

IV Reunión de Geomorfología
Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds.
1996, Sociedad Española de Geomorfología
O Castro (A Coruña)

CONSIDERACIONES SOBRE LA DINÁMICA GEOMORFOLÓGICA ACTUAL DE LADERAS SEMIÁRIDAS DE LA DEPRESIÓN DEL EBRO. EL CASO DE LA VAL DE LAS LENAS (TÉRMINO MUNICIPAL DE MARÍA DE HUERVA, ZARAGOZA, ESPAÑA)

González-Hidalgo, J.C.¹, Echeverría, M.T.², Raventós, J.¹ y
Domínguez, G.²

¹ Departamento de Ecología, Universidad de Alicante

² Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza

RESUMEN

En este trabajo se realiza una aproximación al funcionamiento geomorfológico actual de las vales del semiárido aragonés. Las investigaciones contemplan sucesivas aproximaciones, en las que se analizarán: (1) la evolución de humedad en el suelo en diferentes profundidades y posiciones de ladera, (2) las variaciones de la textura del depósito y (3) la simulación de lluvia.

Los resultados indican la posible existencia de un funcionamiento hidrológico dislocado a lo largo de la ladera entre el talud superior y los niveles basales. A lo largo del relleno, además, la franja superior parece depender hidrológicamente de su proximidad al talud rocoso adyacente (funcionamiento alóctono), mientras que el depósito de val parece comportarse hidrológicamente de manera autóctona. Entre las partes altas y bajas del relleno de val se aprecia una inversión de las condiciones hídricas que definen su potencial biológico, cuyo reparto espacial es inverso al esperado.

Palabras clave: Ladera; hidrología; semiárido

ABSTRACT

We have studied the geomorphological behaviour of slope in a semiarid landscape (NE inland Spain). The approach have been done by the analysis of soil water evolution, particle size analysis and rainfall simulation from top to bottom of slope.

Results suggest the possibility of hidrological compartmentation between upper free face and talus; talus is not homogeneous, and there exist a strip in the contact zone with upper free face which change the hidrological regime from upper to lower part of talus.

Key words: Slope; hidrology; semiarid

INTRODUCCIÓN

En los medios semiáridos y áridos es frecuente que las laderas presenten un perfil en el que a un talud-rocoso (superficie con afloramiento del substrato sin cubierta detrítica) sucede un paquete de sedimentos (CARSON y KIRKBY, 1972; CLARK y SMALL, 1982). Esta estructura ha sido estudiada en ambientes extremos de aridez (desiertos israelíes) y relacionada con el diferente reparto espacial de las condiciones de infiltración (YAIR y LAVEE, 1985; YAIR *et al.*, 1980; YAIR, 1990), con sus efectos sobre la evolución geomorfológica de las laderas y de la red de drenaje (YAIR, 1990; YAIR *et al.*, 1981), y finalmente ha sido estudiada por sus implicaciones en el reparto espacial de la aridez (KADMON *et al.*, 1981; DE PLOEY y YAIR, 1985; YAIR y ENZEL, 1987; YAIR y BERKOWICZ, 1989; YAIR, 1990; SCHRIBER y YAIR, 1995). Sin embargo, faltan todavía estudios que exploren las posibles implicaciones de la articulación talud rocoso / depósito de sedimento en la dinámica geomorfológica de los ambientes con déficits hídricos menos extremos.

En el sector central de la Depresión del Ebro el citado tipo de ladera se encuentra ampliamente representado (PELLICER y ECHEVERRÍA, 1989). En muchas ocasiones limitan las redes de vales, y sus depósitos basales contribuyen al relleno de las mismas. Numerosos trabajos confirman la juventud de estas laderas y de los rellenos de las vales en que se inscriben (BURILLO *et al.*, 1981; GUTIERREZ y PEÑA, 1989; PEÑA *et al.*, 1995), así como su intensa actividad geomorfológica, que muchas veces está reactivada por el abandono de las actividades agrícolas (BARRÓN *et al.*, 1994).

En este trabajo se analiza (1) el funcionamiento hidrológico de una ladera representativa de las condiciones citadas (semiárido sector central de la Depresión del Ebro), (2) se indagan posibles pautas globales de su comportamiento, y (3) se ofrece un modelo visual de funcionamiento hidrogeomorfológico de la val que le sirve como nivel de base.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en un afluente de la val de las Lenas, La Valleja, situada en la margen derecha del río Huerva a 12 Km de la ciudad de Zaragoza (Figura 1). Morfológicamente se trata de un barranco de fondo plano -"val"-, relleno de material detrítico, y enmarcado por cerros de yesos y arcillas neógenas. El perfil de los cerros presenta un tramo superior o escarpe/talud rocoso, con una elevada pendiente donde aflora el sustrato, y un tramo inferior, más laxo, cubierto por material detrítico de procedencia tanto transversal como longitudinal en relación con la val.

Las condiciones climáticas están definidas por precipitaciones inferiores a 350 mm/año -se constatan años en los que no se alcanzan los 300 mm-, y con un carácter marcadamente estacional y máximos equinociales; la temperatura media mensual oscila entre 5.8°C y 24.2°C. El régimen térmico y pluvial asegura una elevada demanda atmosférica potencial con valores anuales superiores a 1000 mm. La vegetación tiene carácter estepario (*Lygeum spartum*,

Rosmarinus officinalis, *Lymonium sp*) y se instala sobre suelos poco desarrollados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio de la evolución de humedad en el suelo se ha realizado durante 22 meses (noviembre 1992 - marzo 1995) mediante sensores de yeso con lecturas calibradas a valores de humedad capilar (GONZÁLEZ HIDALGO, 1994). El empleo de la citada técnica viene indicado porque no es destructiva, su instalación es económica, su lectura rápida, y permite obtener diferencias relativas en las situaciones estudiadas. Los sensores se dispusieron cada 10 m a lo largo del depósito de ladera, en tres profundidades (15, 30 y 50 cm); dos perfiles fueron localizados en las márgenes de la incisión central de la val (Figura 2). Las lecturas se realizaron entre las 9 y 11 h con periodicidad semanal aproximadamente. Los datos fueron analizados con un Modelo General Lineal (GLM) y pruebas *a posteriori*, (GT2, SOKAL y ROHLF, 1995), para verificar la existencia de diferencias significativas entre posiciones de ladera y/o profundidades.

El análisis granulométrico del sedimento en superficie se realizó siguiendo el protocolo expuesto por VIELLEIFON (1979); únicamente se separaron las subfracciones arenas gruesas y arenas finas. En tres perfiles de ladera se recogió una muestra del sedimento cada 10 m. Los valores de las subfracciones de arenas fueron contrastados con la distancia *desde* el inicio del depósito en su contacto con el talud mediante correlación simple, y nivel de significación 0.05.

La respuesta hidrológica a la precipitación se ha evaluado mediante simulaciones de lluvia realizadas con un simulador portátil (CALVO *et al.*, 1988), durante 15 minutos y elevada intensidad (entre 150 y 170 mm hr⁻¹). Las pruebas se efectuaron en la parte alta del relleno en contacto con el escarpe, y la parte baja cercana a la incisión de la val. Las experiencias se repitieron en húmedo y seco al menos tres veces. La escorrentía fue transformada a caudales infiltrados, y se aplicó un nuevo GLM a partir de valores originales en mm minuto⁻¹, ajustados a la función (*Iac* infiltración acumulada y *t* tiempo en minutos)

RESULTADOS

La evolución del agua en el suelo está afectada significativamente por el factor día, la lluvia, la posición en la ladera y la profundidad. En la Tabla 1 se exponen los resultados globales de la aplicación del GLM.

	GL	F	p
Modelo	82	33,91	0,0001
Error	1234		
Total	1316		
ANOVA			
Fac. Día	26	16,48	0,0001
Profundidad	2	14,08	0,0001
Lluvia	10	3,53	0,0001
Posición	6	252,81	0,0001
Posición-Prof	12	33,19	0,0001

TABLA 1.- Modelo General Lineal. Evolución de humedad en el suelo. Todas las posiciones y profundidades. GL: grados de libertad; F: estadístico; p: probabilidad. El factor día viene representada por el coseno del orden del día de muestreo: 1 de enero = 1 (véase Mitchell, 1990)

La varianza total explicada es el 69 % (p 0.0001). Por profundidades, la humedad sigue una gradación en la que los valores a 30 cm son significativamente distintos y superiores a 50 cm y 15 cm (p < 0.01), con promedios respectivamente de 40,17 %, 38,04 % y 36,62 %.

Entre perfiles, la prueba GT2 indica una primera división general del comportamiento del agua en el suelo a lo largo de la ladera, en la que se individualizan las dos márgenes de la incisión (P7 y P6), las cuatro primeras posiciones del depósito (P1, P2, P3 y P4) y el tramo basal del mismo (P5). Los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 2.

P1	P2	P3	P4	P5	P6 Canal	P7 Canal
33,44 c	32,78 c	34,73 c	31,48 c	25,80 d	53,58 b	58,79 a

TABLA 2.- Valores promedios de humedad en el suelo por posiciones de ladera, prueba a posteriori (GT2). Se muestra el valor promedio de humedad capilar (%) de las tres profundidades de todos los registros en cada posición de ladera. Letras distintas señalan diferencias significativas entre posiciones de ladera (p < 0.05), y se ordenan alfabéticamente por orden de magnitud.

Un segundo análisis por profundidades sugiere algunos matices sobre los efectos de los factores estudiados en la humedad en el suelo. La precipitación deja de ser significativa en la evolución de agua en el suelo a 50 cm de profundidad; en segundo lugar, el valor del estadístico F desciende en relación al factor día con el aumento de la profundidad, mientras que aumenta en relación a la posición en la ladera (Tabla 3).

	15cm	30cm	50cm

Factor día	19,87	11,54	241
Lluvia	6,06	2,42	1,65NS
Posición	58,70	214,54	425,84
r ²	0,82	0,83	0,88

TABLA 3.- Modelo General Lineal. Evolución de humedad en el suelo por profundidades. Valores del estadístico F por factores y coeficientes de determinación (r²) NS.- no significativo (p > 0.05)

El modelo aplicado por profundidades sugiere que (1) el factor día tiene mayor influencia sobre la evolución de humedad a 15 cm que a 30 o 50 cm, (2) el factor principal en la evolución de la humedad en el suelo es la posición en la ladera, y que este factor incrementa su efecto con la profundidad, y (3) la lluvia no afecta de manera significativa la evolución de humedad a profundidades de 50 cm. Es decir, la evolución de humedad se rige por variables temporales y espaciales en todas las profundidades, y la lluvia afecta preferentemente los horizontes superficiales.

La prueba *a posteriori* GT2 indica la tendencia al incremento de humedad ladera abajo a 15 cm, la homogeneidad de los valores de humedad a 30 cm en cualquier posición de ladera, y el descenso de humedad ladera abajo a 50 cm. Sus resultados se muestran en la Figura 3.

La subfracción de arenas gruesas y arenas totales con la distancia a lo largo del depósito es negativa y significativa (r 0.65 y 0.54, respectivamente, con n= 48, p < 0.01), pero no lo es en las arenas finas. A su vez la relación pendiente y el contenido de arenas gruesas y arenas totales es positiva (r 0.59 y 0.42, con n= 48, p < 0.01), y coincide con resultados obtenidos en áreas cercanas de la Depresión del Ebro (GONZÁLEZ HIDALGO *et al.*, 1995a en prensa)

El tiempo, la posición en la ladera y las condiciones de humedad son variables altamente significativas en el volumen infiltrado acumulado (p < 0.0001). En la Tabla 4 se muestran los resultados de la aplicación del GLM a la infiltración acumulada.

	GL	F	p
Modelo	17	17,38	0,0001
Error	42		
ANOVA			
Tiempo	14	9,04	0,0001
Posición	1	39,33	0,0001
Condiciones	1	129,20	0,0001

TABLA 4.- Modelo General Lineal. Infiltración acumulada en el tiempo. GL: grados de libertad; F: estadístico; p: probabilidad.

Las pruebas *a posteriori* (Bonferroni) permiten identificar que existen diferencias significativas entre posiciones dentro del relleno (alto-bajo) y entre las condiciones seco-húmedo. En seco la respuesta de escorrentía es más rápida y alcanza un valor sostenido más elevado en las partes bajas del depósito de ladera que en las partes altas, (menor infiltración, $p < 0.01$). En húmedo se acelera el inicio de la respuesta y se adelanta el momento en que se alcanza el flujo sostenido. Se mantienen nuevamente las diferencias entre sectores del relleno, con una mayor producción de flujo superficial en la base, (menor infiltración acumulada, $p < 0.01$). La combinación de sector y condiciones de humedad en un nuevo diseño GLM, permite observar la siguiente gradación significativa ($p < 0.01$) en la infiltración acumulada: franja superior (seco) > franja basal (seco) > franja superior (húmedo) > áreas basales (húmedo).

En conclusión, la infiltración es superior en la franja superior del relleno respecto a las partes bajas. Los resultados concuerdan con el mayor contenido de arenas reflejado en los análisis granulométricos, y se corresponden con los mayores valores de humedad registrados a profundidades > 30 cm.

DISCUSION

La previsible compartimentación hidrológica de la ladera y sus implicaciones geomorfológicas sugieren dividir la discusión de los resultados en dos bloques (véase Figura 4).

A) LA COMPARTIMENTACIÓN HIDROLÓGICA DE LA LADERA

El esquema general de la ladera estudiada sugiere la existencia de dos unidades diferenciadas en cuanto a las propiedades de infiltración (Figura 2). Por una parte el talud superior, y por otra el depósito basal que contribuye al relleno de val. Aunque en este trabajo nos hemos centrado exclusivamente en el análisis del depósito basal, ello no obsta para considerar ambas unidades netamente diferenciadas.

1) *El escarpe-talud superior*

Desde la divisoria y en un tramo más o menos prolongado, la ladera se articula en un escarpe-talud de longitud variable en el que aflora el substrato rocoso. El afloramiento de yesos y arcillas y margas sugiere que las condiciones de la infiltración en esta unidad son bajas, y que la arroyada (muchas veces canalizada en regueros) pueda alcanzar el tramo superior del depósito.

2) *El depósito basal (relleno de val)*

Por razones obvias, la infiltración en el depósito basal de ladera es más elevada que en el talud rocoso, pero ello no implica que sea homogénea. El análisis de la evolución de humedad en el suelo, de las subfracciones de arenas y las experiencias de simulación de lluvia, permiten separar tramos diferenciados entre el contacto con la unidad superior (talud rocoso) y la incisión basal.

2.1.- *La franja superior de contacto con el talud*

La franja del depósito en contacto con el talud superior parece

individualizarse hidrológicamente del resto del depósito dado que puede recibir dos tipos de aportes. En primer lugar la precipitación directa de la lluvia, y en segundo lugar la escorrentía canalizada generada en el talud superior. Ambos flujos, unidos a la mayor proporción de arenas gruesas (que favorecerían la infiltración) podrían ser la causa de avance del agua en el suelo en especial a 50 cm de profundidad.

2.2.- *Los tramos centrales y basales del relleno de val*

La infiltración de la escorrentía producida desde el talud superior en los primeros metros del depósito y los bajos valores de escorrentía superficial característicos de superficies cubiertas por vegetación (FRANCIS y THORNES, 1990; ROMERO *et al.*, 1988), y observados también en la ladera de estudio (GONZÁLEZ HIDALGO *et al.* 1995 b), pueden ser los responsables de la desconexión hidrológica, y en consecuencia geomorfológica, entre las partes altas y bajas de la ladera.

En la Valleja el cambio de textura a lo largo del depósito de ladera puede influir en la variación espacial de la infiltración, la cual parece ser heterogénea y variar en dirección a la incisión de la val. Una situación análoga ha sido constatada en medios semiáridos por YAIR y KLEIN (1973), y también se encuentra descrita en el SE español por SCOGING (1982).

En consecuencia, a lo largo del depósito los aportes parecieran depender prioritariamente de la precipitación directa; el comportamiento hidrológico de sus sectores tendería a la individualización, y el ciclo del agua en cada uno de ellos se resolvería en su modo más sencillo: lluvia, infiltración, evaporación, de manera que podría calificarse su comportamiento de autóctono.

Como consecuencia de lo dicho, la gradación espacial de humedad en el relleno de val es contraria a la esperada (especialmente a 50 cm), y proporciona un potencial biológico superior a las partes altas en contacto con el talud, de lo que es muestra la presencia del cinturón de *Rosmarinus officinalis* y la distribución de *Lygeum espartum* en el resto del depósito.

2.3.- *Las márgenes de la incisión*

La incisión basal en el relleno de val y sus márgenes representa un nuevo dominio diferenciado y ajeno al resto del depósito, cuyos elevados registros de humedad sugieren la posibilidad de que se comporte de manera semejante al área de contribución parcial, pero aislada del resto de la ladera. Una explicación plausible pudiera ser que la incisión del depósito favorece que el gradiente hidráulico lateral permita la aparición de elevados valores de humedad en profundidad en la pared de dicha incisión, donde el relleno se caracteriza por su naturaleza dispersable.

B) IMPLICACIONES EN LA DINÁMICA GEOMORFOLÓGICA

Las variaciones espaciales de la infiltración producen una doble desconexión hidrológica: por un lado entre el talud y el depósito, y por otro lado a lo largo del depósito, en la que el análisis de la humedad en el suelo evidencia que el concepto de área de contribución parcial no puede ser aplicado a estos espacios según la interpretación clásica (véase EMMET, 1980) y más parece reflejar pautas a las descritas en el semiárido extremo israelí (YAIR *et al.*, 1978; YAIR y LAVEE, 1976), en donde se ha comprobado que la humedad edáfica varía más en función de las propiedades de la infiltración que en función de la posición topográfica de cercanía al nivel de base. En consecuencia la ladera se desmembra en tramos estancos, cuyas conexiones hidrológicas son superficiales, siempre muy escasas, y con posibles implicaciones directas en la evolución geomorfológica.

En el momento presente carecemos de una interpretación global de la dinámica de los sistemas de las vales aragonesas, pero el modelo de ladera presentado sintéticamente responde a las ideas expuestas por YAIR (1990) y SCHREIBER y YAIR (1995) en condiciones de aridez más extremas (en torno a precipitaciones anuales de 100 mm). En estos trabajos se ha puesto de manifiesto la importancia de la ratio entre la extensión de los afloramientos del substrato (equivalente al talud superior de las laderas) y las áreas cubiertas por depósitos. Dicha ratio parece ser el factor determinante que configura las posibilidades de formación de escorrentía (más, incluso, que la propia precipitación), y su manejo llega a convertirse en una aplicación con fines prácticos de los escasos recursos hídricos israelíes (DE PLOEY y YAIR, 1985; SCHREIBER y YAIR, 1995).

La extrapolación cautelosa de esta interpretación a las vales aragonesas podría sugerir en muchas ocasiones que es la cabecera de las propias vales (donde la ratio roca-sedimento es alta y permite la formación de flujos) la que controla geomorfológicamente su evolución y quien ha propiciado la aparición de la incisión en el depósito, mientras que la participación de las laderas parece ser muy escasa en este proceso. Una vez abierta la incisión, ésta evolucionaría de manera autóctona sin participación generalizada de las laderas pero admitiendo flujos subsuperficiales en las márgenes inmediatas al canal.

CONCLUSIONES

El estudio de una ladera típica del semiárido aragonés (talud/depósito basal-incisión), sugiere la compartimentación espacial en diferentes sectores hidrológicamente desconectados entre sí. La compartimentación parece responder a un cambio en las propiedades de infiltración entre el escarpe-talud y el depósito basal de la val.

En el depósito basal se detectan al menos tres sectores o bandas con diferentes condiciones hídricas. Destaca por su peculiaridad la franja de contacto con el talud superior en la que el potencial biológico parece ser superior a los tramos basales del relleno.

La situación descrita no permite aplicar el esquema clásico del área de contribución parcial, e indica que las laderas podrían tener una intervención

escasa en el funcionamiento y evolución geomorfológica actual de las vales del semiárido central de la depresión del Ebro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Zaragoza (Vicerrectorado de Investigación) la financiación de las instalaciones y salidas de campo, así como al Sr. Val propietario del terreno.

BIBLIOGRAFIA

- BARRON, G; ECHEVERRIA, M T; IBARRA,P; MARCO, P; PEREZ, F (1994) Algunas consecuencias geomorfológicas del uso del suelo agrícola en las últimas décadas. La actividad del piping en el bajo valle del Huerva (Zaragoza, España). En J ARNAEZ-VADILLO, JM GARCIA-RUIZ Y A GOMEZ-VILLAR (Eds) *Geomorfología en España*: 255-266.
- BURILLO, F; GUTIERREZ, M; PEÑA, J L (1981) El cerro del Castillo de Alfambra. *Rev. Kalathos*, 1: 7-63.
- CALVO, A; GISBERT, B; PALAU, E; ROMERO, M (1988) Un simulador de lluvia portátil de fácil construcción. En M SALA y F GALLART (Ed) *Métodos y técnicas para la medición de los procesos geomorfológicos*: 6-15. Monografías de la SEG 1.
- CARSON, M A y KIRKBY, M J (1972) *Hillslope form and processes*. Cambridge Univ. Press, Oxford, 475 p.
- CLARK, M y SMALL, J (1982) *Slopes and weathering*. Cambridge Univ. Press., 112 p.
- de PLOEY, J y YAIR, A (1985) Promote erosion and control colluviation: a proposal concerning land management and landscape evolution. *Catena*, 12: 105-110.
- EMMETT, W W (1980) Overland flow. En M J KIRKBY (Ed): *Hillslope Hydrology*: 145-176
- FRANCIS, C y THORNES, J B (1990) Runoff hydrograms from three mediterranean vegetation cover types. En J B THORNES (Ed) *Vegetation and Erosion*: 363-384
- GONZALEZ HIDALGO, J C (1994) Relaciones suelo-planta afectadas por la exposición de ladera. *Estudia OEcologica*, X-XI: 87-98.
- GONZALEZ HIDALGO, J C; ECHEVERRIA, M T; PELLICER, F (1995a) Variaciones espaciales de la textura en un ambiente semiárido aragonés. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, XX, (en prensa)
- GONZALEZ HIDALGO, J C; ECHEVERRIA, M T; VICENTE, G; DOMINGUEZ, G (1995b) Aproximación al efecto de la longitud de parcela y pendiente en la producción de flujo superficial y sedimento en microparcels del bajo valle del Huerva (provincia de Zaragoza). *Cuaternario y Geomorfología*.9, (en prensa)
- GUTIERREZ, M y PEÑA, J L (1989) Upper holocene climatic change and geomorphological processes on slopes and infilled valleys from archeological dating (NE Spain). En: *European Conference on Landscape Ecological impacts of Climatic Changes*, 21 p.
- KADMON, R; YAIR, A; DANIN, A (1989) Relationship between soil properties, soil moisture and vegetation along loess- covered hillslopes, Northern Negev. Israel. *Catena Supp.*, 14: 43-67.
- MITCHELL, D J (1990) The use of vegetation and land use parameters in modelling catchment sediment yields. En J B Thornes (Ed) *Vegetation and erosion*: 289-316.
- PELLICER, F y ECHEVERRIA, MT (1989) *Formas del relieve de la Depresión del Ebro*. Inst. Fernando el Católico, Zaragoza.
- PEÑA, J L; CHUECA, J; JULIAN, A; ECHEVERRIA, M T (1995) Reconstrucciones paleoambientales en el sector central de la Depresión del Ebro a partir de rellenos de redes de conos de depresión. *Simposio Internacional Paleambiente Cuaternario en la Península Ibérica*, Santiago de Compostela: 16-20.

- ROMERO, M A; LOPEZ BERMUDEZ, F; THORNES, J B; FRANCIS, C; FISHER, G C (1988) Variability of overland flow erosion in a semiarid mediterranean environment under matorral cover, Murcia, Spain. *Catena Supp.*, 13: 139-146.
- SCHREIBER, K K y YAIR, A (1995) Ecological gradients along slopes of the Northern Negev Highlands, Israel. *Advances in Geocology*, 28: 209-229.
- SCOGING, H (1982) Spatial variations in infiltration, runoff and erosion on hillslopes in semiarid Spain. En R BRYAN y A YAIR (Eds) *Badland geomorphology and pipping*: 89-112 (R BRYAN and A YAIR Eds).
- SOKAL, R R y ROHLF, F J (1995) *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Blume, Madrid, 832 p.
- VIELLEIFON, J (1979) Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux. *Cahiers ORSTOM, Ser. Ped.*, 17 (3): 195-223.
- YAIR, A (1990) The role of topography and surface cover upon soil formation along hillslopes in arid climates. *Geomorphology*, 3: 287-299.
- YAIR, A y BERKOWICZ, S M (1989) Climate and non-climate controls of aridity: the case of the northern Negev of Israel. *Catena Supp.*, 14: 145-158.
- YAIR, A y ENZEL, Y (1987) The relationships between annual rainfall and sediment yield in arid and semiarid areas. The case of Northern Negev. *Catena Supp.*, 10: 137-146.
- YAIR, A; GOLDBERG, P; BRIMER, B (1981) Long term denudation rates in Zin-Havarian badlands, northern Negev, Israel. En R BRYAN y A YAIR (Eds) *Badland geomorphology and pipping*: 279-291.
- YAIR, A y KLEIN, M (1973) The influences of surface properties on flow and erosion processes on debris slopes in an arid area. *Catena*, 1: 1-18.
- YAIR, A y LAVEE, H (1976) Runoff generative process and runoff yield from arid talus mantled slopes. *Earth Surf. Proc.*, 1: 235-247.
- YAIR, A y LAVEE, H (1985) Runoff generation in arid and semiarid desert zones. En M G ANDERSON and T P BURT (Eds). *Hydrological Forecasting*: 202-220.
- YAIR, A; LAVEE, H; BRYAN, R B; ADAR, E (1980) Runoff and erosion processes and rates in the Zin valley badlands, Northern Negev, Israel. *Earth Surf. Proc.*, 5: 205-225.
- YAIR, A; SHARON, D; LAVEE, H (1978) An instrumented watershed for the study of partial area contribution of runoff in the arid zone. *Zeit. für Geom. Sup.*, 29: 71-82.

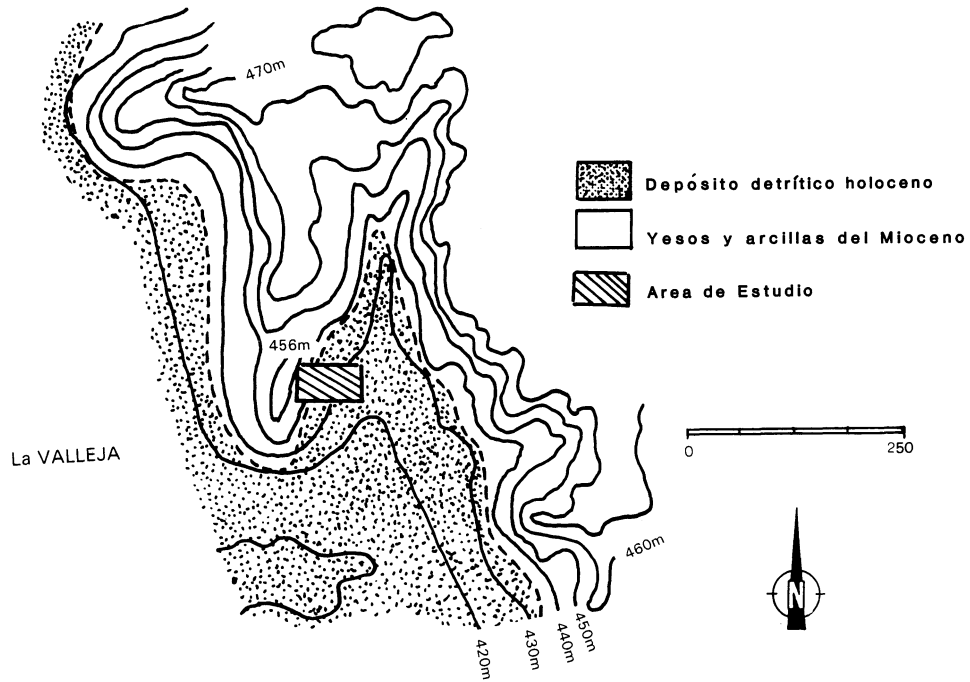
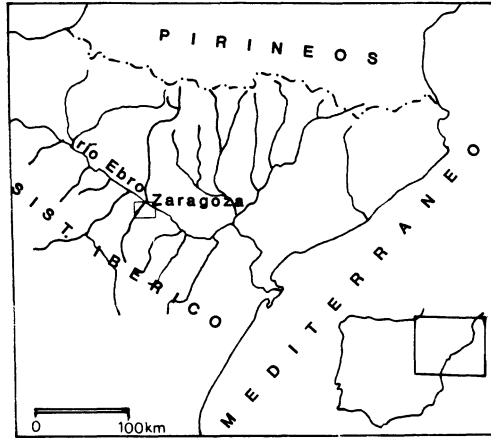
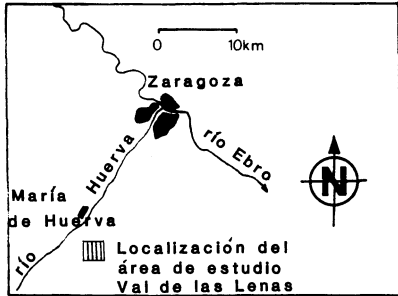
Pies de Figura

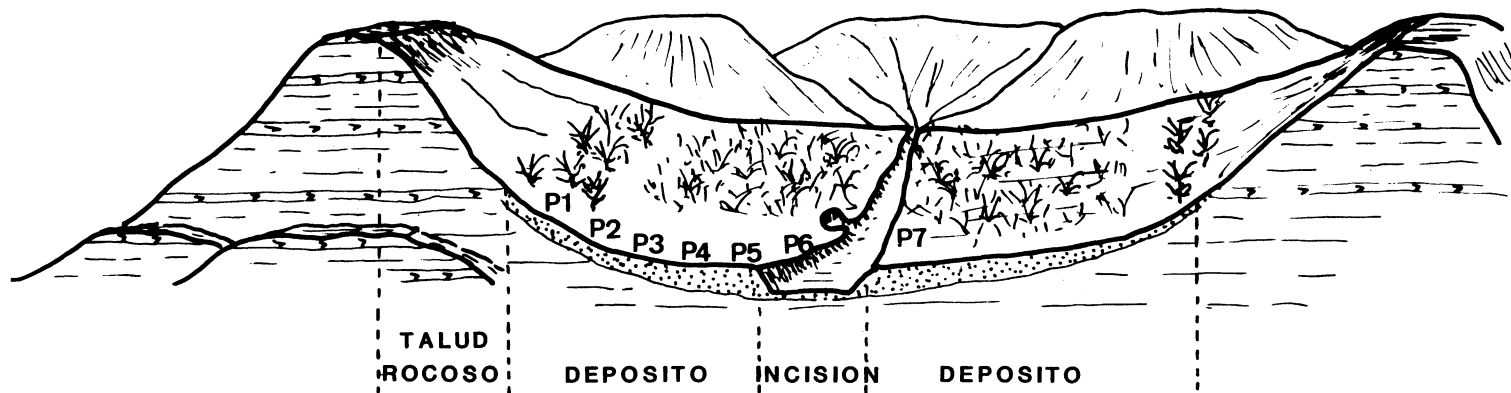
Figura 1.- Localización del área de estudio

Figura 2.- Esquema transversal de la Valleja y localización de los sensores de humedad

Figura 3.- Comparación de valores promedio de humedad por posiciones de ladera y profundidades. Valores promedio e intervalos de confianza. Resultados de las pruebas *a posteriori*

Figura 4.- Modelo gráfico del funcionamiento hidrogeomorfológico de ladera



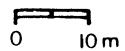


 Sustrato neógeno de arcillas y yesos

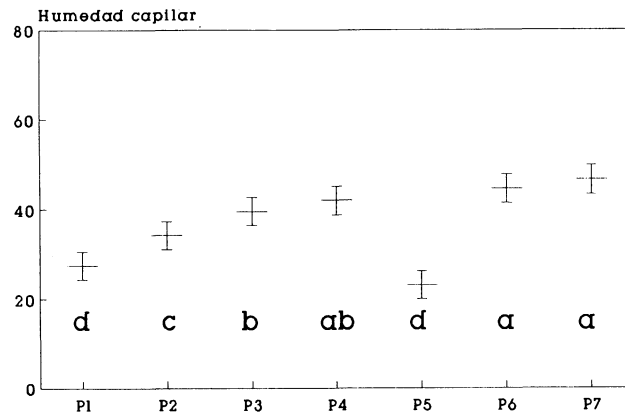
 Depósito detrítico holoceno

 *Rosmarinus officinalis*

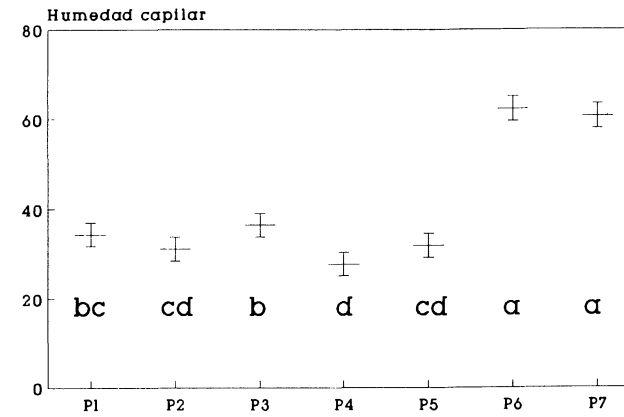
 *Lygeum spartum*

 0 10 m

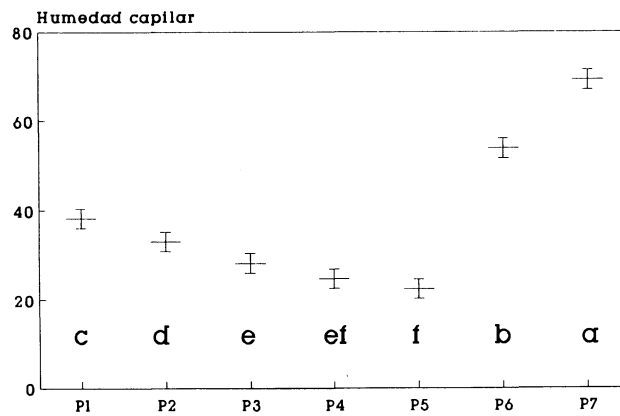
Humedad en el suelo (15 cm)
Comparación de medias

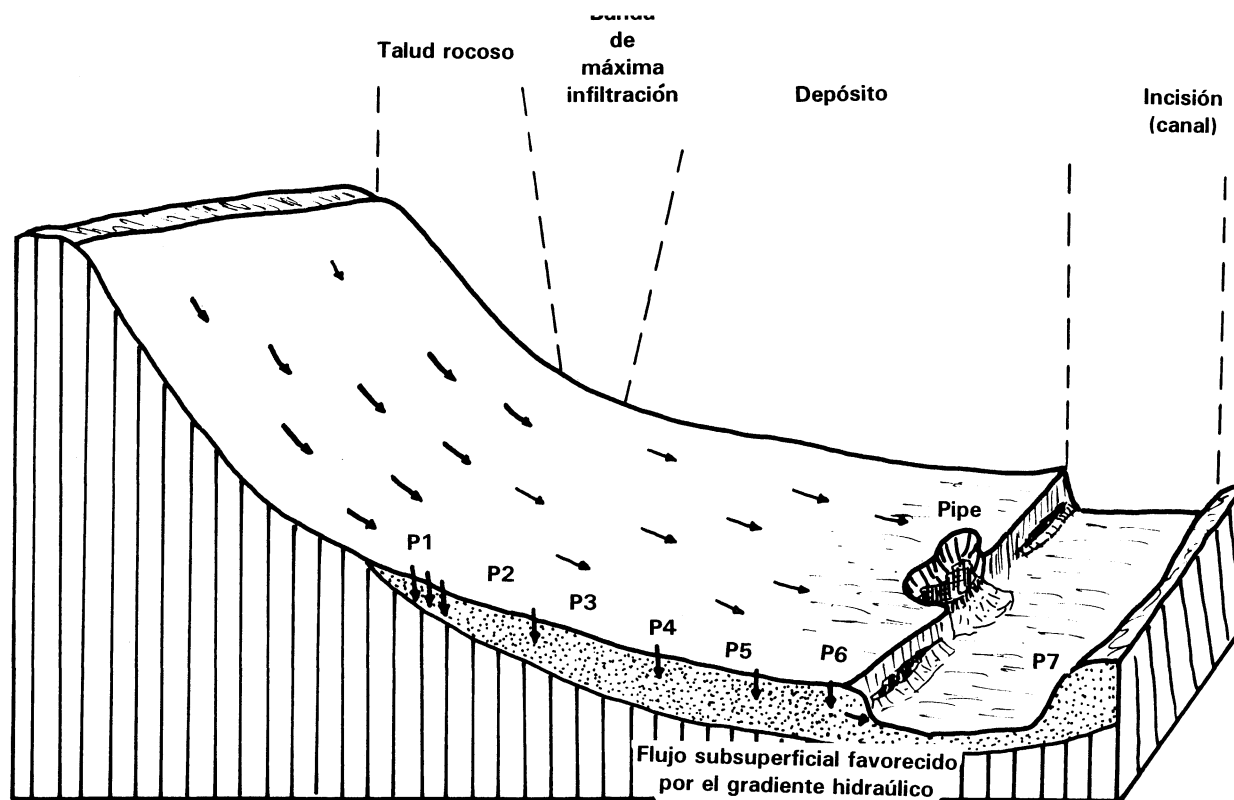






Humedad en el suelo (30 cm)
Comparación de medias



Humedad en el suelo (50 cm)
Comparación de medias





-  Depósito detrítico holoceno
-  Sustrato mioceno
-  Flujo (el grosor de las flechas sugiere la magnitud del flujo)
-  Humectación del escarpe

