

Cuadernos I. Geográfica	22-23	pp. 81-96	Logroño	1996-97
-------------------------	-------	-----------	---------	---------

EFECTO DE LA VEGETACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LADERA EN PERFILES DE HUMEDAD EN EL SUELO DE UN AMBIENTE SEMIÁRIDO DEL INTERIOR DE ESPAÑA

JOSÉ CARLOS GONZÁLEZ-HIDALGO¹
JUAN RAFAEL SÁNCHEZ-MONTAHUD¹
JUAN BELLOT-ABAD¹

RESUMEN.- Se ha estudiado la evolución de perfiles de humedad en suelo desnudado y bajo cubierta vegetal, localizados en dos laderas de exposiciones topográficas contrastadas (norte y sur) y tres profundidades. Los resultados indican diferencias espaciales y una diacronía temporal entre los procesos de evaporación en suelo desnudado (E), y evapotranspiración (ET) bajo cubierta vegetal. El factor que determina en mayor medida la evolución del agua en el suelo es la orientación de ladera. Las diferencias persisten durante los periodos estudiados entre solana y umbría ($p < 0.05$). La cubierta vegetal induce ocasionalmente diferencias significativas sobre el suelo desnudado ($p < 0.05$) en alguna de las profundidades analizadas.

SUMMARY.- This study has investigated the evolution of soil water content profiles on bare soil as well as under plant coverage. It was undertaken in two topographically contrasting slopes (north and south aspect) and at three depths. The results indicate spatial differences and a temporal diachrony between the processes of evaporation (in bare soil) and evapo-transpiration (under plant coverage). The slope aspect is the major determining factor in soil water evolution. There were persistent differences between the south aspect and the north aspect over the periods studied ($p < 0.05$), while the plant coverage occasionally induced significant differences over the bare soil ($p < 0.05$) in some of the depths analyzed.

Palabras clave: Agua en el suelo; exposición de ladera; cubierta vegetal; semi-árido; la Violada (Huesca, España).

Key words: Soil water profile; slope aspect; plant coverage; semi-arid; la Violada (Huesca, Spain)

1. Departamento de Ecología Universidad de Alicante. Alicante, España (03080).

1. Introducción

La evolución del agua en el suelo puede variar según sean las condiciones de la superficie, pues los mecanismos responsables de su trasvase a la atmósfera son distintos. En suelo desnudo el proceso depende de la demanda atmosférica potencial (E) y la reserva de agua presente; debajo de vegetación, a estos factores se añade el consumo variable que realizan las plantas.

En ambientes donde las precipitaciones son escasas y la demanda potencial es elevada, las comunidades vegetales responden a las condiciones restrictivas del medio a través de los mecanismos de adaptación hídrica (véase GRIME 1979; TURNER y KRAMER 1980; DAVIES *et al* 1987; KUMMEROW 1989). Los trabajos que han desarrollado estas ideas, en general, han contrastado macroambientes diferenciados entre sí por gradientes pluviales, térmicos etc., pero asumiendo dentro de los mismos un reparto homogéneo de aportes de precipitación y demandas atmosféricas. Más escasos son los estudios en los que se analizan las variaciones de ambos factores (aportes y demandas) y la evolución del agua en el suelo, en microambientes como los configurados por la exposición de ladera.

La incidencia de la orientación de la ladera sobre la radiación y la demanda atmosférica potencial es un hecho conocido (FELICÍSIMO y CEPEDAL 1984; OKE 1987; KIRKBY *et al* 1990), habiéndose constatado su influencia en el reparto de la biomasa (DROZDOV 1971, en WHITTAKER y MARKS 1975; ASHTON 1976), las especies (CORREIA *et al* 1987; DARGIE 1987), y las formaciones vegetales (GONZÁLEZ REBOLLAR 1987; PUERTO *et al* 1983 a y b). Finalmente otros trabajos han demostrado directamente su incidencia en la evolución de agua en el suelo, entre los que señalaremos a DOUGUEDROIT (1974), KADMON *et al* (1989), YAIR y BERKOWICZ (1989), YAIR *et al* (1980), PARKER (1991) realizados todos ellos en medios semiáridos.

En el presente trabajo analizaremos las variaciones en el tiempo de la humedad en el suelo, indagando los posibles efectos que se puedan derivar de la orientación de la ladera (diferentes demandas potenciales) y el tipo de superficie representado por suelo sin vegetación, sometido a E, y suelo con vegetación, afectado por ET.

2. Área de estudio

El área de trabajo se localiza en la comarca de la Violada, sector central de la Depresión del Ebro (0° 35' W, 24° 05' N) espacio de caracteres mediterráneos y de condiciones semiáridas.

Las precipitaciones anuales oscilan en torno a 450-500 mm, la temperatura media mensual entre 4 y 28EC y las demandas potenciales en la horizontal son superiores a 1400 mm (Estanque A). En la Tabla 1 se ofrecen los valores men-

EFFECTO DE LA VEGETACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LADERA EN PERFILES DE HUMEDAD

suales de P, T y ETP, incluyendo las evaluaciones promedio de ladera norte y sur de ETP.

Los suelos son delgados, desarrollados sobre un sustrato de margas y yesos a lo largo de taludes digitados en interfluvios y vaguadas (“vales”) con desarrollo W-E, lo que da lugar a que las laderas intratalud adquieran una orientación marcadamente contrastada norte-sur.

Las formaciones vegetales están dominadas por un matorral esclerófilo mediterráneo con *Rosmarinus officinalis*, *Genista scorpius* y *Ononis tridentata* como especies arbustivas dominantes. En el estrato herbáceo predomina *Brachypodium retusum*. El reparto espacial de estas formaciones acusa una marcada asimetría entre laderas, con formaciones densas en las umbrías y aclaradas en las solanas (GONZÁLEZ HIDALGO 1988; GONZÁLEZ HIDALGO y LÓPEZ 1989).

TABLA 1.

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	Año
P	33,6	33,5	44,6	48,3	58,5	40,1	23,7	32,6	46,2	40,6	46,7	44,0	492
T	4,4	6,1	8,6	11,6	14,7	19,2	22,4	21,7	18,3	13,7	7,9	6,4	6,4
ETP N	20	34	75	118	161	198	227	184	139	76	35	22	1289
ETP H	23	39	86	137	178	213	245	211	165	94	46	23	1460
ETP S	31	52	94	142	176	208	243	216	175	111	56	32	1536

Valores mensuales de precipitación (mm), temperatura (°C) y ETP (mm) en la horizontal (H), y valores promedio en umbría (N) y solana (S). Datos redondeados.

Fuentes P, T y ETP (H): Instituto Meteorológico Nacional, Estación Granja Almudébar; evaluaciones de ETP (ladera norte y sur) en GONZÁLEZ HIDALGO y RAVENTOS (1994)

3. Materiales y método

3.1. Instalaciones de campo

La evolución de la humedad en el suelo se ha registrado mediante la instalación de sensores de yeso en cuatro perfiles, y a tres profundidades (15, 30 y 50 cm). Los perfiles se localizaron debajo de cubierta vegetal y en suelo desnudo (por siega y tala) en dos laderas de diferente exposición. La elección de los sensores se debe a la necesidad de realizar un muestreo no destructivo tras su instalación. Semanalmente se registró el valor de conductividad eléctrica de cada sensor, así como 24 horas después de cada precipitación. Todas las mediciones

se realizaron durante el proceso de desecación. Las medidas se efectuaron entre las 9 y 10 de la mañana. Las lecturas de campo de los sensores se convirtieron a valores porcentuales de humedad mediante un calibrado de laboratorio.

3.2. Calibrado de laboratorio

El calibrado consistió en la extracción de suelo inalterado (cores de 30 cm de diámetro) donde previamente se habían introducido sensores; en laboratorio se saturaron las muestras y se dejaron secar, anotando las sucesivas lecturas de conductividad y pérdidas de peso; finalmente al alcanzar los sensores el valor 0 se secaron las muestras en estufa, obteniendo por diferencias de peso los valores de humedad a cada lectura de sensor. Los valores resultantes se expresan en el texto bien como porcentaje sobre el valor máximo de humedad capilar (diferencia entre el cese de drenaje interno y secado al aire en el proceso de calibración), bien como mm de agua, multiplicando el valor de conductividad transformado en humedad porcentual por la densidad, y asumiendo que el valor de humedad es equivalente a la porosidad. Mayores precisiones sobre la metodología, en especial calibrado, se describen en GONZÁLEZ HIDALGO (1992).

3.3. Períodos de estudio y tratamiento de resultados

Para evaluar los efectos del tipo de superficie y orientación de ladera en la evolución de humedad del suelo se elaboraron los sucesivos perfiles de humedad durante períodos sin precipitaciones apreciables. Cada período hace referencia a una estación meteorológica. Únicamente durante el otoño, por ser una época de rehumectación general, el período incluye precipitaciones entre los distintos muestreos. Los diferentes muestreos son sincrónicos en los cuatro perfiles; el lapso de tiempo de cada período puede variar.

Los períodos son: 9 abril - 18 mayo (primavera); 22 junio - 7 septiembre (verano); 14 octubre - 16 noviembre (otoño); 18 enero - 11 abril (invierno) de 1990 y 1991. Los perfiles se han representado en cuatro colecciones de figuras en las que el orden de lectura temporal es de derecha a izquierda (desecación), salvo el otoño (rehumectación). En algunas ocasiones se han eliminado muestreos intermedios por superponerse los resultados, pero siempre se representa el primer muestreo y el último, que son los extremos de cada gráfica, en los períodos analizados.

La variación neta de humedad en cada período se ha evaluado mediante la resta de los valores en mm de los muestreos inicial y final de cada perfil. La variación bruta se ha calculado mediante la suma de las variaciones negativas entre muestreos. En ambos casos los valores hacen referencia a una lámina de suelo de 1 cm de espesor.

En cada período, perfil y profundidad, se ha obtenido una evaluación de la tasa (intensidad) de variación de humedad por evaporación y evapotranspiración, mediante la suma de las variaciones negativas entre muestreos dividida por el número de días de cada período. Finalmente, para verificar las posibles diferencias entre los valores de humedad de cada perfil, profundidad y periodo los resultados se han sometido a un análisis de varianza tras aplicación de un Modelo General Lineal (GLM) en cada estación del año con dos factores (profundidad y la combinación de la orientación y tipo de superficie).

4. Resultados

Los valores de evolución de humedad de cada perfil, profundidad y período, expresados en porcentaje sobre el valor máximo de humedad capilar, se muestran en la Tabla 2. Se incluye también la precipitación habida a lo largo de cada período. En cada caso los perfiles se numeran para su identificación en la colección de gráficas adjunta.

Las estimaciones de las variaciones brutas y netas de cada período, perfil y profundidad se muestran en la Tabla 3. Los valores se expresan en mm de agua (valores multiplicados por 100) correspondientes a un prisma de suelo de 1 m² y 1 cm de altura.

Las variaciones negativas promedio diarias, estimaciones de la intensidad de la evaporación y evapotranspiración, se muestran en la Tabla 4. Por último los resultados de los análisis de varianza (prueba a posteriori de Scheffé) entre diferentes situaciones se indican en la Tabla 5.

4. 1. Primavera

En todas las situaciones se produce un descenso del agua capilar a lo largo del perfil (Tabla 2 y 3). En umbría inicialmente el contenido de humedad es alto (>90%) y superior respecto a la solana (Figura 1a, b, c y d). Los valores son semejantes entre suelo desnudo y con vegetación (Figura 1a y 1c, Tabla 5). Una vez avanzado el periodo los perfiles de umbría acusan: (1) un rápido descenso del agua capilar debajo de vegetación, (2) la homogeneidad de los valores de humedad bajo cubierta vegetal, y (3) la incipiente inversión del perfil de humedad en condiciones de suelo desnudo (Figura 1 a), que mantiene valores relativamente altos de humedad a profundidad.

En la ladera sur inicialmente el contenido de agua capilar es bajo con valores < 50%. En el suelo desnudo se acentúa la inversión del perfil a finales del periodo (Figura 1b). Bajo cubierta vegetal, (Figura 1d) el descenso de humedad en solana se produce de manera más lenta a la observada en ladera fría, lo que indica una menor intensidad del proceso de ET (Tabla 4). Así mismo en la solana el perfil de humedad es más homogéneo que debajo de vegetación (Tabla 5).

TABLA 2.

				Ladera Norte						Ladera Sur					
				Vegetación			Desnudo			Vegetación			Desnudo		
		Día	P	15c	30c	50c	15c	30c	50c	15c	30c	50c	15c	30c	50c
P R I M A V E R A	1	Ab 9	11	90	72	66	90	77	76	67	19	14	17	33	37
	2	Ab 16		86	69	66	81	70	76	56	21	15	19	35	44
	3	Ab 20		80	65	64	76	74	76	52	20	14	19	34	44
	4	Ab 27	2	64	48	57	69	74	72	33	18	14	18	33	39
	5	My 4		34	32	38	31	63	70	34	15	12	16	25	32
	6	My 11	1	23	23	27	44	55	61	26	11	10	14	21	29
	7	My 18		17	16	20	34	43	50	19	10	8	9	18	15
V E R A N O	1	Jn 22	10	54	25	23	50	34	37	49	11	10	10	26	16
	2	Jn 29	1	17	17	19	24	23	25	9	9	9	9	16	13
	3	Jl 6		14	14	17	20	20	22	9	9	9	9	14	15
	4	Jl 17	10	12	14	14	18	18	21	10	9	9	9	13	15
	5	Jl 20		9	10	12	15	14	18	7	4	4	4	9	13
	6	Jl 27		7	8	9	13	13	17	6	4	4	4	8	12
	7	Ag 3		7	8	9	12	12	15	6	4	6	4	7	12
	8	Ag 20	2	6	8	8	9	11	14	4	4	5	3	6	12
	9	Ag 24		7	8	8	8	10	13	4	3	4	2	5	12
	10	Ag 31		6	6	8	8	10	13	4	4	5	3	6	13
	11	Sep 7		6	7	8	7	10	13	4	4	5	3	5	12
O T O Ñ O	1	Oct 13	4	17	14	15	23	12	13	9	7	6	6	6	6
	2	Oct 19	27	35	27	22	23	40	14	9	7	6	4	6	13
	3	Oct 23	53	75	74	36	70	45	14	58	7	8	6	7	14
	4	Oct 26	2	77	76	43	77	14	14	62	18	7	24	9	13
	5	Nov 2	8	82	79	56	77	56	24	53	29	8	29	24	14
	6	Nov 7		81	77	57	75	55	37	44	27	8	25	25	13
	7	Nov 9	14	81	76	58	79	70	39	43	26	10	25	24	13
	8	Nov 16	4	82	79	73	80	78	59	45	28	9	61	33	13
I N V I E R N O	1	E 18	8	86	84	84	81	82	76	36	22	10	27	25	15
	2	E 25		86	85	84	82	83	79	34	21	10	26	24	15
	3	Fe 2		86	82	84	80	82	78	34	20	11	26	25	16
	4	Fe 8	10	81	80	83	86	84	79	30	18	10	22	22	15
	5	Fe 21	8	85	82	84	80	82	77	30	18	10	20	21	16
	6	Mr 4	11	83	80	82	78	81	79	30	16	10	19	20	15
	7	Mr 15	8	92	87	89	87	80	92	28	17	10	26	23	16

Humedad en el suelo. Valores expresados en % sobre el máximo de humedad capilar en laderas de diferente orientación, tipo de superficie (vegetación-desnudo) y profundidad. Cada perfil se identifica en las Figuras 1-4 por su número en la columna 2. P: Precipitación (en mm). 15c, 30c, 50c: profundidades (en cm). Los muestreos en negrita no se han representado en las Figuras correspondientes por superponerse los resultados con los anteriores o posteriores.

EFFECTO DE LA VEGETACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LADERA EN PERFILES DE HUMEDAD

TABLA 3.

		Ladera Norte						Ladera Sur					
		Vegetación			Desnudo			Vegetación			Desnudo		
		15 c	30 c	50 c	15 c	30 c	50 c	15 c	30 c	50 c	15 c	30 c	50 c
P	b	-26,43	-20,12	-16,44	-24,65	-14,22	-9,46	-17,68	-3,96	-2,35	-3,54	-6,19	-10,46
P	n	-26,43	-20,12	-16,28	-19,92	-12,49	-9,46	-17,35	-3,23	-2,01	-2,93	-5,49	-7,82
V	b	-17,41	-6,57	-5,67	-15,57	-8,86	-8,64	-16,84	-2,86	-2,62	-2,65	-7,89	-2,27
V	n	-17,24	-6,56	-5,65	-15,56	-8,86	-8,64	-16,34	-2,56	-1,89	-2,45	-7,56	-1,49
O	b	-0,27	-1,09	0,00	-1,03	-0,27	-0,16	-7,00	-1,28	-0,64	-2,16	-0,25	-0,60
O	n	23,43	23,50	21,01	20,52	23,73	16,38	13,14	7,58	0,87	19,77	9,61	2,75
I	b	-2,39	-2,15	-0,84	-3,41	-1,56	-0,88	-2,81	-2,17	-0,75	-2,72	-2,42	-0,70
I	n	2,16	1,09	1,80	2,32	-0,48	5,57	-2,79	-1,80	-0,22	-0,36	-0,69	0,26

Variaciones brutas (b) y netas (n) de la humedad en el suelo

Los valores se expresan en mm * 100 de agua en cada profundidad, respecto a un prisma de suelo de 1 m² y 1 cm de espesor (densidad 1.2 g cm⁻³). Las variaciones Brutas surgen de la suma de todas las variaciones negativas entre muestreos. Las variaciones netas se calcularon mediante la resta del valor final de cada período el valor inicial del mismo (véase datos Tabla 2). P: Primavera; V: Verano; O: Otoño; I: Invierno. Variaciones Brutas (b), Variaciones Netas (n)

TABLA 4.

		Ladera Norte						Ladera Sur					
		Vegetación			Desnudo			Vegetación			Desnudo		
		15 c	30 c	50 c	15 c	30 c	50 c	15 c	30 c	50 c	15 c	30 c	50 c
P		-0,68	-0,52	-0,42	-0,63	-0,36	-0,24	-0,45	-0,10	-0,06	-0,09	-0,16	-0,27
V		-0,23	-0,08	-0,07	-0,20	-0,11	-0,11	-0,22	-0,04	-0,03	-0,03	-0,10	-0,03
O		-0,01	-0,04	0,00	-0,04	-0,01	-0,01	-0,27	-0,05	-0,02	-0,08	-0,01	-0,02
I		-0,04	-0,04	-0,01	-0,06	-0,03	-0,01	-0,05	-0,04	-0,01	-0,05	-0,04	-0,01

Pérdidas promedio diarias de agua en el suelo en cada perfil, profundidad y estación.

Los valores se expresan en mm * 100 día⁻¹. El cálculo se realiza mediante la suma de todas las variaciones negativas entre muestreos dividido por el número de días del período. No se contabilizan las variaciones positivas. P: Primavera; V: Verano; O: Otoño; I: Invierno.

TABLA 5.

	Primavera			Verano			Otoño			Invierno		
	15 c	30 c	50 c	15a c	30 c	50 c	15 c	30 c	50 c	15 c	30 c	50 c
Norte Veg.	a b c	a b c d	a b c	a b	a b	a b	a	a	a b c	a	a	a
Norte Des.	a b	a	a	a b	a b	a	a	a b	b c d	a	a	a
Sur Veg.	a b c d e	d e	e	a b	b	b	a b c	c d	d	b	c d	c
Sur Des.	d e	c d e	b c d e	b	a b	a b	b c d	c d	c d	c	c	d e

Diferencias en el contenido promedio de humedad según período, perfil de humedad y profundidad.

Las letras indican la existencia de diferencias significativas (p < 0.05) en la prueba a posteriori (Scheffé) según Análisis de Varianza de II vías

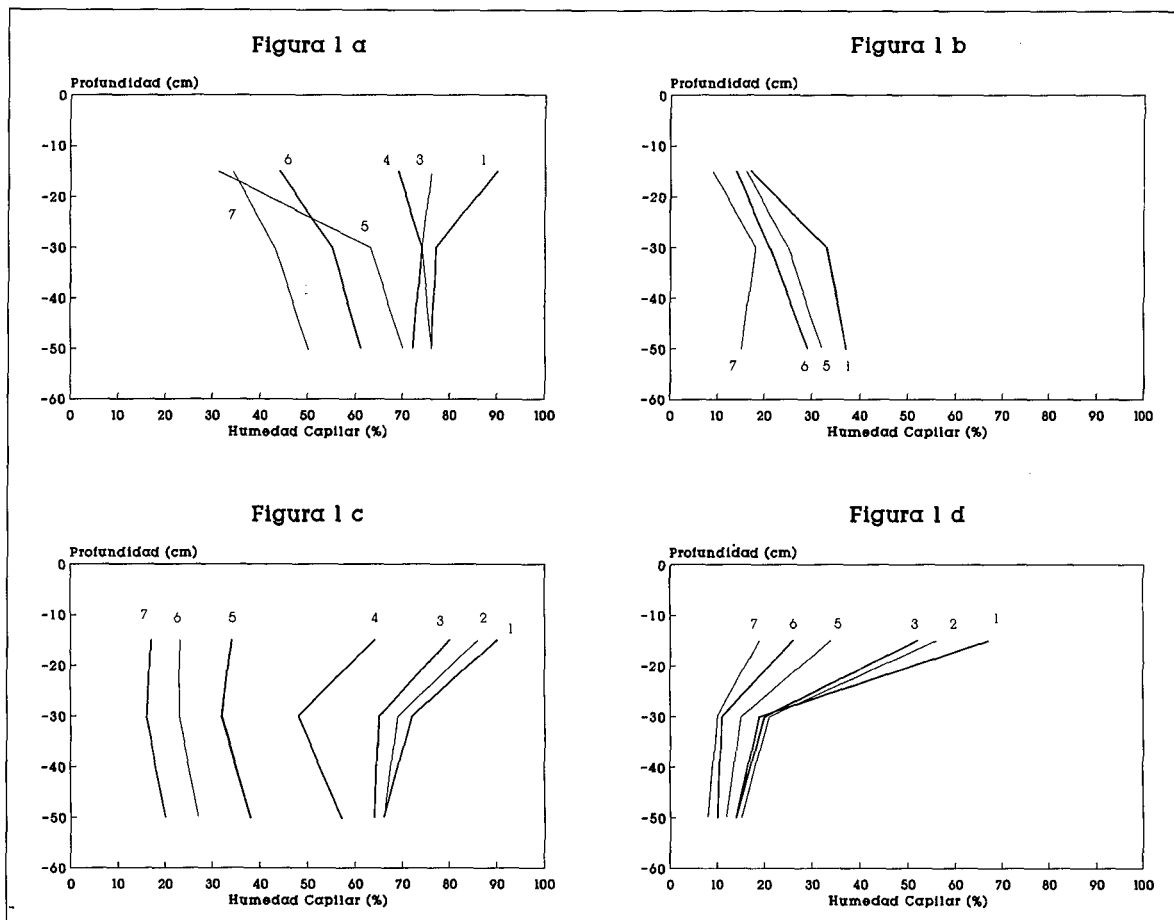


Figura 1. Evolución de perfiles de Humedad. Primavera 1990. (a) Norte Suelo Desnudo; (b) Sur Suelo Desnudo; (c) Norte Cubierta Vegetal; (d) Sur Cubierta Vegetal. Sentido de lectura derecha-izquierda. Para localizar los muestreos consúltese Tabla 2.

En general las variaciones netas de agua en los perfiles de la ladera norte son superiores a las variaciones observadas en la ladera sur en ambas situaciones de cobertura, y afectan a todas las profundidades (Tabla 3).

4.2. Verano.

En todas las situaciones prima la escasez de agua en el suelo, con valores finales por lo general < 10 % (Tabla 2). Del mismo modo el período estudiado mantiene la pérdida global de agua (Tabla 3).

Tres hechos destacan en este período: en primer lugar el menor contenido de humedad bajo cubierta vegetal respecto al suelo desnudo a 30 y 50 cm de profundidad en ambas laderas (Figura 2c y 2d, Tabla 5); en segundo lugar las pérdidas son globalmente superiores en suelo desnudo que en suelo con vegetación (Tabla 3), sin duda debido al mayor contenido de humedad inicial por haber sido

EFFECTO DE LA VEGETACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LADERA EN PERFILES DE HUMEDAD

inferior la pérdida durante la primavera, y, por último, el agotamiento del agua del suelo en cualquier situación y profundidad (Tabla 2).

Al final del período los contenidos de agua capilar en la ladera norte son superiores respecto a los de la ladera sur en todas las situaciones (Tabla 2). La pérdida generalizada de humedad provoca que no existan diferencias entre perfiles y laderas en el valor promedio del período, excepto a 50 cm (Tabla 5). Es notable que a 50 cm el perfil sin vegetación de la umbría sea el de más elevado contenido en agua del conjunto.

Durante este periodo debajo de vegetación en la umbría hay menores contenidos de humedad que en suelo desnudo (Figura 2a vs 2c).

En la ladera sur se repiten las mismas observaciones, aunque haciendo notar que la inversión del perfil es más acusada en suelo desnudo que en la umbría, y la pérdida de humedad afecta únicamente hasta los 30 cm superiores. Como consecuencia, las tasas negativas de variación diaria más elevadas del conjunto de perfiles se encuentran en suelo sin vegetación de la umbría (Tabla 4).

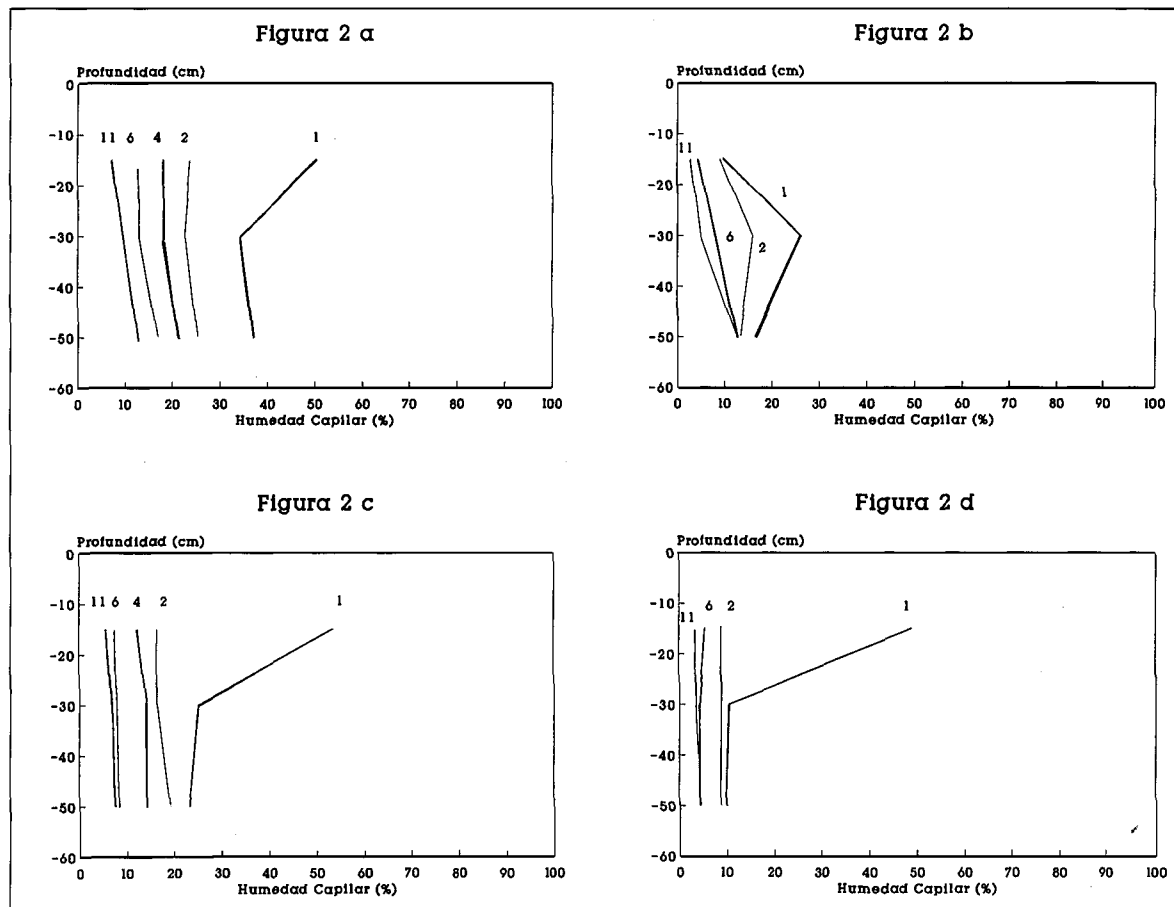


Figura 2. Evolución de perfiles de Humedad. Verano 1990. (a) Norte Suelo Desnudo; (b) Sur Suelo Desnudo; (c) Norte Cubierta Vegetal; (d) Sur Cubierta Vegetal. Sentido de lectura derecha-izquierda. Para localizar los muestreos consúltese Tabla 2.

4.3. Otoño.

En todas las situaciones se observa un incremento general de humedad (Tabla 2) que contrapone este período a las restantes estaciones; además se debe hacer notar que las precipitaciones durante el mismo han sido escasas. Esta situación se refleja en los valores positivos del movimiento neto del agua en distintas profundidades y perfiles (Tabla 3, Figura 3a, b, c, d).

En suelo desnudo el comportamiento a lo largo del periodo difiere entre ambas laderas (Figura 3a vs 3b). Se parte de un perfil sin agua a la salida del verano y la rehumectación es superficial en su inicio, (alcanza sólo los 30 cm). Avanzado el período, el perfil en la umbría se rehumecta en su totalidad, mientras en la ladera sur el avance de humedad se detiene a los 30 cm (derecha de Figuras 3a y 3b; Tabla 3).

Debajo de cubierta vegetal en la umbría la rehumectación es homogénea en todo el perfil (Figura 3c), reflejándose en los valores positivos de las variaciones netas de la Tabla 3.

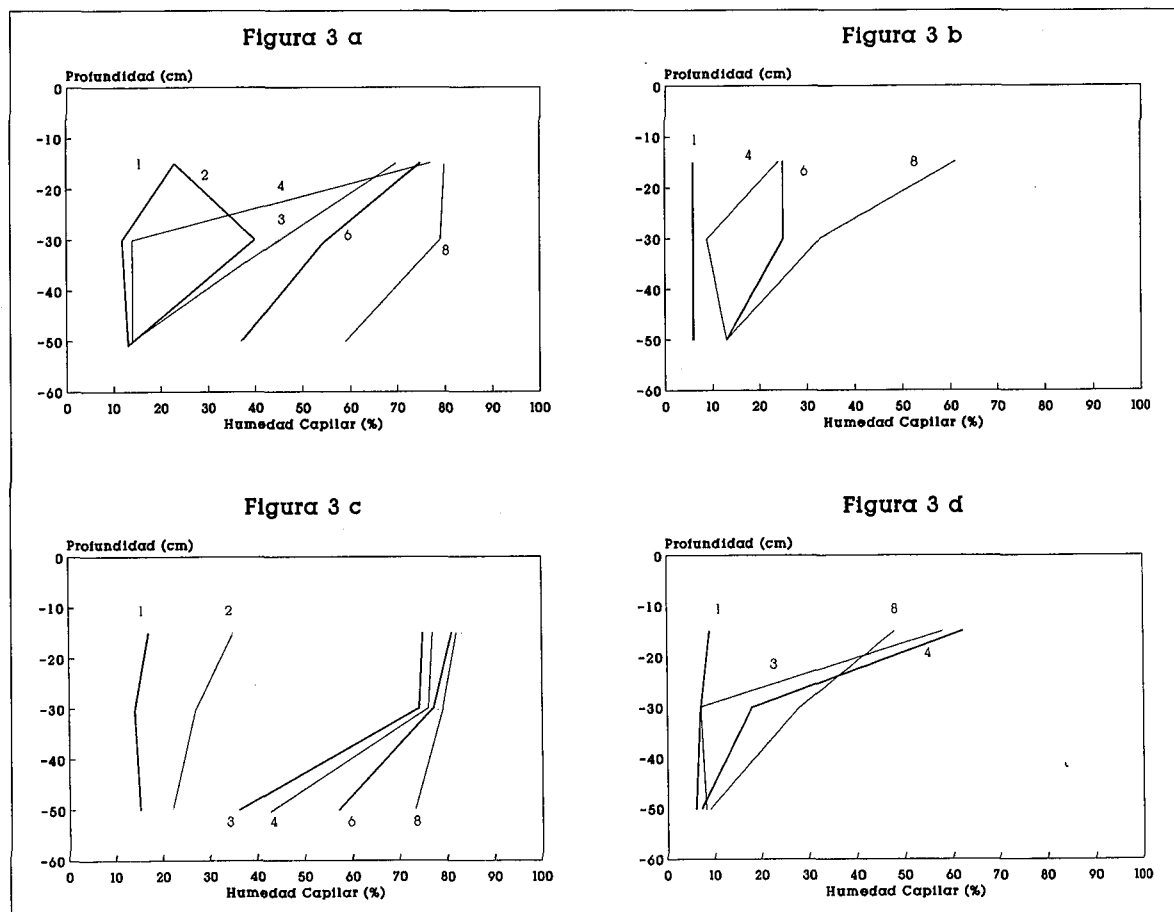


Figura 3. Evolución de perfiles de Humedad. Otoño 1990. (a) Norte Suelo Desnudo; (b) Sur Suelo Desnudo; (c) Norte Cubierta Vegetal; (d) Sur Cubierta Vegetal. Sentido de lectura izquierda-derecha. Para localizar los muestreos consúltese Tabla 2.

EFFECTO DE LA VEGETACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LADERA EN PERFILES DE HUMEDAD

En la ladera sur la rehumectación se efectúa horizonte a horizonte. En los primeros muestreos las ganancias de humedad se dan a 15 cm, a continuación en los 30 cm (Figura 3d). A 50 cm apenas hay ganancias. Dicha pauta se asemeja a la descrita en suelo desnudo de la ambas laderas al principio de la estación.

En la ladera norte el resultado final es muy similar entre el suelo desnudo y con vegetación. En la ladera sur la rehumectación final es superior debajo de vegetación especialmente a 15 cm. En el conjunto del periodo se observa una separación clara de los contenidos de humedad entre laderas, con valores superiores en norte respecto al sur (Tabla 5). En cada ladera los perfiles no manifiestan diferencias significativas en los valores promedio entre las tres profundidades (Tabla 5).

4.4. Invierno.

Los perfiles de umbría presentan altos valores de humedad capilar, cercanos al 100 % (Tabla 2), y en el suelo desnudo todavía manifiestan el proceso de rehumectación. En las Figuras no se han representado más que tres muestreos por la superposición de los valores entre sucesivos días (Figura 4a y 4c).

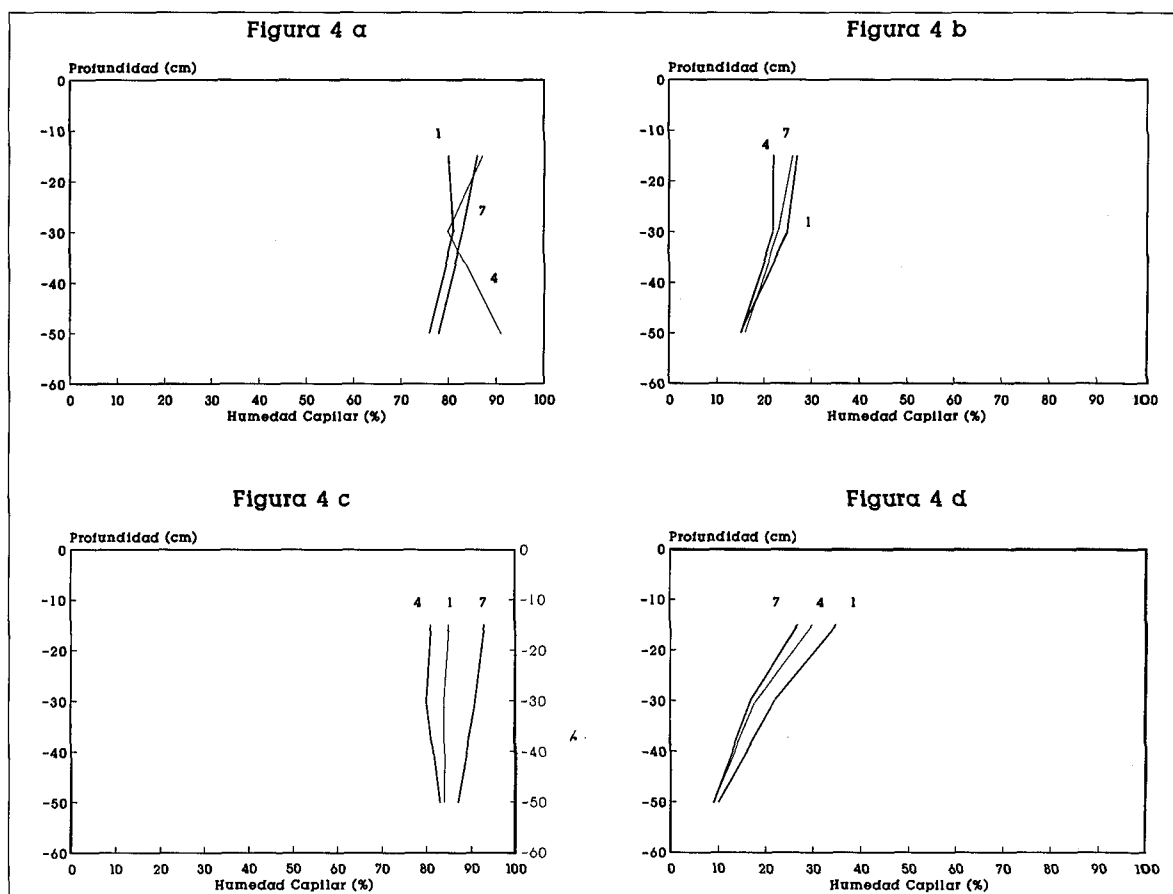


Figura 4. Evolución de perfiles de Humedad. Invierno 1991. (a) Norte Suelo Desnudo; (b) Sur Suelo Desnudo; (c) Norte Cubierta Vegetal; (d) Sur Cubierta Vegetal. Sentido de lectura derecha-izquierda. Para localizar los muestreos consúltese Tabla 2.

En la solana la humedad es inferior a la de la umbría en cualquier profundidad (Tabla 5), y a lo largo del período los valores de variación neta, en general, manifiestan una desecación (Tabla 3). En los perfiles de solana la humedad es superior en los 30 cm superiores (Figura 4b y 4d, Tabla 5).

Es notable señalar que en la ladera norte, aunque existe una variación neta positiva, a lo largo del período se producen variaciones brutas de carácter negativo, superiores a las observadas durante el otoño en ambos perfiles. Ello explica las mayores tasas de trasvase de agua a la atmósfera durante esta estación reflejadas en la Tabla 4. Por otro lado, el valor de estas tasas es muy semejante entre los cuatro perfiles, destacándose ligeramente los valores del suelo desnudo en solana respecto a la vegetación (Tabla 4).

5. Discusión

Los efectos de la orientación topográfica, el tipo de superficie y las variaciones temporales de la demanda atmosférica sobre la evolución del agua del suelo y su trasvase a la atmósfera, pueden rastrearse en los siguientes resultados ofrecidos: la evolución de los perfiles de humedad en el suelo, las variaciones brutas y netas (Tabla 3), el valor calculado de las variaciones diarias negativas (Tabla 4), y las diferencias entre los valores promedio en cada profundidad y ladera (Tabla 5). En suelo desnudo el mecanismo responsable de dichas variaciones negativas es la evaporación (E); cuando existe cubierta vegetal es la evapotranspiración (ET). A su vez, cada período permite observar la variación en el tiempo de la magnitud e intensidad de ambos mecanismos según la orientación de la ladera.

Cuando la demanda es elevada (primavera y verano, Tabla 1) la magnitud e intensidad de las variaciones brutas y netas del agua en el suelo es superior en umbría. Existen en esta ladera dos situaciones: si la reserva de agua en el suelo es elevada los máximos valores de variación negativa se producen por efecto de ET; cuando la reserva del suelo es escasa, el máximo se produce por efecto de E (Tabla 3). De este modo se produce un cambio temporal de la intensidad de ambos mecanismos en la ladera norte: en primavera dicha intensidad máxima corresponde a ET, en verano a E. La situación se puede observar en la Tabla 4, donde el valor de las variaciones negativas en umbría debajo de vegetación presentan los promedios diarios de pérdidas más elevados de todas las situaciones. Por su parte, en el verano, los máximos valores aparecen en el perfil del suelo desnudo, también de la umbría.

La cubierta vegetal varía su comportamiento una vez la reserva de agua ha disminuido. Durante el verano las variaciones brutas de humedad son muy semejantes en ambas laderas debajo de vegetación en todo el perfil (Tabla 3),

aunque las variaciones netas de la umbría son superiores a las de solana.

En otras palabras: cuando hay agua en el suelo y la demanda es elevada, el caudal de agua trasvasado por ET supera al de E, de modo que la vegetación acentúa el trasvase del agua del suelo a la atmósfera. Resultados semejantes han sido observados por ROY (1987), TERWILLINGER (1990), NORTCLIFF *et al* (1990). La situación indica presumiblemente la ausencia de patrones restrictivos de consumo de agua en ladera norte, en contra de las condiciones generales de aridez y sequía del presente. En ambientes semejantes se ha señalado idénticos hechos indicándose que pueden ser herencias de momentos climáticos pasados más húmedos (RAMBAL 1984); esta similitud podría atribuirse en la situación estudiada a los efectos de la exposición de ladera sobre la reducción de la demanda atmosférica, quizá atenuando posibles variaciones climáticas de ritmo secular hacia la mayor aridez y sequía del presente.

La evolución de los perfiles de agua del suelo difiere nuevamente en el período otoñal, cuando las demandas son decrecientes. El mayor incremento de humedad se produce bajo vegetación (Tabla 3), fenómeno que se atribuye en la zona de trabajo a la elevada recanalización de caudales de lluvia por escorrentía cortical en *Rosmarinus officinalis* (GONZÁLEZ HIDALGO 1992). En ladera norte la ganancia de humedad es inmediata y en todas las profundidades; en ladera sur se realiza de manera más lenta. Los valores de movimientos brutos de agua en el suelo (Tabla 3) son superiores en la ladera sur respecto a la ladera norte, y a su vez, en la solana, son superiores debajo de vegetación respecto al suelo desnudo. Este hecho hace pensar que en umbría la actividad vegetal se ralentiza, mientras que se mantiene en solana. Una segunda consecuencia es que durante el otoño ET supera a E en la solana. Como consecuencia, el mecanismo de mayor magnitud e intensidad en la solana parece ser ET (Tabla 4), quizá por el efecto de la superior temperatura sobre la fisiología de las plantas y pese al descenso general de la demanda potencial (GONZÁLEZ HIDALGO 1992).

En la umbría las variaciones de humedad por evaporación (suelo desnudo) superan ligeramente a las producidas por evapotranspiración (Tabla 3) seguramente por ralentizarse la actividad vegetal.

En solana el comportamiento es más complejo. En suelo desnudo la evaporación se muestra como un proceso activo que impide la rehumectación del perfil a 50 cm, mientras bajo cubierta vegetal el avance de humedad se realiza en un primer momento hasta los 30 cm, alcanzando los 50 cm al final del período (Tabla 3). El hecho puede sugerir una actividad vegetal al inicio del otoño que se atenúa en el tiempo al continuar descendiendo la demanda atmosférica.

Durante el invierno, con las demandas atmosféricas más bajas del año, en umbría se produce el cese de ambos mecanismos pese a existir altos contenidos

de humedad en el suelo. Es más: durante el período los perfiles consiguen ganancias netas de humedad (Tabla 3). Por el contrario, en solana tanto de E como de ET manifiestan claramente su actividad en la evolución negativa de los perfiles de agua en el suelo.

6. Conclusiones

Se detectan diferencias contrastadas en los procesos de trasvase de agua capilar del suelo a la atmósfera en laderas de diferente exposición topográfica. Estas diferencias se atribuyen a las variaciones producidas sobre la demanda atmosférica y su interacción con la cubierta vegetal.

En las fases de menor demanda (invierno y otoño), los valores de E y ET en solana superan a los de umbría, con independencia de la cuantía total de humedad en el suelo; cuando la demanda es elevada (primavera y verano) ET se acentúa o ralentiza según la exposición y acorde la cuantía de humedad en el suelo.

La intensidad y magnitud de la Evaporación y Evapotranspiración varían selectivamente en el tiempo, estableciéndose una diacronía de cada proceso, y entre ambos, según la orientación de la ladera.

Agradecimientos

La financiación de la instalación de campo ha sido realizada por el Laboratorio de CCTTHGG de la Universidad de Zaragoza; el trabajo de campo ha sido financiado parcialmente con una beca de formación de personal investigador de la Diputación General de Aragón-CONAI.

Referencias bibliográficas

- ASHTON, D.H. (1976) Phosphorus in forest ecosystems at Beteneak Victoria. *Jour. Ecol.*, 64: 171-186.
- CORREIA, O.; CATARINO, F.; TENHUNEN, J.D. & LANGE, O.L. (1987) Regulation of water use by four species of *Cistus* in the scrub vegetation of the Serra da Arrábida, Portugal. En J. TENHUNEN et al (Eds) *Plant response to stress*: 247-258.
- DARGIE, T.C. (1987) An ordination analysis of vegetation patterns on topoclimate gradients in south-east Spain. *Journ. of Biogeogr.*, 14 (3): 197-211.
- DAVIES, W.; BLACKMAN, P.; LODGE, T.; da COSTA, A. & METCALFE, J. (1987) Root to shoot communities of the effects of soil drying, flooding or increase salinity. A case for the involvement of plant growth regulators in a multiple

- chemical signal. En J. TENHUNEN et al (Eds) *Plant response to stress*: 201-221.
- DOUGUEDROIT, A. (1974) Le role de l'humidite des sols dans l'opposition de la vegetation entre adrets et ubacs. *Bull. Ass. Géog. Fran.*, 415: 133-140.
- FELICÍSIMO, A. & CEPEDAL, G. (1984) Estimación de la radiación solar incidente sobre superficies con pendiente y orientación variables. *Studia OEcologica*, 5: 267-284.
- GONZÁLEZ HIDALGO, J.C. (1988) *Geomorfología y procesos morfogenéticos en las márgenes del polígono de riegos de la Violada. Aproximación metodológica*. Tesis Msc. ICAMAS, 239 p.
- GONZÁLEZ HIDALGO, J.C. (1992) *Pautas espaciales de la erosión hídrica en el semiárido aragonés. Exposición topográfica y cubierta vegetal factores de erosión*. Tesis Doctorado, U. Zaragoza.
- GONZÁLEZ HIDALGO, J.C. & LOPEZ, M.V. (1989) Distribución de formaciones vegetales: influencia de la exposición topográfica en dos ambientes morfoclimáticos mediterráneos. *Rev. Lucas Mallada*, 1: 51-65.
- GONZÁLEZ HIDALGO, J.C. & RAVENTOS, J. (1994) Efecto de la exposición de ladera y pendiente en la evaluación potencial de la demanda atmosférica potencial. Un ejemplo de cálculo en el semiárido aragonés (la Violada, Huesca). *Cuadernos Investigación Geográfica*, 18-19: 29-46.
- GONZÁLEZ REBOLLAR, J.L. (1989) Organization and dynamics of vegetational landscape: its response to hypothetical changes of the phytoclimatic conditions. *European Conference on Landscape Ecological impacts of Climatic Changes*, man. text 15 p.
- GRIME, J.P. (1979) *Plant strategies & vegetation processes*. J W & Son, Chisterter, 222 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.
- KIRKBY, M.J.; ATKINSON, K. & LOCKWOOD, J. (1990) Aspect, vegetation cover and erosion in semi-arid hillslope. En J.B. THORNES (Ed) *Vegetation and Erosion*: 25-89.
- KUMMEROW, J. (1989) Structural aspects of shrubs in mediterranean type plant communities. *Options Med., Ser. Sem.*, 3: 5- 11.
- NORTCLIFF, S.; ROSS, S. & THORNES, J.B. (1990) Soil moisture, runoff and sediment yield from differentially cleared tropical rainforest plots. En J.B. THORNES (Ed) *Vegetation and Erosion*: 419-436.
- OKE, T.R. (1987) *Boundary layer climates*. Methuen, Londres, 435 p.
- PARKER, K.C. (1991) Topography, substrate, and vegetation patterns in the northern Sonoran Desert. *Jour. of Biogeogr.*, 18: 151-163.

- PUERTO, A.; RICO, M. & GÓMEZ GUTIÉRREZ, J.M. (1983) Pautas repetitivas en los pastizales salmantinos: la vaguada como unidad sintética y paisajística. *Rev. Salamanca*, 7: 119-144.
- PUERTO, A.; TORRES, M.D. & RICO, M. (1983) Diferenciación de comunidades en función de la orientación y del efecto del redileo. *Studia OEcologica*, 4: 125-136.
- RAMBAL, S. (1984) Water balance and pattern of root water uptake by a *Quercus coccifera* L evergreen scrub. *Oecologia*, 62: 18-25.
- ROY, J.; GARNIER, E. & JACKSON, L.E. (1987) Response of two perennial grasses to water availability in different habitats related to successional change under mediterranean climate conditions. En J. TENHUNEN et al (Eds). *Plant response to stress*: 175-190.
- TERWILLINGER, V. (1990) Effects of vegetation on soil slippage by pore pressure modifications. *Earth Surf. Proc.*: 15: 553- 570.
- TURNER, N.C. & KRAMER, P.J. (1980) *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. J W & Son, Chicester, 428 p.
- YAIR, A. & 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.; 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.
- WHITTAKER, R.H. & MARKS, P.L. (1975) Methods of assessing terrestrial productivity. En H. LIETH y R.H. WHITTAKER, (Eds) *Primary productivity of the Biosphere*: 55-118.