, ponen de manifiesto que las pérdidas netas de suelo, y por lo tanto el truncamiento del perfil, tienen lugar en los tramos de ladera de morfología convexa ([figura 3](#)) y en las zonas de los campos de labor situadas aguas abajo de las lindes entre campos de cultivo adyacentes (De Alba, 2000). La velocidad e intensidad del proceso depende

del patrón de laboreo aplicado, frecuencia de laboreo, características de los aperos utilizados, topografía de la parcela y profundidad de los distintos horizontes del perfil de suelo.

**c) Sustitución de horizontes e inversión de la secuencia de horizontes en el perfil de suelo (formación de falsos suelos truncados).**

En la figura 4b se presenta un modelo idealizado del fenómeno de truncamiento del perfil por sustitución del horizonte superficial. En las zonas de contacto entre unidades cartográficas en las que se presentan distintos horizontes genéticos en superficie, la movilización de la capa de labor ladera abajo, da lugar a una sustitución de la capa superficial de suelo de la unidad situada a menor cota en la ladera. En la figura 4b, en la situación original (arriba) la ladera presenta en el sector superior un suelo truncado con un único horizonte cálcico *Ck* expuesto en superficie y ladera abajo un perfil con la secuencia *Bt-Ck*. El efecto acumulado del arrastre del suelo durante sucesivos episodios de laboreo da lugar al desplazamiento ladera abajo, a lo largo de la capa de labor a modo de cinta transportadora, del material de suelo del horizonte *Ck* de la unidad superior. Cuando el horizonte *Bt* presenta un espesor inferior a la profundidad de laboreo, éste horizonte resulta completamente desplazado ladera abajo y sustituido por material del horizonte *Ck* procedente de la parte alta de la ladera. En consecuencia, el perfil original *Bt-Ck* se transforma en un perfil con un único horizonte *Ck*, y el resultado final equivale al verdadero truncamiento del perfil, aun cuando se puede dar el caso de que en el tramo de ladera concreto no tenga lugar una pérdida neta de suelo, como sucede en los tramos de perfil rectilíneo ([figura 3](#)).

Una segunda situación tiene lugar cuando el espesor del horizonte *Bt* a sustituir es mayor que la profundidad de laboreo ([figura 4c](#)). En este caso, tan sólo se sustituye la parte superior del horizonte *Bt* hasta la profundidad máxima de laboreo, dando lugar a una inversión en la secuencia de los horizontes del perfil respecto a la secuencia original. Material del horizonte cálcico *Ck* queda situado sobre el horizonte *Bt* y el perfil original *Bt-Ck* se transforma en la secuencia *Ck-Bt-Ck*. En este caso, se puede hablar de falsos suelos truncados ya que el horizonte *Ck*, queda expuesto en superficie no por la decapitación estricta de los horizontes superficiales sino por la sustitución de éstos y el enterramiento del perfil de suelo original. La distinción entre éstos y los verdaderos suelos truncados es importante ya que considerar un origen similar para ambos tipos, puede suponer una elevada sobre-estimación de las tasas de pérdida de suelo por erosión cuando se calculan a partir de cartografías de suelos degradados. Desde un punto de vista agronómico, también es importante diferenciar entre ambos tipos de suelos, ya que por ej.

la presencia de un horizonte árgico (*Bt*) enterrado por debajo del horizonte cálcico (*Ck*<sup>®</sup> *Ap*) supone implicaciones importantes respecto a los distintos ciclos de agua y nutrientes, la dinámica física y biológica del suelo y en cuanto a los efectos producidos por las distintas prácticas de manejo.

### **Implicaciones edafológicas: transformación de los paisajes de suelos**

A partir de los procesos anteriormente descritos se puede establecer un modelo conceptual para la transformación de los patrones de distribución de los suelos en los paisajes agrícolas de relieves alomados, como consecuencia de las prácticas de laboreo. La [figura 5](#) presenta la evolución idealizada de una topocatena de suelos tras aplicar  $n$  episodios de laboreo. La catena inicial presenta tres unidades de suelos diferenciadas: una unidad superior con un perfil de suelo truncado y un único horizonte edáfico *Ck*, una unidad intermedia con un perfil parcialmente truncado constituido por dos horizontes *Bt-Ck*, y una unidad inferior con un perfil de suelo completo del tipo *A-Bt-Ck*. El arrastre ladera abajo de la capa de labor da lugar, con independencia del patrón de laboreo aplicado, a una expansión de las zonas que presentan los suelos truncados. En la [figura 5](#), se representa debajo de cada uno de los perfiles inicial y final de la ladera, la correspondiente cartografía en planta de los horizontes genéticos expuestos en superficie.

Los modelos de movilización de suelo representados en la [figura 2](#) permiten predecir de forma cuantitativa la expansión de las zonas degradadas en función del patrón de laboreo aplicado. Tal como se indica en la [figura 5](#), para los cálculos se asume que dicha expansión es equivalente al desplazamiento medio ladera debajo del contacto entre dos unidades cartográficas adyacentes. En la [figura 6](#), se presentan las ecuaciones y monogramas de cálculo para dicha expansión, en los que la distancia de expansión  $d'$  se determina a partir de la pendiente media en el tramo de ladera del contacto entre unidades y del tipo de operaciones de laboreo. Para cada patrón de laboreo, la distancia  $d'$  se obtiene en el monograma a partir de la recta que corresponde al valor medio de la pendiente y del número total de operaciones de laboreo. Así por ejemplo, en una ladera de pendiente del 20%, la aplicación de 50 operaciones de labor da lugar a una expansión media de 6.2 m para el laboreo en la dirección de la pendiente, 5 m para el laboreo en contorno, y más de 25 m en el caso de laboreo siempre repetido a favor de la pendiente. Obviamente, este procedimiento de cálculo produce una estimación grosera de los valores medios de expansión de las áreas degradadas. Una mayor precisión es posible, mediante la simulación de las prácticas de laboreo sobre modelos digitales del terreno de alta resolución y a partir de una cartografía de detalle de las distintas unidades de suelo (De alba, 1999).

Por otro lado, en la [figura 5](#) se observa como en las zonas de contacto entre unidades adyacentes tiene lugar la formación de falsos suelos truncados en los que las secuencias de horizontes en el perfil aparecen invertidas. Sin embargo, estos últimos son indiferenciables en la cartografía de horizontes genéticos superficiales ([figura 5](#)) o por su aspecto cuando son observados directamente en el paisaje. Su identificación requiere de cartografías edafológicas de detalle en las que se describa la variabilidad espacial de la composición y estructura de las secuencias de horizontes en los perfiles de suelo.

## CONCLUSIONES

La redistribución y erosión del suelo (*tillage erosion*) producida por las operaciones de laboreo representa un proceso de transformación de los paisajes de suelos de muy elevada intensidad. Los patrones espaciales de distribución de los suelos degradados en las laderas agrícolas, tan sólo pueden ser explicados como el efecto acumulado de la redistribución del suelo por las prácticas de laboreo, sobrepuesto al de los procesos de erosión hídrica.

La intensidad del proceso muestra una elevada variabilidad en función del patrón de laboreo aplicado, la profundidad de la labor y el número de pases realizados por campaña agrícola. Las pérdidas netas de suelo, que dan lugar al rebajamiento del nivel de la superficie del suelo y al consiguiente truncamiento de los perfiles edáficos, se producen en las partes altas de las laderas y tramos de morfología convexa, mientras que las acumulaciones de suelo tienen lugar en las vaguadas y tramos de morfología cóncava. Las tasas netas de movilización de suelo ladera abajo  $Q_s$  (kg/m) son directamente proporcionales a la pendiente del terreno, alcanzan valores máximos cuando las operaciones de laboreo se realizan siempre a favor de la pendiente, se reducen de manera significativa cuando se invierten las direcciones en operaciones sucesivas de laboreo y son mínimas cuando el laboreo se realiza en contorno. Sin embargo, debido a las limitaciones físicas de la maquinaria agrícola convencional, es precisamente en los paisajes más vulnerables, cuando la pendiente supera el 20%, donde sistemáticamente se aplican los patrones de laboreo que producen una mayor degradación de suelo.

Además del truncamiento de los perfiles edáficos en los tramos de ladera de morfología convexa, otro efecto directo de la redistribución del suelo por el laboreo es la sustitución del suelo de la capa de labor por material procedente de zonas situadas aguas arriba en la ladera. Dependiendo de la morfología del

perfil de suelo, el laboreo puede dar lugar a la sustitución total de los horizontes superficiales y a la inversión de la secuencia original de horizontes (formación de falsos suelos truncados).

Todo ello, pone de manifiesto la necesidad de profundizar en el estudio del proceso de redistribución y erosión por laboreo, así como de sus implicaciones edafológicas, agronómicas, geomorfológicas e hidrológicas.

Desde un punto de vista aplicado, la elevada intensidad del proceso revela la necesidad de reducir de forma drástica la aplicación de las prácticas de laboreo con vertedera en los campos agrícolas situados en laderas con pendiente.

## **Agradecimientos**

A Carlos Lacasta, director de la Finca Experimental La Higuera (CCMA, CSIC), y al personal de dicha finca por su colaboración durante la fase experimental. La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del proyecto No. 164/RN-31 por el Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

## **REFERENCIAS**

De Alba, S. (1998). Redistribución y erosión del suelo por las prácticas de laboreo en laderas cultivadas. En *Investigaciones recientes de la Geomorfología española* (A. Gómez Ortiz y F. Salvador Franch, eds). Soc. Española de Geomorfología, Barcelona, 471-482.

De Alba, S. (1999). A computer model for simulating tillage translocation and tillage erosion using digital terrain models. En *2<sup>nd</sup> International symposium on tillage erosion and tillage translocation*. Catholic University of Leuven, Belgium.

De Alba, S. (2000). Implicaciones geomorfológicas de la redistribución y erosión del suelo por las prácticas de laboreo: Tillage erosion. En *VI Reunión Nacional de Geomorfología*. Sociedad Española de Geomorfología. SEG-Universidad Complutense de Madrid.

Govers, G., Vandaele, K., Desmet, P.J.J., Poesen, J. y Bunte, K.

(1994). The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science*, 45, 469-478.

Lindstrom, M.J., Nelson, W.W., Shumacher, T.E. y Lemme, G.D. (1990). Soil movement by tillage as affected by slope. *Soil & Tillage Research*, 17, 255-264.

Lindstrom, M.J., Nelson, W.W. y Shumacher, T.E. (1992). Quantifying tillage erosion rates due to moldboard plowing. *Soil & Tillage Research*, 24, 243-255.

Lobb, D.A., Kachanoski, R.G. y Miller, M.H. (1995). Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope landscape positions measured using Cs-137 as a tracer. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 211-218.

McKYES, E. (1985). *Soil cutting and tillage*. Elsevier Science Publishers B.V. 217 p.

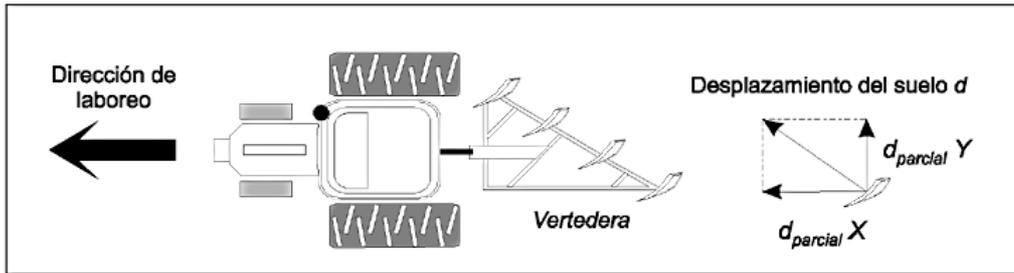
Mech, S.J. y Free, G.R. (1942). Movement of soil during tillage operations. *Agricultural Engineering*, 23, 379-382.

Quine, T.A. y Walling, D.E. (1993). Use of Caesium-137 measurements to investigate relationships between erosion rates and topography. En D.S.G. Thomas y R.J. Allison.(Ed.). *Landscape sensitivity*. John Wiley & Sons Ltd., 31-48.

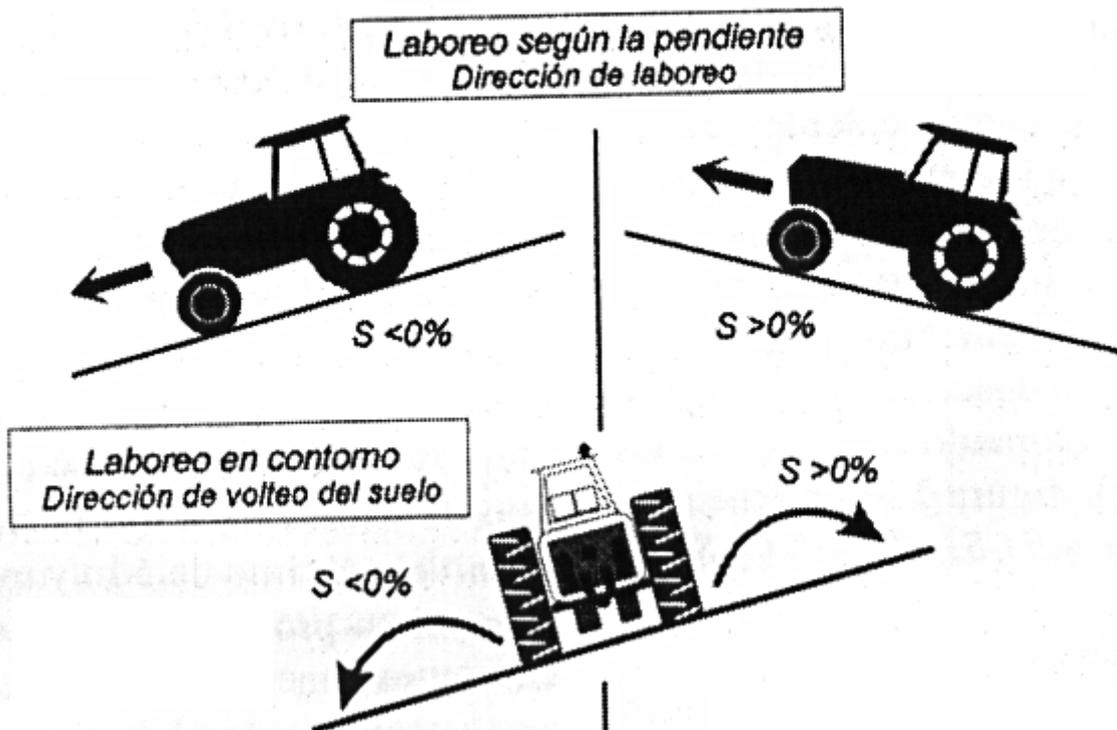
Revel, J.C., Guiresse, M., Coste, N., Cavalie, J. y Costes, J.L. (1993). Erosion hydrique et entraînement mécanique des terres par les outils dans les côtes de sud-ouest de la France. La nécessité d'établir un bilan avant toute mesure anti-érosive. En S. Wicherek (Ed.). *Farm land erosion in temperate plains environments and hills*. Elsevier, 551-562.

Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. *Agriculture Handbook n° 537*. United States Department of Agriculture. Washington, D.C., 58 p.

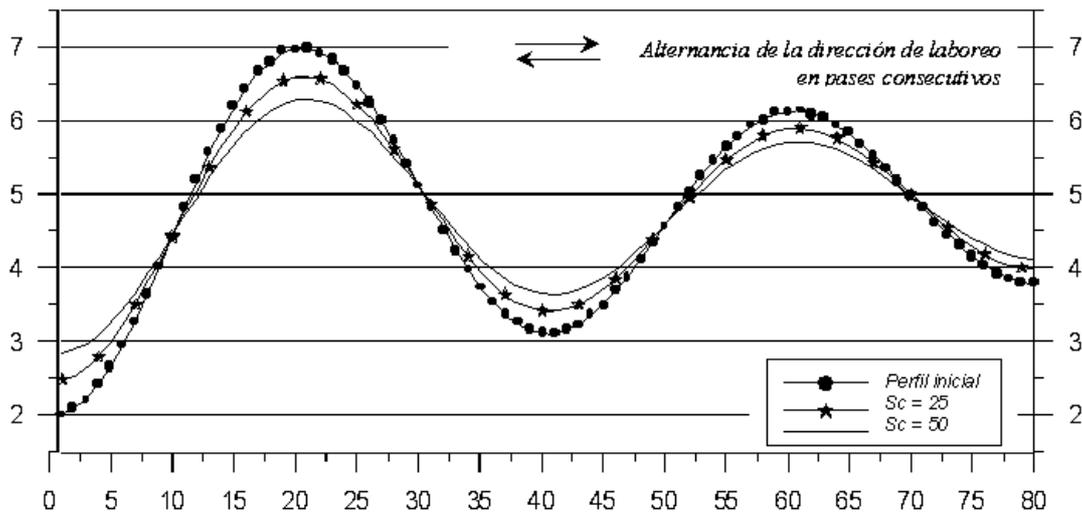
## **FIGURAS Y TABLAS.**



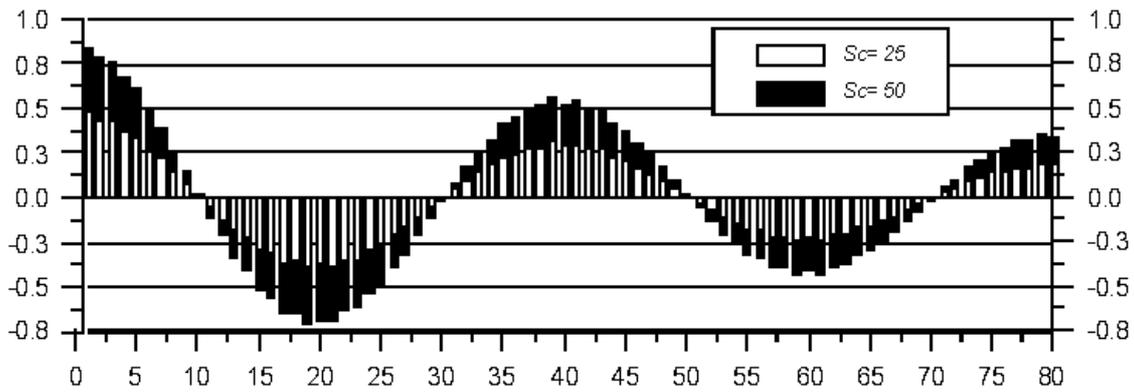
### Erosión por laboreo.



a) Evolución del perfil de ladera: Altura (m)



b) Variación del nivel de la superficie del suelo (m)



c) Pendiente del terreno (%)

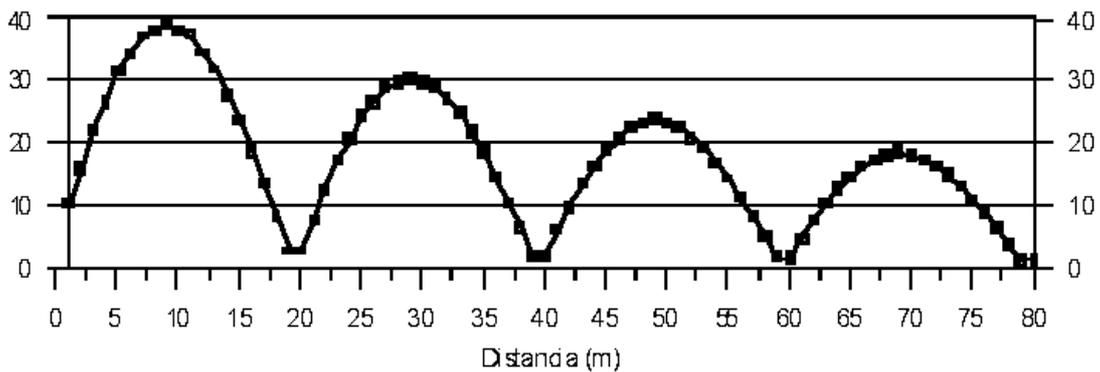


Fig. 3.- Evolución de un perfil teórico de ladera después de simular la aplicación de 25 y 50 secuencias de laboreo.

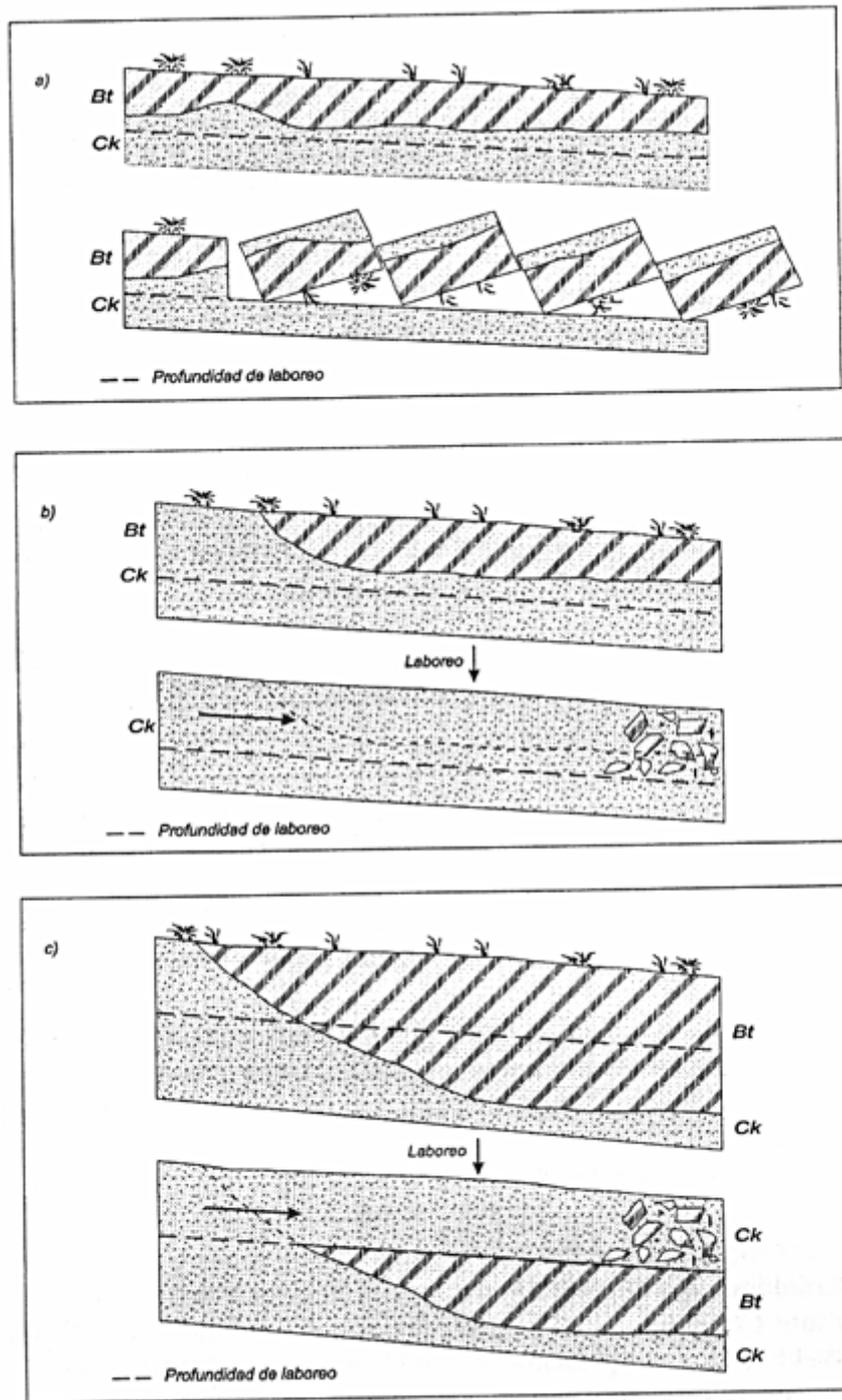
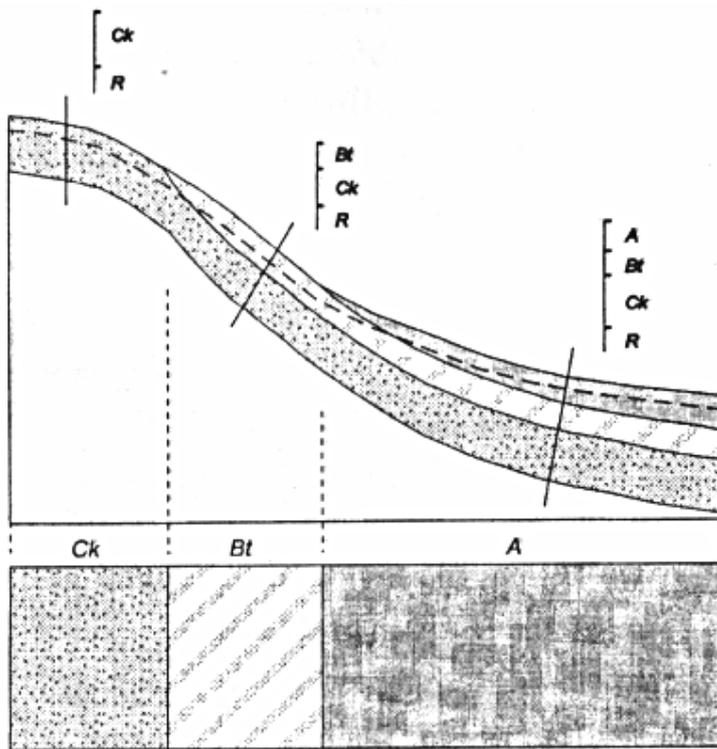


Fig. 4.- Modificaciones del perfil edáfico como consecuencia directa de la redistribución del suelo durante las prácticas de laboreo con vertedera: a) Inversión y mezclado de horizontes; b) Sustitución de horizontes superficiales y c) Formación de falsos suelos truncados.



Cartografía de horizontes genéticos superficiales

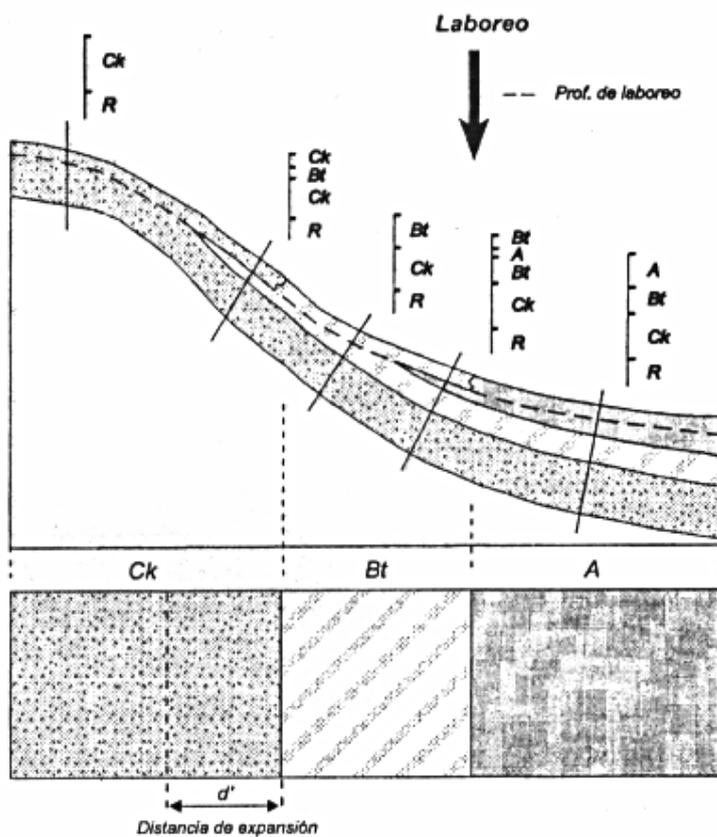


Fig. 5.- Modelo idealizado de la evolución de una topocatena de suelos debido a la redistribución del suelo por las prácticas de laboreo.

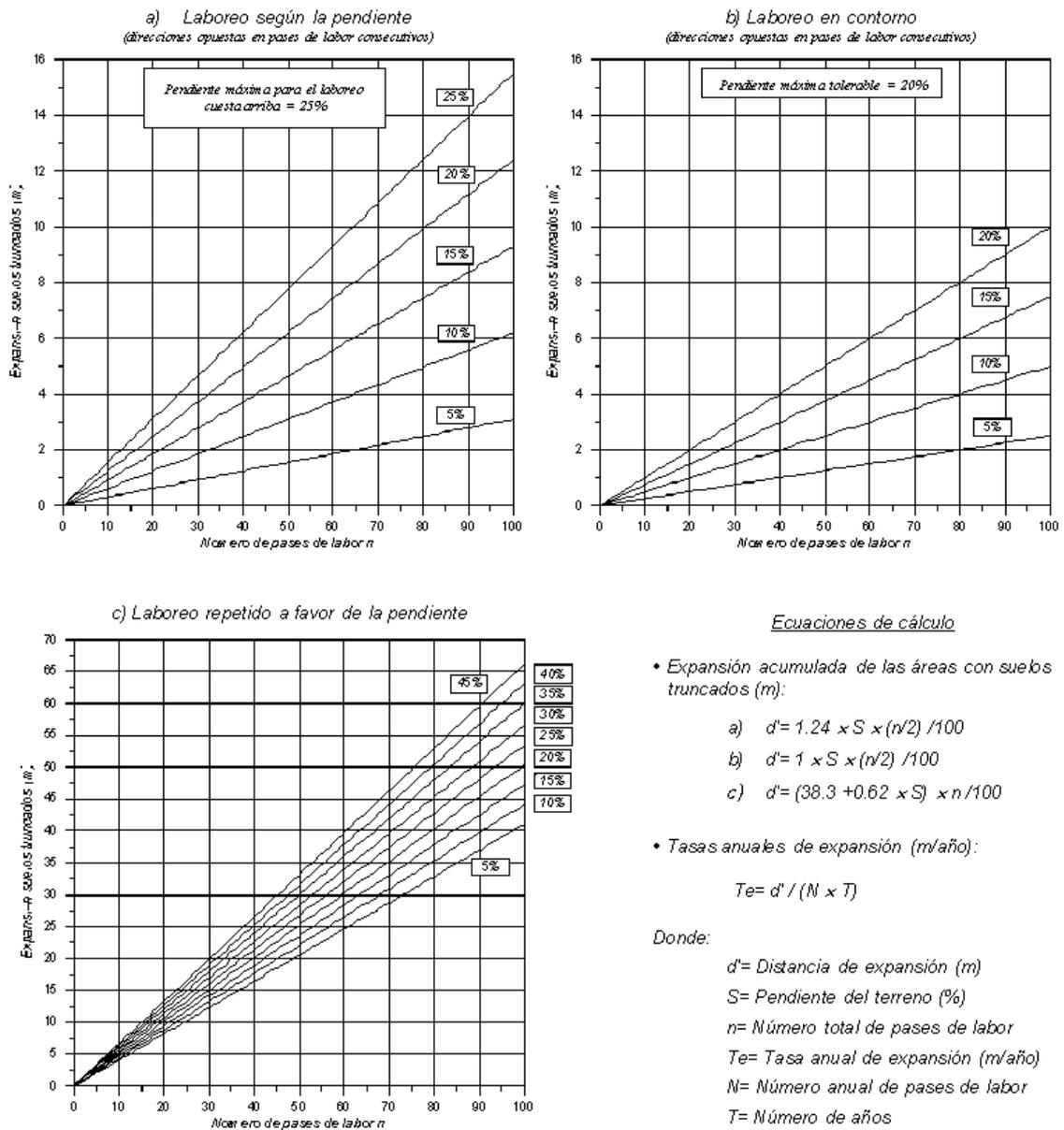


Fig. 6.- Monogramas y algoritmos para el cálculo de la expansión en las laderas de las zonas de suelos truncados como consecuencia de las operaciones de laboreo.

Referencia	Pendiente S (%)	Prof laboreo D (cm)	$d = a + bS$ (cm)				
			a	b	n	R <sup>2</sup>	p
<i>Laboreo en la direcci3n de la pendiente</i>							
Lindstrom <i>et al.</i> (1992)	de -9.4 a 9.4	24	34.2	-1.02	20	0.64	--
Revel <i>et al.</i> (1993)	-18 y 18	27	* 37.4	-0.75	2	--	--
Govers <i>et al.</i> (1994)	de -22.7 a 22.3	28	28	-0.62	12	0.68	--
Lobb <i>et al.</i> (1995)	-5 y 5	15	* 29.4	-0.51	2	--	--
De Alba (1998)	de -30 a 25	24	38.3	-0.62	8	0.94	0.001
<i>Laboreo en contorno</i>							
Lindstrom <i>et al.</i> (1992)	de -14.0 a 12.8	24	44.28	-1.12	20	0.81	--
De Alba (1998)	de -20 a 20	24	41.40	-0.50	5	0.94	0.01

\* Rectas calculadas a partir de los datos publicados por los autores.

Tabla 1.- Modelos  $d = f(S)$  para el desplazamiento del suelo por el laboreo con vertedera.