

PROCESOS QUE CONDUCEN A LA ROTURA DE MUROS EN TERRAZAS DE CULTIVO (NORTE CASTELLÓN)

J. PALLARES BOU

Departamento de Geografía, Univ. de Valencia. Ap. 22060, VALENCIA 46080

Resumen. La rotura de los muros de banales es el momento a partir del cual los procesos de erosión sobre el suelo de la terraza acusan una importante aceleración.

En este artículo se explica que la morfología del muro es la causa última de su inestabilidad y consecuentemente de su desplome. A su vez esta morfología inestable es producto de la deformación progresiva de su estructura original a lo largo del tiempo. Los procesos que se describen y que transforman un muro originalmente estable en otro inestable son básicamente: aumento de volumen por humectación, deslizamiento del material de la terraza, y desalojo de material por escorrentía subsuperficial.

La zona en la que se han realizado las mediciones de perfiles verticales de los ribazos, que sirven de apoyo para las argumentaciones, corresponde a la cuenca del río Bergantes, al norte de la provincia de Castellón.

Palabras clave: cultivos en terrazas, flujo subsuperficial, deslizamiento de tierras, piping.

Abstract. With the breaking of the terrace walls the erosion processes on the terrace soil show an important acceleration.

In this article it is explained how the wall morphology can be the ultimate cause of its instability and, consequently, its fall. Furthermore, this unstable morphology is product of the progressive deformation of the wall original structure along time. The processes described which transform an originally stable wall into an unstable one are basically: volume increase by humidification, terrace material sliding, and material ejection by subsuperficial flow.

The Bergantes basin, in the north of the Castellón province, is the area where the measurements of the embankments vertical profiles, which support the arguments, have been taken.

Key words: cultivation in terraces, subsuperficial flow, mass movements, piping.

1. Introducción

En el ámbito mediterráneo, la agricultura de montaña se ha caracterizado por una ocupación exhaustiva de las laderas en forma de banales o cultivos en gradería. La justificación de este enorme esfuerzo de movimiento de tierra en condiciones de trabajo tan dificultosas está en la disminución de la pérdida de suelo por erosión, el favorecimiento de la infiltración, y hacer más cómodas las labores agrícolas.

El impacto geomórfico que produce la ladera abancalada consiste básicamente en la ralentización de los procesos de pérdida de suelo, que cuando a pesar de todo se producen, el agricultor mismo se encarga de reponer. Sin embargo, actualmente la generalización del proceso de abandono de la actividad agrícola en la montaña, unida al abandono del hábitat disperso, introduce una nueva dinámica, un nuevo factor de impacto que se revela en primera instancia como favorecedor del incremento de la erosión (García-Ruiz 1991), porque el agricultor no está ahí para reconstruir ribazos, sanear los canales de derivación de la escorrentía, etc; pero en segunda instancia como inhibidor de procesos de pérdida de suelo, ya que la vegetación natural coloniza con más facilidad estas superficies planas con buena retención de la escorrentía (García Abril 1990), ejerciendo una protección más eficaz que la proporcionada por los cultivos, cuyo grado de cobertura era discontinuo tanto en espacio como en tiempo.

El objetivo de este artículo es explicar que la rotura o desplome de las paredes de bancales no se debe tanto al efecto súbito de un movimiento de masa o deslizamiento del material de la terraza, sino que obedece a una lenta modificación de la morfología de la pared, causada por una serie de procesos que actúan directamente sobre el suelo del bancale e indirectamente sobre la inclinación del muro. Como consecuencia de esta lenta transformación, se altera la morfología de los muros, que pasan de poseer un perfil estable a ir aumentando su grado de inestabilidad, hasta que se produce el desplome. Con mucha frecuencia el momento del derrumbe coincide con una lluvia más o menos intensa (Arnaez-Vadillo et al. 1992), pero esto no ha de hacer perder de vista que la inestabilidad del muro es la causa real, mientras que la tormenta es tan sólo el desencadenante. Las argumentaciones que se realizan se apoyan en una serie de mediciones de perfiles verticales de ribazos, en explotaciones agrícolas de la cuenca del río Bergantes, al norte de la provincia de Castellón.

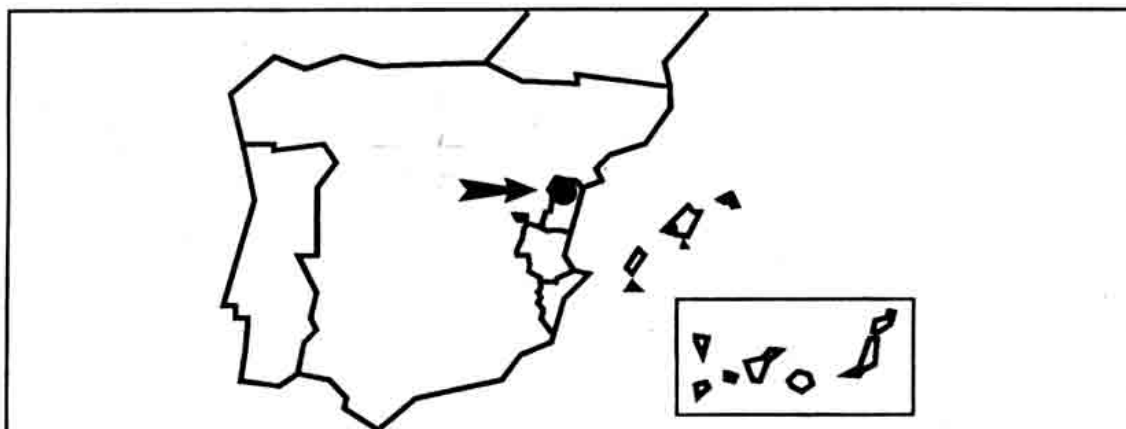


Fig. 1. Situación de la zona de estudio
(Location of study zone)

2. Area de estudio

Las características físicas de la zona (Figura 1) son básicamente la presencia dominante de materiales calcáreos, tanto en forma masiva: calizas jurásicas y cretácicas, como blandas: margas cretácicas. La topografía tiene gran influencia en la efectividad de las precipitaciones, así como en la génesis de los suelos, pues debido a la orografía, con pronunciadas pendientes (Pallarès, 1992), son importantes las escorrentías que inducen potentes efectos erosivos que no permiten el desarrollo de procesos pedogenéticos, abundando los suelos poco desarrollados. El clima corresponde a grandes rasgos con el mediterráneo, pero el alejamiento de la costa así como la altitud tiene ciertas repercusiones: inviernos más fríos (media 3.5°), y veranos más frescos (media 20.5°). Las precipitaciones no cubren el valor de la ETP

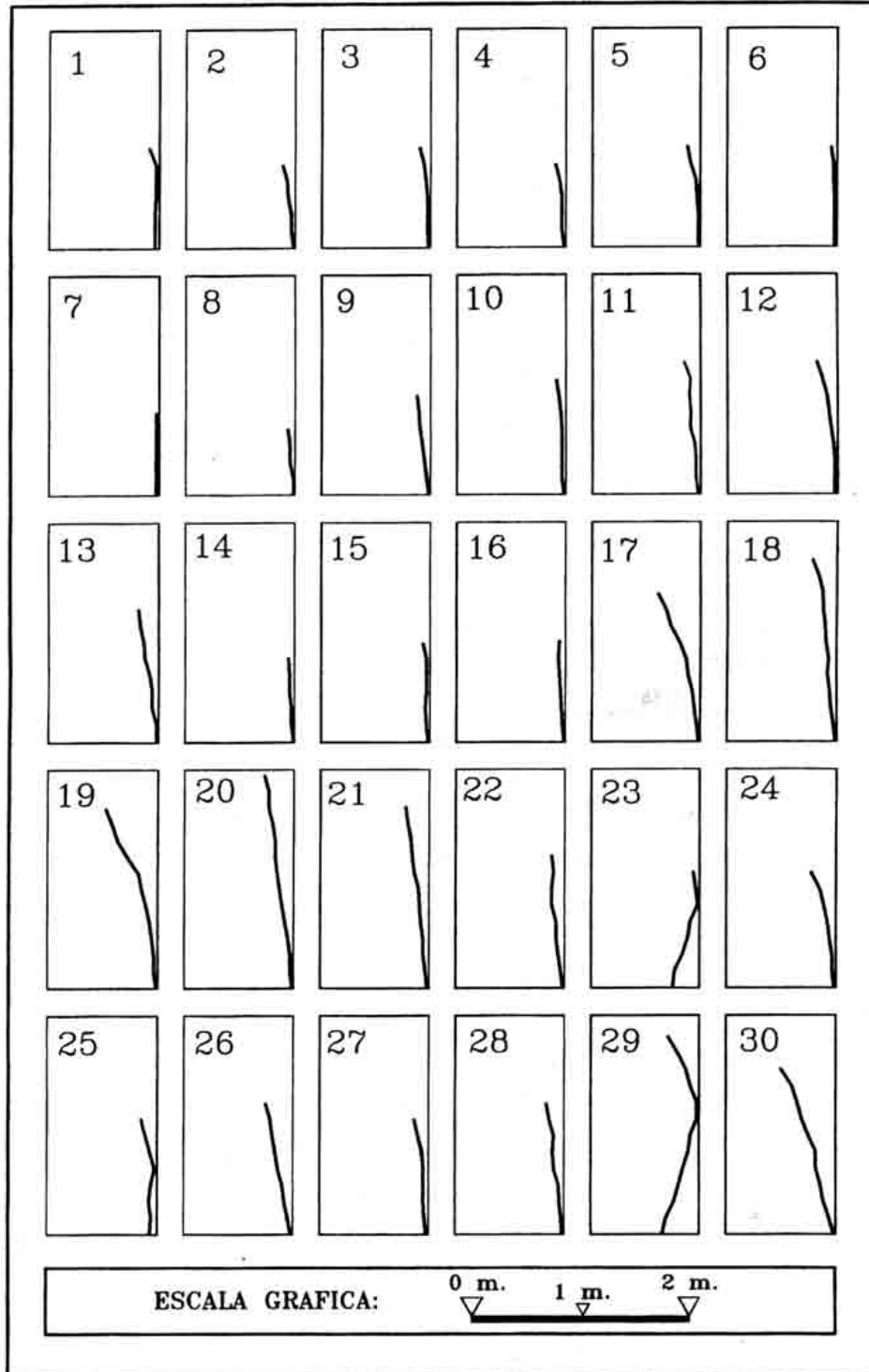


Fig. 2. Representación gráfica de los perfiles verticales de muros
(Graphic representation of vertical bank profiles)

entre Junio y Setiembre, así el déficit acumulado al final del verano está en torno a 250 mm (Quereda, 1976). La vegetación natural está integrada básicamente por tres formaciones: bosques mixtos, matorrales espesos, y matorrales de porte almohadillado. En cuanto a cultivos, predominan en el secano las herbáceas, principalmente gramíneas, y en representación de las arbóreas y las arbustivas, el almendro y la vid, aunque éstas tengan en las heladas primaverales un importante factor limitativo.

3. Metodología y toma de datos

La serie de mediciones que se presentan consiste en 30 perfiles verticales de ribazos, que se agrupan en cuatro vaguadas correspondientes a otras tantas unidades de explotación agrícola, con el fin de que exista cierta garantía de que la construcción de los bancales se ha realizado bajo condiciones de fabricación homogénea y no demasiado distante en el tiempo.

A su vez en cada cuenca se han elegido los tramos de muros sobre los que se ha realizado cada medición. La elección de los tramos se ha llevado a cabo con el siguiente criterio:

- Tramos estables: Aquellos en los que no encontramos ninguna rotura en 30 ó 32 m como mínimo.
- Tramos inestables: Aquellos en los que existe más de una rotura cada 15 m.

El total de perfiles medidos sobre tramos estables es de 10, y sobre tramos inestables 20. Dentro de cada tramo, la elección de los puntos sobre los que se ha efectuado una medición se ha regido por estos criterios: primero registrar la máxima variedad de formas (de ahí la mayor proporción de perfiles inestables) y en segundo lugar, hemos elegido los puntos donde esta alteración es más acusada. La inconveniencia en este caso del muestreo aleatorio se fundamenta en que para poder aislar las características esenciales de los ribazos manifiestamente estables o inestables era necesaria una elección totalmente condicionada. Téngase en cuenta esta aclaración cuando se expresen los porcentajes sobre la tipología de los perfiles.

Los perfiles de las paredes han sido levantados en campo con intervalos de 15 cm sobre el eje de ordenadas (Figura 2).

4. Análisis de las formas

En el análisis de los perfiles se han descartado los 15 cm de la base y techo de las paredes por cuanto que estas partes presentan una irregularidad morfológica debida a las labores agrícolas y al pastoreo. Posteriormente los perfiles se han dividido en dos segmentos rectilíneos correspondiendo el primero a los 45 cm inferiores y el segundo al resto del muro.

Dividiendo la inclinación del segmento inferior por la del superior se ha obtenido una variable sin dimensión a la que denominamos Indicador de Estabilidad.

El valor del Indicador de Estabilidad para un muro de construcción reciente se mantiene entre 1 y 0.95, como corresponde a una morfología de máxima estabilidad, esto es, un segmento de arco de forma que en su parte alta (aproximadamente a los dos tercios de la altura del muro) el perfil se aproxima a la vertical (en el lenguaje del oficio se decía "aplomado"); mientras que por su parte baja la inclinación disminuye conforme se acerca a la base, con un valor medio de 85° a un tercio de la altura del ribazo medida desde la base.

Si observamos los valores del Indicador de Estabilidad de los perfiles medidos, constatamos que generalmente cifras mayores a 1.2 pertenecen a perfiles de tramos inestables (Figura 3). Contabilizando el número de perfiles por encima y por debajo de este valor límite, tenemos que si un perfil tiene un Indicador de Estabilidad mayor de 1.2, hay una posibilidad del 83.34 % de que pertenezca a un tramo inestable (Figura 3).

El procesamiento de los datos numéricos corrobora algunas observaciones que se desprenden de la representación gráfica de los perfiles; por ejemplo la homogeneidad de las formas de los ribazos estables frente a la variedad de los inestables. Así tenemos que el cálculo de la desviación estándar hallada para la inclinación de los perfiles estables se encuentra en torno a 3° (2.89° en el segmento inferior y 3.01° en el segmento superior); mientras que en los inestables, el valor es tres veces mayor, en torno a 9° (8.41° en el segmento inferior y 9.47° en el superior). El cálculo de la desviación típica para el valor de los indicadores

Nº PERFIL	ESTABILIDAD DEL TRAMO	ALTURA DEL MURO	INCLINACION SEG. INFERIOR	INCLINACION SEG. SUPERIOR	INDICADOR INESTABILIDAD
1	TRAMO INESTABLE Más de 1 rotura cada 15 m	90 cm	91.9°	54.1°	1.7
2		75 cm	84.3°	66.7°	1.26
3		90 cm	90.0°	77.8°	1.15
4		75 cm	90.0°	60.5°	1.49
5		90 cm	88.1°	72.9°	1.21
6		90 cm	90.0°	75.1°	1.20
7		75 cm	90.0°	70.3°	1.28
8		60 cm	84.3°	63.4°	1.33
9	TRAMO ESTABLE Menos de 1 rotura cada 32 m	90 cm	82.4°	77.8°	1.06
10		105 cm	90.0°	73.3°	1.23
11		120 cm	88.1°	82.4°	1.07
12		120 cm	88.1°	78.7°	1.12
13		120 cm	82.5°	77.0°	1.07
14	TRAMO INESTABLE Más de 1 rotura cada 15 m	75 cm	86.2°	78.7°	1.09
15		90 cm	90.0°	71.6°	1.26
16		90 cm	86.2°	63.5°	1.36
17		135 cm	82.4°	58.2°	1.42
18		165 cm	84.3°	68.5°	1.23
19		165 cm	86.2°	62.2°	1.38
20	TRAMO ESTABLE Menos de 1 rotura cada 32 m	195 cm	86.2°	80.6°	1.07
21		165 cm	86.2°	78.7°	1.09
22	TRAMO INESTABLE Más de 1 rotura cada 15 m	120 cm	82.4°	73.4°	1.12
23		105 cm	111.7°	53.9°	2.07
24		105 cm	86.2°	69.9°	1.23
25		105 cm	90.0°	66.7°	1.35
26	TRAMO ESTABLE Menos de 1 rotura cada 32 m	120 cm	80.5°	80.6°	1.00
27		105 cm	88.1°	80.5°	1.09
28		120 cm	85.2°	71.6°	1.19
29	TRAMO INESTABLE Más de 1 rotura cada 15 m	180 cm	111.5°	37.3°	2.99
30		150 cm	75.1°	62.2°	1.2

Fig. 3. Datos numéricos de los perfiles medidos
(Numerical information of measured profiles)

de estabilidad aún es más significativa: en los estables es de 0.06° , y en los inestables de 0.42° , es decir siete veces mayor, lo cual interpretamos como consecuencia de que cada tramo inestable se encuentra en una fase diferente de alteración morfológica.

Observación de la representación gráfica de los perfiles

La característica común de los perfiles medidos (Figura 2) en tramos estables es la de que el valor del Indicador de Estabilidad es menor de 1.2, encontrándose la mayor parte de ellos en torno al valor 1.

En los perfiles medidos en tramos inestables observamos estas características:

- El indicador de estabilidad es mayor de 1.2
- En una proporción considerable de ellos (65%), aproximadamente a la mitad de la altura del perfil se produce una ruptura de pendiente que separa dos segmentos con inclinaciones marcadamente diferentes.

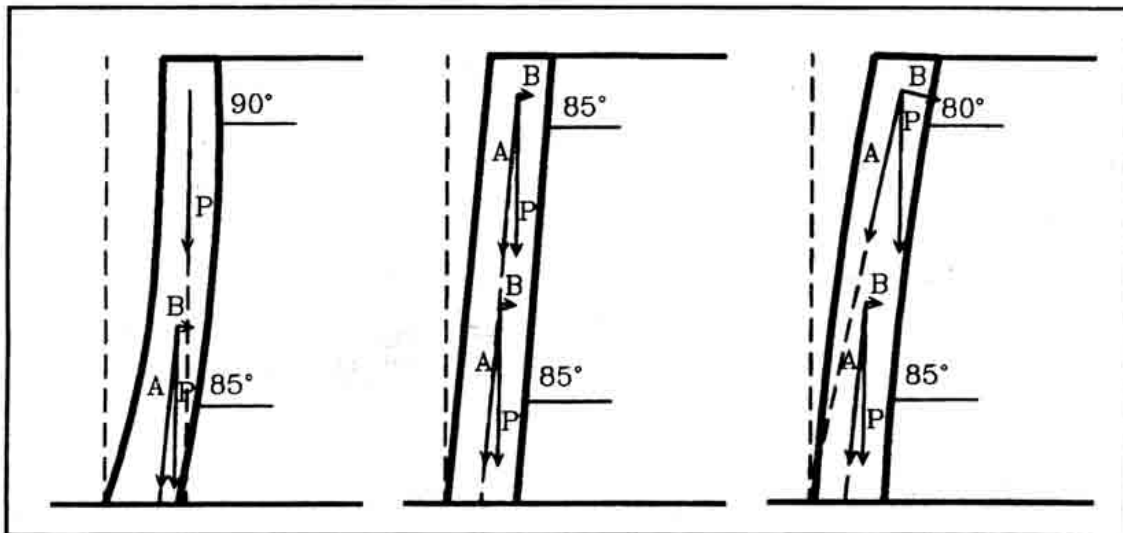


Fig. 4. Sistema de fuerzas en muros estables
(System of power in stable profiles)

Las tipologías en las que podemos clasificar el conjunto de perfiles son los siguientes:

GRUPO A. Perfiles estables. Su característica es la referida anteriormente.

GRUPO B. Perfiles inestables que muestran disminución de inclinación en segmento superior. Se caracterizan porque el segmento inferior mantiene una inclinación semejante a la de los perfiles estables, pero el segmento superior ofrece una inclinación sensiblemente menor. Los perfiles que cumplen estos condicionantes son: 2,4,8,14,16,17,18,19,24 y 30 (50% de los perfiles Inestables).

GRUPO C. Perfiles inestables que muestran aumento de inclinación en segmento inferior. Puede darse "abombamiento" o "pandeo" cuando el segmento inferior tiene una inclinación mayor o igual a 90° . Dentro del grupo C tenemos los perfiles 1, 3, 5, 6, 7, 15, 25, 27, y 29 (45%), de los cuales el 1, 3, 15, y 29 evidencian abombamiento.

5. Análisis de la estabilidad de los muros

En este apartado se trata de justificar de forma teórica, que existe una relación directa entre la inestabilidad de un tramo de pared de bancale, determinada a priori por el número de roturas por unidad de longitud, y la morfología de los perfiles. Para ello identificamos cada una de las fuerzas que intervienen en un muro, considerando para simplificar que las fuerzas laterales que se ejercen las piedras se anulan unas a otras, con lo que el resto de fuerzas actuantes estarán contenidas en el mismo plano.

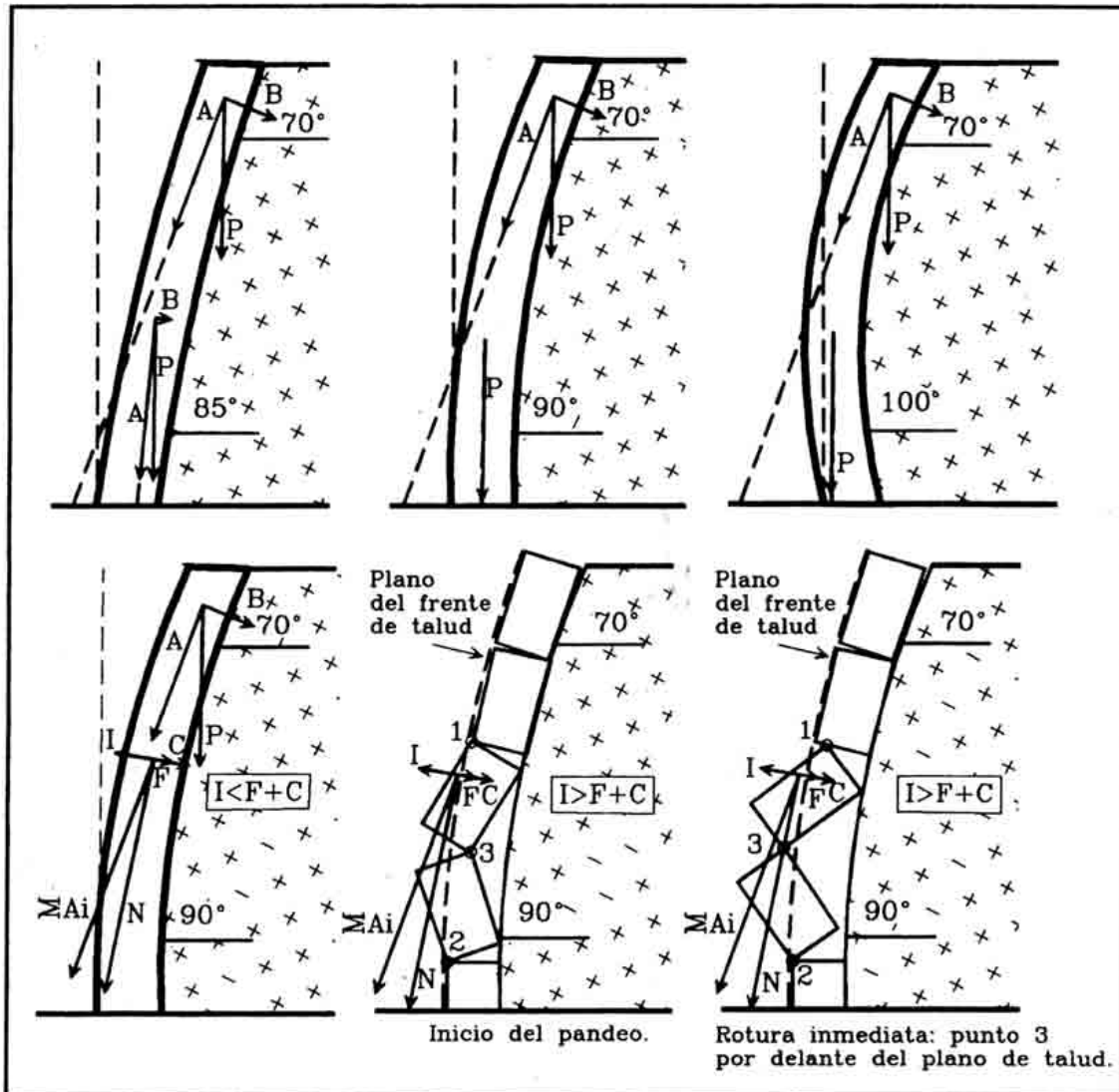


Fig. 5. Sistema de fuerzas en muros inestables. Mecanismo de desmoronamiento por pandeo o abombamiento (System of power in unstable profiles. Sagging mechanism of the bank wall)

Sistema de fuerzas en perfiles estables.

Podemos describir las siguientes fuerzas (Figura 4):

La fuerza P debida al peso de cada sector del muro se descompone como la suma vectorial de:

- Fuerza B, perpendicular al muro, que queda anulada por la fuerza de reacción que opone la superficie interna del bancal.
- Fuerza A, paralela o tangente al muro (según consideremos el perfil como un conjunto de tramos rectos o como una línea curva), cuya prolongación debe caer dentro de la base del ribazo, para que sea anulada por la fuerza de reacción que ejerce el suelo.

La fuerza F de fricción, generada por la resistencia al movimiento de las piedras de la pared con respecto a la superficie de deslizamiento interna del bancal. Tiene la misma dirección y sentido opuesto a la fuerza que empuja al cuerpo, en este caso A.

La fuerza C de cohesión de la pared, debida a que la disposición de los sillares se realizó durante su construcción buscando el mayor asiento entre ellos. C se opone, igual que F, a cualquier fuerza que tienda a modificar la forma de la pared. Su módulo dependerá de las dimensiones, forma y ajuste de las piedras que forman el ribazo.

El sistema así descrito está en equilibrio; a cada fuerza le corresponde otra de igual módulo y dirección, pero sentido opuesto.



Fig. 6. Tramo de ribazo con manifestación crítica de abombamiento (Strech of bank with critical manifestation of sagging)

Sistema de fuerzas en perfiles inestables

En los muros inestables el sistema de fuerzas no está en equilibrio porque la dirección de la fuerza A, prolongada hasta el suelo, se aleja de la base, con lo cual deja de estar compensada (Figura 5). ¿Cuál será la dirección de la componente de A que tenderá a desestabilizar el perfil? ¿de qué factores dependerá su módulo?

Observamos primeramente que en gran parte del segmento inferior las prolongaciones de las fuerzas A continúan estables dentro de la base de la pared, mientras que en el segmento superior dejan de serlo. Distinguiremos pues entre una parte estable y una inestable.

Traslademos las fuerzas A del segmento inestable sobre un mismo punto. La suma vectorial de las fuerzas A inestables (ΣA_i) tendrá una dirección cuya prolongación continuará siendo exterior a la base de la pared.

De la descomposición vectorial de la fuerza ΣA_i (Figura 5) obtenemos por un lado la fuerza N, que es paralela o tangente al perfil del muro y que queda anulada porque su prolongación se mantiene en la base del muro. Y por otro lado la fuerza I, cuya dirección es perpendicular al perfil, y sentido hacia la parte exterior del mismo (Ayala Carcedo et al. 1987).

$$I + N = \Sigma A_i$$

Con la aparición de la fuerza I, el sistema estable inicial se desequilibra y es ahora cuando es necesaria la participación de las fuerzas F de fricción y C de cohesión como elementos estabilizadores para poder explicar la existencia de muchos de los perfiles medidos. Como las fuerzas F y C se oponen directamente a cualquier movimiento, se puede escribir:

$$I \leq F + C$$

En el momento en que el módulo de I sea mayor que F y C la rotura es inevitable.

Cuando existe abombamiento o pandeo (Figura 6), el sistema de fuerzas es idéntico al descrito en lo que respecta al segmento del perfil con inclinación menor de 90°, pero en el segmento con ángulo mayor de 90° encontramos que:

La fuerza F es nula porque la fricción depende del coseno del ángulo, y a partir de 90° es negativo.

Al no existir apoyo del muro sobre el talud, la fuerza P no se descompone en A y B, con lo cual cuando la prolongación de P no recae en la base, ésta se invierte íntegramente en desequilibrar la pared.

Como se ha mostrado, el momento crítico del derrumbe está determinado por la relación

$$I = F + C$$

ésta es muy probable que ocurra durante una precipitación, ya que el agua humedece tanto el suelo como las piedras que componen la pared. El coeficiente de rozamiento entre superficies húmedas es sensiblemente menor que en estado seco, con lo cual la disminución de F, si es en grado suficiente, conllevará directamente el desplome.

La presencia de agua en el interior del talud introduce además otros factores de inestabilidad:

- el contenido alto de humedad aumenta el peso del terreno
- el agua al congelarse durante el invierno da lugar por un lado al ensanchamiento de las discontinuidades y al aumento general del volumen del terreno, y por otro bloquea los poros y conductos de drenaje subsuperficiales, induciendo una rápida saturación.
- si la presión intersticial del agua alcanza un valor límite se produce la licuefacción de ciertos materiales no cohesivos.
- da lugar a la aparición de presiones intersticiales: el terreno queda dividido en dos zonas con presión intersticial negativa y positiva, siendo el límite entre ellas la superficie del nivel freático, en la cual la presión del agua es igual a la atmosférica.

Las presiones intersticiales negativas incrementan la cohesión o el esfuerzo de resistencia al corte, con lo que mejora las condiciones de estabilidad, mientras que en la zona con presión positiva la presión del agua incrementa las fuerzas que tienden al deslizamiento.

6. Procesos que conducen a la modificación de la forma del muro

Aumento de volumen por humectación

Durante las lluvias el suelo que constituye el bancal, con su componente arcillosa o margosa, aumenta de volumen al humedecerse. En consecuencia la pared, que se apoya en el talud, sufrirá una deformación. En el siguiente período seco, el material expandido por la humedad recuperará su volumen inicial. Si el muro no tiene una estructura suficientemente elástica como para acomodarse a la nueva situación, se crearán unos espacios vacíos entre la pared y la superficie de contacto con el terreno. Estos huecos se rellenarán bien por propio asentamiento del suelo o bien durante los primeros momentos de una tormenta, al ser ocupado por material arrastrado de capas superiores. Si la humectación es suficientemente efectiva, se producirá una nueva expansión del material, deformando un poco más la pared y volviéndose a iniciar el ciclo, el cual se podría sintetizar según estas fases (Figura 7):

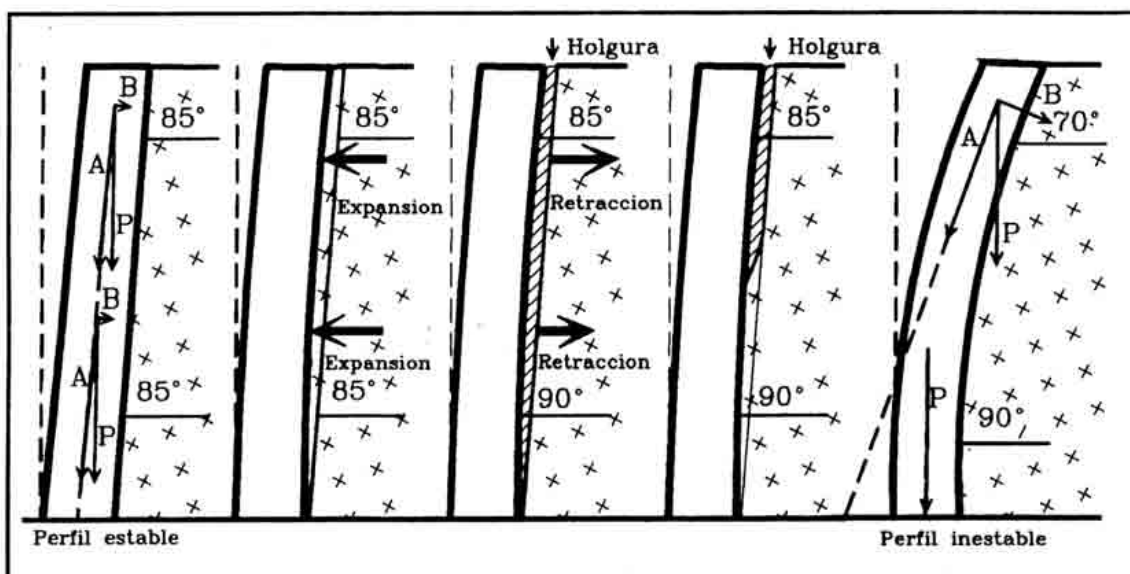


Fig. 7. Modificación del perfil del muro debida a ciclos de expansión y retracción del terreno
(Modification of the wall profile owing to expansion and retraction cycles of soil)

- 1° perfil inicial estable
- 2° expansión de las arcillas y margas durante una tormenta
- 3° deformación de la pared
- 4° retracción del material durante un período seco: generación de holguras entre pared y talud
- 5° desaparición de holguras por asentamiento del suelo o por traslado de partículas desde capas superiores durante las lluvias
- 6° nueva expansión por humectación

El resultado del proceso al cabo de los años es un aumento de inclinación (que puede llegar al abombamiento), en la parte inferior del muro, y una disminución en la parte superior. Las condiciones necesarias para que se dé este tipo de proceso son:

- propiedades expansivas del suelo del bancale
- sucesión de períodos secos y húmedos

Deslizamiento del terreno del talud

El deslizamiento se define como un movimiento descendente y más o menos rápido de una masa de suelo o roca. La masa desplazada lo hace en principio rígidamente, aunque puede fragmentarse en fases posteriores. El desplazamiento puede ser de unos pocos centímetros o llegar a ocasionar la destrucción completa del talud.

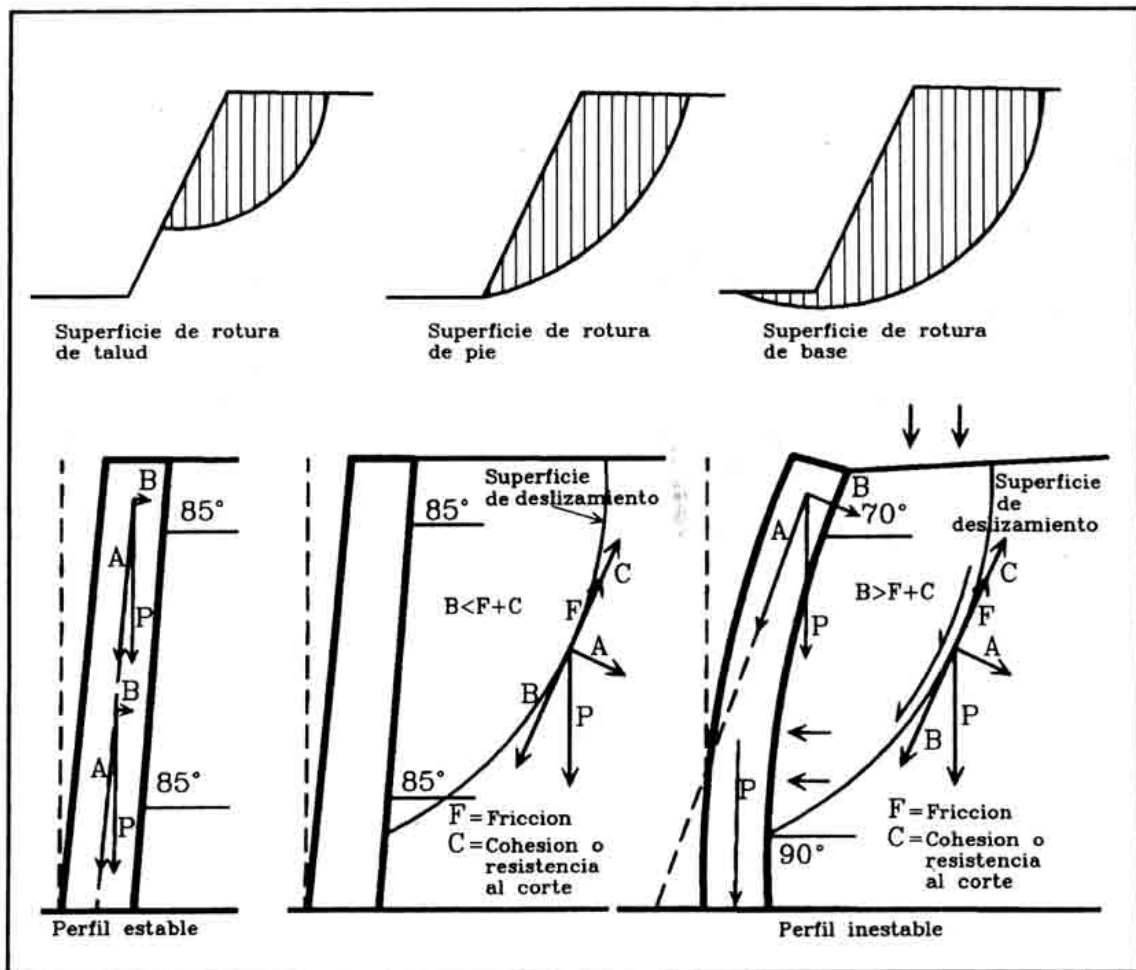


Fig. 8. Modificación del perfil del muro debida a deslizamiento del terreno en el talud
(Modification of the wall profile owing to a sliding of the slope)

Los deslizamientos pueden ser traslacionales, cuando el mecanismo del movimiento se inicia por una rotura en cizalla, es decir, a lo largo de una superficie plana. Suelen estar controlados por discontinuidades (estratificación, diaclasas, etc), por lo cual se desarrollan generalmente en terrenos rocosos, con interfases bien marcadas.

En los deslizamientos rotacionales, que son los que afectan principalmente a nuestro caso, la superficie de rotura es curva: esférica o cilíndrica, produciéndose un giro de la masa inestable alrededor de un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada (Figura 8).

La rotación implica hundimiento o inclinación a contrapendiente en la cabecera, y elevación o abombamiento en el pie. La consecuencia en la morfología del muro será por un lado una presión que abomba la pared en su parte inferior, y por otro la disminución de la inclinación en la parte superior.

Desalojo de material por escorrentía subsuperficial

El suelo del bancal está formado por partículas sólidas con poros interconectados que permiten al agua fluir a través de ellos hacia lugares de menor potencial hidráulico. La permeabilidad es el factor que regula la filtración de agua a través de los poros. En general, la permeabilidad en sentido horizontal es mucho mayor que en sentido vertical (Terzagui & Peck, 1973), sobre todo en depósitos detríticos, en los que el agua circula por las capas de material más grueso.

La litología del bancal es muy importante porque controla si el agua va a permanecer empapando el material o va a continuar su camino descendente hasta alcanzar el nivel freático. Si el medio es permeable, las partículas de agua fluyen a través de los poros según unas líneas de flujo o de corriente. Estas líneas de flujo seguirán una dirección perpendicular a las superficies equipotenciales, las cuales delimitan volúmenes de suelo con igual altura piezométrica.

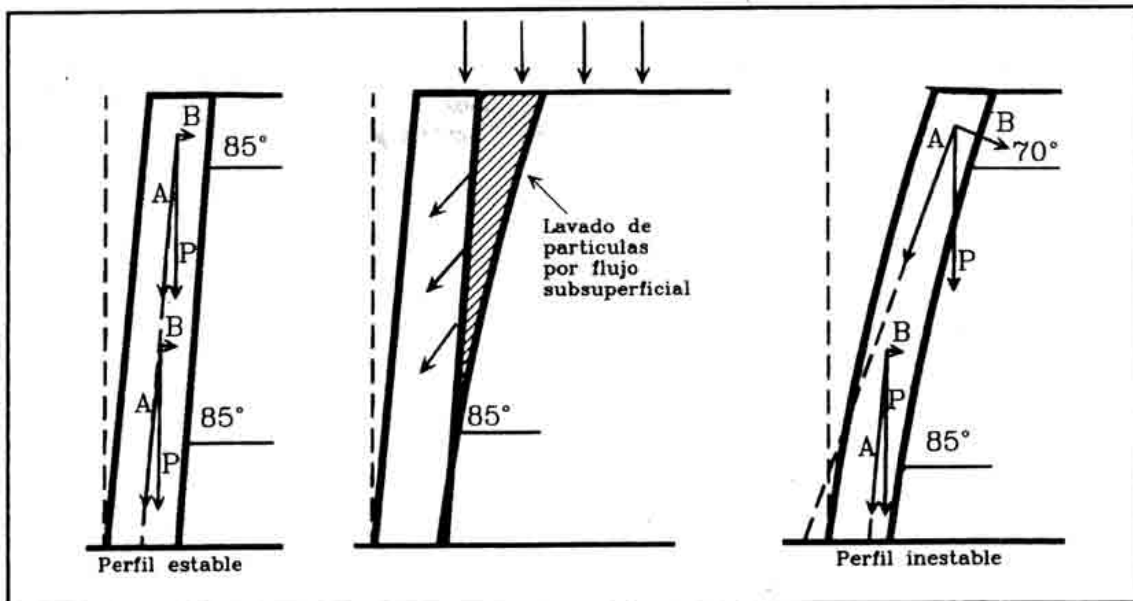


Fig. 9. Modificación del perfil del muro debida a desalojo de material del talud por flujo subsuperficial (Modification of the wall profile owing to material ejection as a result of subsurface flow)

En las laderas abancaladas, el flujo subsuperficial no queda interrumpido por la pared del banal. El drenaje del agua a través de las piedras que lo componen está garantizada por los intersticios existentes entre ellas. La red de flujo subsuperficial se densifica en las proximidades de la superficie de contacto entre el terreno y el muro (Whipkey & Kirkby, 1980); la consecuencia de esto es que la capacidad de arrastre de material en esta zona es mayor, ocasionando un lavado de partículas. La disminución de volumen detrás de la pared producirá la progresiva deformación de la misma, que se acomoda a la nueva morfología del talud. Este proceso, prolongado en el tiempo conlleva la transformación de un muro morfológicamente estable en otro inestable y propenso al desmoronamiento (Figura 9).

En ocasiones el lavado de material por el flujo subsuperficial evoluciona, como hemos podido constatar en algunos casos, produciendo fenómenos de "piping" o erosión interna del terreno, en los que se forman canales verticales y horizontales, en algunos casos con colapsamiento, con la característica común de discurrir paralelos y próximos al ribazo. En estos casos, junto a la base de la pared se observan los puntos de desagüe de estos canales, cuya escorrentía, mucho más concentrada que la del flujo subsuperficial común, erosiona la superficie de la terraza inferior, produciéndose un socavamiento de la base del muro, dando lugar a un nuevo factor de inestabilidad.

7. Conclusiones

A partir del estudio realizado se pueden extraer las siguientes consideraciones:

1. La función de los muros de los banales es la de proteger de la erosión la superficie del talud. De esta forma, las piedras que lo conforman, apoyadas sobre el terreno, desorganizan la escorrentía superficial impidiendo la formación de cárcavas en el talud. Es inexacta la idea de que las paredes de los banales tienen como función principal la contención del empuje del terreno del talud: por su propia estructura, (sillares irregulares unidos sin cemento), el clásico ribazo es incapaz de sostener poco más que su propio peso, con lo cual la defensa que proporciona contra los deslizamientos es muy reducida.

2. Excepto en los casos de deslizamiento del terreno del talud, el desmoronamiento de muros de banales puede ser explicado exclusivamente como consecuencia de la propia morfología inestable de la pared, sin que sea necesaria la participación de empujes externos provenientes del terreno adyacente. Es ilustrativo de ello observar con cuánta frecuencia encontramos en el campo que los desmoronamientos recientes de ribazos conservan casi intacto el talud en el que se apoyaban.

3. El Indicador de Estabilidad de un perfil de pared (expresado como la relación entre la inclinación del segmento inferior del perfil y la del segmento superior) refleja de forma sencilla pero bastante aproximada el grado de inestabilidad de la pared. Valores entre 0.9 y 1.1 caracterizan a los tramos estables; a partir de valores superiores a 1.2 encontramos los tramos de muro propensos al desplome; y con cifras de más de 1.7, aquellos con deformaciones tales que implican abombamiento o pandeo en su parte central.

4. Originalmente las paredes de banales se construyen buscando la mayor estabilidad. La transformación de una pared con perfil estable en otra con perfil inestable es consecuencia de un proceso lento y progresivo que puede tener las siguientes causas:

- A. Aumento de volumen por humectación. Consiste en una secuencia basada en ciclos de expansión y retracción de materiales arcillosos y margosos.
- B. Deslizamiento del terreno del talud. Se basa en la propensión al desplazamiento de una porción del terreno que forma el banal.
- C. Desalojo de material por escorrentía subsuperficial. El flujo de agua por el interior del talud, condicionado por el gradiente de presión hidrostática durante una tormenta, genera un lavado de partículas en la superficie de contacto entre pared y talud cuya consecuencia es una paulatina disminución de la pendiente de la pared que se acomoda a la nueva morfología del talud. La evolución de este flujo interno origina en algunos casos fenómenos de piping próximos al muro.

Agradecimientos

Este artículo se ha redactado durante el período de disfrute de una beca para Formación de Personal Investigador de la Conselleria d'Educació i Ciència de la Generalitat Valenciana.

Se agradece la ayuda proporcionada por los miembros del Dep. de Geografía de la Univ. de Valencia y particularmente a Adolfo Calvo por su labor de revisión y de asesoramiento metodológico.

Referencias bibliográficas

- Arnáez-Vadillo, J.; Ortigosa-Izquierdo, L. & Oserin, M.** (1992): Descripción y cuantificación de procesos de erosión en bancales abandonados. *Actas de la II Reunión Nacional de Geomorfología*. Murcia.
- Ayala Carcedo, F.J.; Andreu Posse, F.J. et al.** (1987): *Manual de taludes*. IGME. Madrid. 456 pp.
- Calvo Cases, A.** (1987): *Geomorfología de laderas en la montaña del País Valenciano*. Edicions Alfons el Magnànim. IVEI. 304 pp.
- García Abril, A et al.** (1990): La destrucción de la cubierta vegetal y los procesos de degradación. *Seminario Problemas ambientales de la región mediterránea*. UIMP. Valencia.
- García-Ruiz, J.M.** (1991): Consecuencias ambientales del abandono agrícola. *Seminario Procesos de desertificación en condiciones ambientales mediterráneas*. UIMP. Valencia.
- Pallarès Bou, J.** (1992): *Mapa Geomorfológico de Morella*. Escala 1:50.000. IVEI. Valencia. 39 pp.
- Quereda Sala, J.** (1976): *El clima de la provincia de Castellón*. Diputación provincial de Castellón. 112 pp.
- Terzagui, K. & Peck, R.B.** (1973): *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*. Ed. El Ateneo. Buenos Aires.
- Whipkey, R.Z. & Kirkby, J.** (1980): Flow withing the soil. *Hillslope hidrology*. Kirkby & John Wiley ed. Interscience.Publication.