

Cuadernos I. Geográfica	18-19	pp. 29-46	Logroño	1992-93
-------------------------	-------	-----------	---------	---------

EFECTO DE LA EXPOSICION DE LADERA Y PENDIENTE EN LA EVALUACION DE LA DEMANDA ATMOSFERICA POTENCIAL. Un ejemplo de cálculo en el semiárido aragonés (La Violada, Huesca)¹

J.C. GONZALEZ HIDALGO* & J. RAVENTOS BONVEHI*

RESUMEN. Se realiza una evaluación de los efectos inducidos por la exposición topográfica y pendiente en los valores potenciales de la demanda atmosférica en un ambiente semiárido del sector central de la Depresión del Ebro. Los resultados obtenidos señalan variaciones en el espacio y tiempo de los efectos de ambas variables, proponiéndose una expresión de cálculo para los valores anuales en la zona de trabajo.

ABSTRACT. The effects of slope aspect and slope declivity on atmospheric potential demands are evaluated in a semiarid inland area of Ebro Basin (NE Spain). Results show spatial and temporal variation effects of both variables, and calculus expresion are proposed.

Palabras clave: Demanda atmosférica potencial, exposición topográfica, pendiente, semiárido, la Violada (Huesca).

Key words: Atmospheric potential demand, slope aspect, slope declivity, semiarid, la Violada (Huesca, Spain)

1. Introducción

La porción de radiación solar que recibe una superficie se denomina Radiación Directa de Onda Corta (R_i), y en tanto que se puede aproximar a un haz de luz paralelo, su valor sobre una superficie dada depende de la orientación y de la pendiente del terreno respecto a dicho haz. La expresión del cálculo es la siguiente:

$$S = S_i * \cos \theta$$

* Departamento de Ecología, Universidad de Alicante. Apto. 99, 03080 Alicante.

1. El presente trabajo es un desarrollo in extenso de la primera parte de la comunicación presentada por el primer autor en XVI General Assembly of European Geophysical Union, celebrada en Wiesbaden (Alemania) en 1991.

siendo S_i el valor de R_i recibida en la normal y θ el ángulo de incidencia entre el haz de luz y la normal; es decir incluye tanto el efecto de la orientación como de la pendiente. El proceso de cálculo se encuentra documentado en CUADRAT (1979), FELICISIMO y CEPEDAL (1984), OKE (1987) y KIRKBY et al (1990).

Diversos trabajos han señalado los efectos derivados de esta situación. SPECHT (1972) ha presentado las variaciones inducidas en R_i por la exposición y la pendiente a diferentes latitudes (hemisferio Sur), señalando su efecto sobre la evolución del agua en el suelo y el establecimiento de diferentes comunidades vegetales. KIRKBY et al (1990) ha utilizado los valores de R_i según la exposición en el cómputo de la variación de reserva de agua en relación al crecimiento de la cubierta vegetal y la génesis de arroyada. CUADRAT (1979) ofrece una cartografía de la radiación incidente del Valle de Ordesa, (Pirineos), mientras en otras ocasiones se ha señalado el efecto de la exposición de ladera en la evolución del agua del suelo, reflejo de los diferentes valores de ETP (DOUGUEDROIT, 1974; KADMON et al 1989; YAIR y BERKOWITZ 1989; ZAIDEMBERG et al 1982; PARKER 1991, etc).

En el presente trabajo se evalúa el efecto en la Radiación Incidente y demanda potencial de la exposición topográfica y la pendiente, observando sus modificaciones espaciales y temporales, dentro de un ambiente semiárido de interior de España.

2. Area de estudio

El trabajo se ha desarrollado en la comarca de la Violada, cuya localización se muestra en la Figura 1. En dicho espacio, la configuración del relieve repite sistemáticamente el desarrollo de laderas con exposición topográfica contrastada Norte-Sur, sobre las que se aprecia una notable asimetría en el cubrimiento vegetal. Información general de la zona de trabajo se encuentra en GONZALEZ HIDALGO (1988).

3. Materiales y métodos

El trasvase de agua del suelo a la atmósfera cierra el ciclo hidrológico comenzado con la precipitación. Dicho trasvase se puede realizar por Evaporación (en adelante E) y Transpiración (en adelante T). Genéricamente la devolución implica el cambio de estado del agua, pero ambos mecanismos deben separarse. E actúa en condiciones de suelo desnudo, mientras bajo cubierta vegetal las cantidades de agua trasvasada a la atmósfera se agrupan en un mecanismo complejo denominado Evapotranspiración (en adelante ET).

E y ET se deben contemplar bajo una doble óptica. En primer lugar, en referencia a la capacidad máxima de trasvase de agua de cualquier superficie bajo condiciones de aporte ilimitado de la misma. En este caso se emplea el concepto de EP y ETP (E Potencial, ET Potencial). THORNTHWAITE (1943-

1944) definió la *ETP* como "el agua que se perderá si en ningún momento existe déficit de la misma en el suelo para uso de la vegetación"; Van BAVEL (1966) define *ETP* como "cualquier situación en términos de variables meteorológicas adecuadas y propiedades radiantes y aerodinámicas de una superficie. Cuando la superficie está húmeda y no hay restricciones al flujo de vapor de agua, el valor potencial se alcanza". *EP* y *ETP* son pues valores de referencia máximos, dependientes de aquellos factores que definen el proceso de paso del agua líquida a vapor, sin considerar la cantidad de agua existente en el suelo.

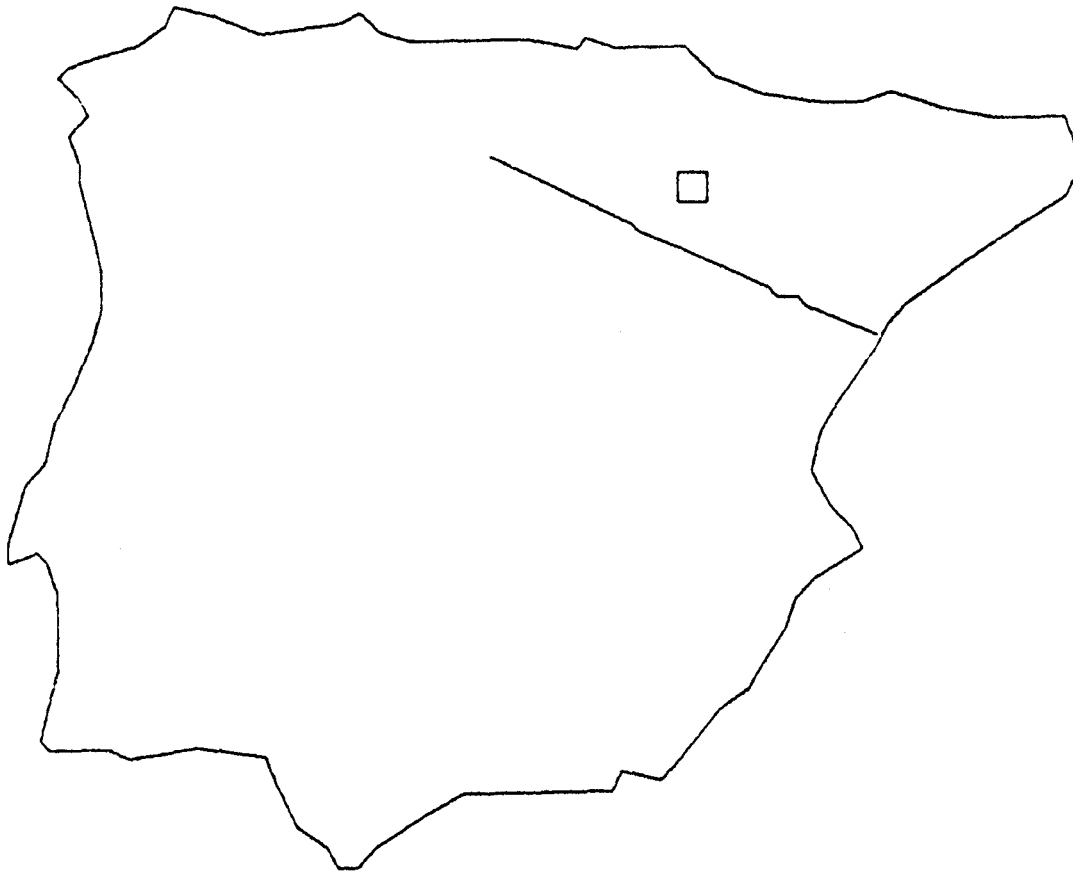


Fig. 1. Localización de la zona de trabajo.

Frente a este concepto, la magnitud de la reserva de agua o el consumo de ella por la vegetación, en un momento dado, pueden imponer una restricción a los valores potenciales, resultando un nuevo valor denominado *E Real* o *Actual*, (*ER*, *Ea*) y *ET Real* (*ETR*), que por razones obvias no pueden superar a la potencial.

El interés que presenta el estudio de *E-ET* en su doble vertiente es variado. Mediante el análisis de los balances hídricos se puede estimar la reserva

hídrica del suelo que es susceptible de ser empleada por la cubierta vegetal (véase SPECHT 1972). El volumen de agua en el suelo es un posible condicionante en la génesis del flujo de arroyada, (KIRKBY 1976 y 1980 a; THORNES 1976; THORNES y GILMAN, 1983 etc.), etc.

Son múltiples los métodos propuestos para el cálculo de la *EP-ETP*. CUSTODIO y LLAMAS (1983) los agrupan en tres conjuntos: los basados en la física de los microclimas, las mediciones directas, y las aproximaciones empíricas. Una revisión de los cálculos más empleados se puede encontrar en BORDNE y McGUINNESS (1973), y más recientemente en SANCHEZ TORIBIO (1992) .

En cualquier caso, el empleo de un método determinado viene condicionado por el tipo de datos existentes dentro del conjunto de variables que se reconocen causantes de la demanda. Entre aquéllas, se acepta que la radiación es el principal factor (BORDNE y McGUINNESS, 1973), siendo responsable en el caso de mediciones realizadas con el Tanque de Evaporación del 80% del total de pérdida de agua (MUKAMMAL y BRUCE, cit en SPECHT, 1972).

Para realizar la aproximación propuesta se han empleado los datos existentes en el observatorio de la zona de trabajo (únicamente temperaturas) y una expresión de cálculo que contemplase el valor de la radiación de onda corta, puesto que es determinante en la evaluación de la demanda potencial, está en estrecha dependencia con la exposición topográfica, y, dentro de una ladera, con la pendiente y el factor de visión de horizonte, (véase GANDULLO 1974; SEAMAN 1979, en CEOTMA 1981, etc). Las dos razones sugirieron el empleo de la formulación de Turc.

El cómputo de los valores de R_i se ha realizado empleando el Programa Radiac versión 3.89 (GRACIA 1989), con las siguientes variables: pendiente, latitud, longitud, azimut, coeficiente de nubosidad y factor de visión del horizonte.

Pendientes, azimutes (geodésicos), y factores de visión han sido calculados mediante toma de datos sobre el terreno. Los muestreos se realizaron entre la cumbre y la base de dos laderas de diferente exposición. Latitud y longitud se obtuvieron del Mapa Topográfico Nacional y se han introducido con el mismo valor para todos los puntos de control. Los coeficientes mensuales de nubosidad han sido los del observatorio de Huesca Monflorite para la serie de años 1931-1970 (CAPEL 1981, p. 95). Dicho observatorio dista aproximadamente unos 15 Km. en línea recta y no existe ningún tipo de barrera orográfica con la zona de trabajo. Los coeficientes de transmisividad empleados (ante la falta de datos en la zona de trabajo) son los ofrecidos en la versión original del programa, referidos a Cataluña.

El cálculo de *ETP* se realizó mediante la fórmula propuesta por Turc:

$$ETP = 0.4 * (R_i + 50) * (t / t + 15)$$

donde R_i = radiación diaria media mensual incidente ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); t = temperatura media mensual, °C, y 0.4 un coeficiente válido para meses de 30-31 días, (en febrero se ha utilizado 0.37).

4. Resultados y discusión

Los resultados se agruparán en tres apartados: (1) evaluación de R_i y efectos de la exposición y pendiente; (2) idem en ETP , y (3) estudio del efecto de ambos factores en la variación espacial y temporal de ETP .

Radiación Incidente

Los valores medios diarios de R_i en $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ de los doce meses (19 puntos de control en la ladera norte, 12 en la ladera sur, y la Horizontal) se muestran en la Tabla 1 y Figura 2. El máximo anual corresponde al mes de julio y el mínimo a diciembre, siendo los valores de umbría inferiores a los recibidos en la ladera sur.

El efecto inducido por la pendiente, e indirectamente por el Factor de Visión de Horizonte se muestra en la Figura 3. En ésta se aprecia el efecto temporal de la exposición y la pendiente en R_i a través de las variaciones porcentuales de R_i en los meses de enero y junio, en los que las diferencias respecto a la horizontal son las más acusadas aunque no sean los meses de máxima y mínima R_i recibida. El efecto es doble. En los meses de menor R_i (i.e. enero), las diferencias se acrecientan positivamente (ladera sur) y negativamente (ladera norte) en función de la pendiente, pero con un orden de magnitud siempre superior en la ladera fría, es decir se repite el comportamiento de que, a iguales pendientes, la mayor desviación se produce en orientación fría. En los meses de mayor R_i (i.e. junio) las diferencias sobre la horizontal decrecen en ambas laderas.

TABLA 1: RADIACION ONDA CORTA. VALORES MEDIOS MENSUALES EN CAL. CM² DIA⁻¹ EN LADERAS DE EXPOSICION CONTRASTADA Y HORIZONTAL

	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
N	106.8	175.9	292.9	433.6	527.0	573.6	621.9	502.6	397.0	230.9	131.1	81.3
S	190.3	294.9	407.8	532.4	580.6	606.3	671.3	599.3	514.9	361.0	238.3	141.6
H	149.3	243.3	362.6	505.3	577.2	617.1	676.7	576.8	457.9	302.4	189.3	111.1

Valores promedio en 31 puntos de control Base Norte 6, Cumbre Norte 13, Base Sur 4, Cumbre Sur 8. N: Norte, S: Sur, H: Horizontal.

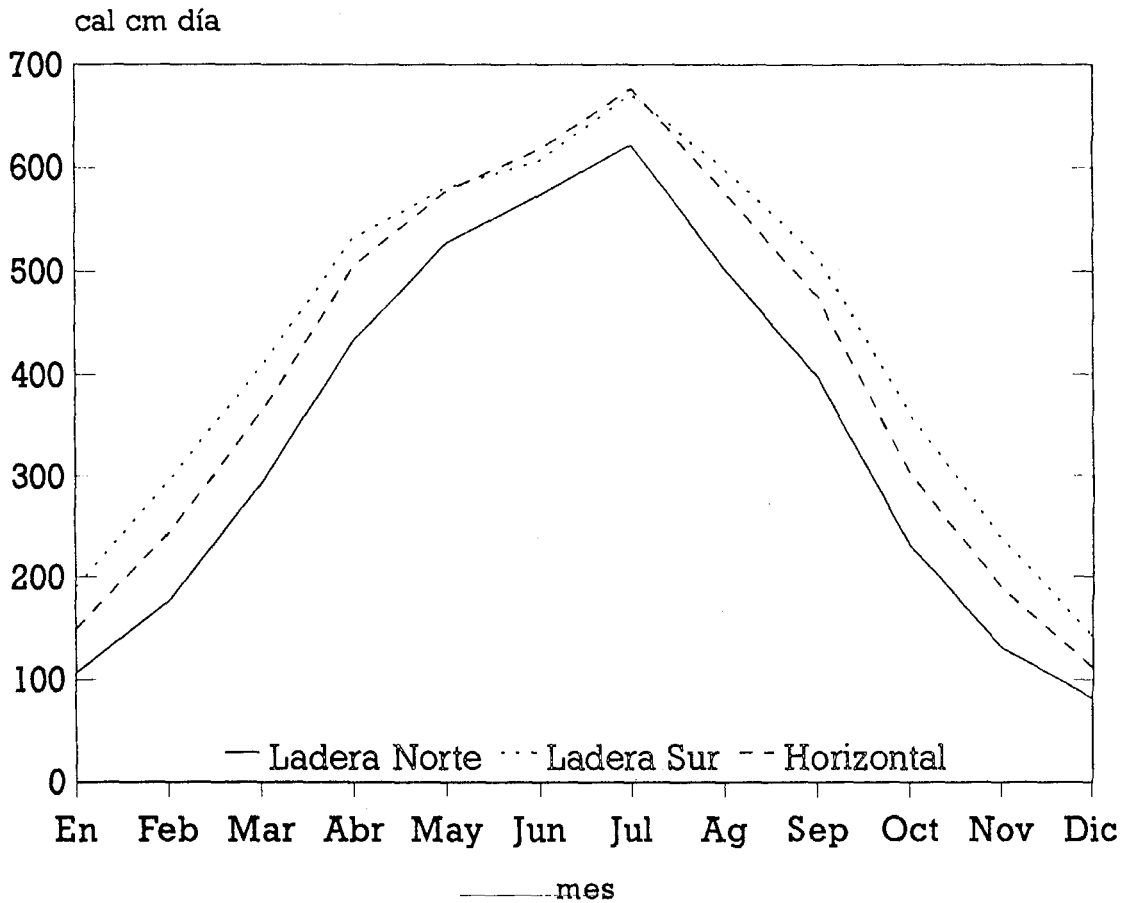


Fig. 2. Radiación de Onda Corta. Valores medios diarios ($\text{cal. cm}^2 \text{ día}^{-1}$) en laderas Norte, Sur y Horizontal.

Evapotranspiración Potencial

Los valores obtenidos en *ETP* anual promedio han sido ≈ 900 mm. promedio ladera norte, ≈ 1.100 mm. promedio ladera sur, y ≈ 1.000 mm. Horizontal. Por lo general se indica que el método empleado sobreestima los resultados (CUSTODIO y LLAMAS 1983), frente a la subestima generalizada de THORNTHWAITE, (más elevada cuanto mayores son las condiciones de déficit de precipitaciones). Sin embargo los resultados obtenidos no parecen indicar esta situación, sino más bien la contraria. Estudios precedentes en el área (DUARTE SILVA, 1987), y los datos ofrecidos en el Tanque de la estación de Almudébar indican valores superiores a 1.400 mm. año, en el mismo rango de otras evaluaciones realizadas en áreas semejantes del semiárido-árido mediterráneo (Tabla 2).

Por estas razones, al objeto de valorar más detalladamente la cuantía de *ETP* en la zona de trabajo, se procedió a una segunda aproximación estadística mediante la correlación de los valores del Tanque con los valores de *ETP*

estimados para la horizontal (r 0.99, con 11 gl y sig 0.05). Los altos valores de la correlación entre las estimas de *ETP* en posición horizontal y las estimaciones medias de *ETP* en diferentes posiciones de ladera (cumbre y base) señalaron también valores de r superiores a 0.99. Por ello se procedió a una estimación estadística basada en la regresión de *ETP* (X) sobre la evaluación del Tanque (Y) mediante la ecuación

$$Y = 0.06 + 1.41 X$$

siendo Y la estimación final de *ETP* en cada posición de ladera y X el valor de *ETP* estimado mediante la fórmula de Turc en cada punto. El cálculo se realizó en cada punto de control, indicándose los valores medios para posiciones de ladera (cumbre y base) en la Tabla 3 y Figura 4. Finalmente se señala que en cualquier caso los objetivos del trabajo han sido orientados a la búsqueda de diferencias relativas entre laderas, más que a la cuantificación exacta de los valores, por lo que esta aproximación estadística no afecta el sentido de las variaciones relativas entre laderas que se investigan.

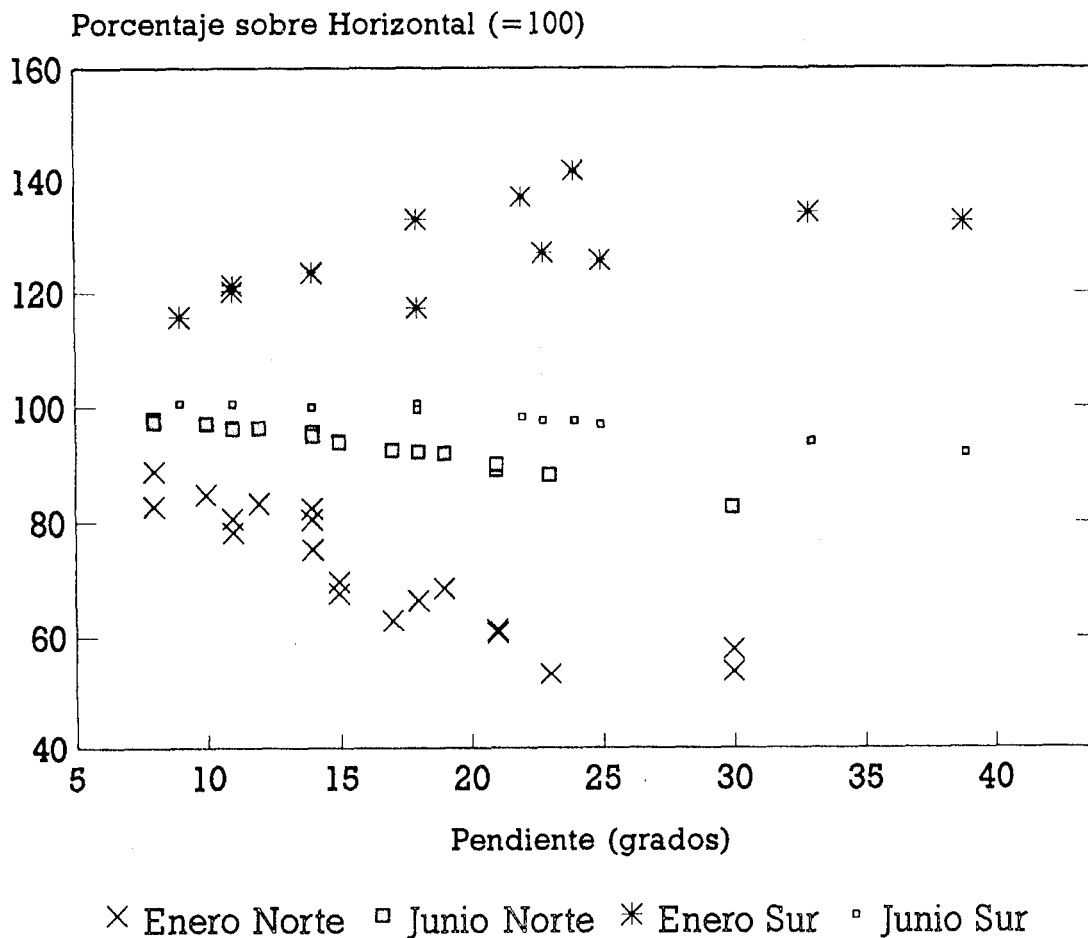


Fig. 3. Variaciones porcentuales del valor de R_i según la orientación de ladera y pendiente en los meses de máxima y mínima radiación. Horizontal = 100.

TABLA 2: VALORES DE ETP EN MEDIOS SEMIARIDO-ARIDOS

Localidad	Prec.	ETP	Método	Autor
Mont Poblet	504	1042	–	(1)
Alicante	400	1400	Tanque A	(2)
Faro (Portugal)	600	1600	–	(3)
Violada	450	1450	Tanque A	(4)
Arizona	300	3000	Modelo	(5)
Méjico Central	700	2000	Modelo	(5)
Mar Muerto	58	3200	–	(6)
Sinaí	93	2500	Tanque A	(7)

(1) PIÑOL et al (1988); (2) CHIRINO (1988); (3) JAHN et al (1989); (4) DUARTE SILVA (1987); (5) KIRKBY (1976); (6) ARONSON et al (1988); (7) KADMON et al (1989)

TABLA 3: ETP VALORES MENSUALES PROMEDIO POR POSICION LADERA

	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D	Tot.
Nb	20.3	34.2	77.6	128.3	170.8	206.6	235.6	197.8	151.7	84.7	38.8	20.7	1367.6
Nc	17.9	29.3	69.0	116.0	160.6	196.1	222.3	181.0	135.1	70.9	33.3	18.7	1250.6
Sb	27.9	46.1	94.4	143.4	178.7	210.1	243.1	217.7	175.7	107.9	54.4	27.7	1527.6
Sc	29.1	47.8	96.8	145.1	179.2	209.8	243.2	219.8	178.6	111.7	56.8	28.7	1547.1
H	23.7	39.9	86.3	137.7	178.1	213.4	245.0	211.3	164.1	94.5	46.3	23.8	1458.4
T	28.1	32.9	98.1	127.5	165.0	218.5	256.3	228.3	150.3	77.6	30.1	21.1	1434.4

Estimación ETP por aproximación según valores del Tanque. Nb: Norte base; Nc: Norte Cumbre; Sb: Sur base; Sc: Sur cumbre; H: Horizontal; T: Evaluación Tanque (tipo A, 1983-1988)

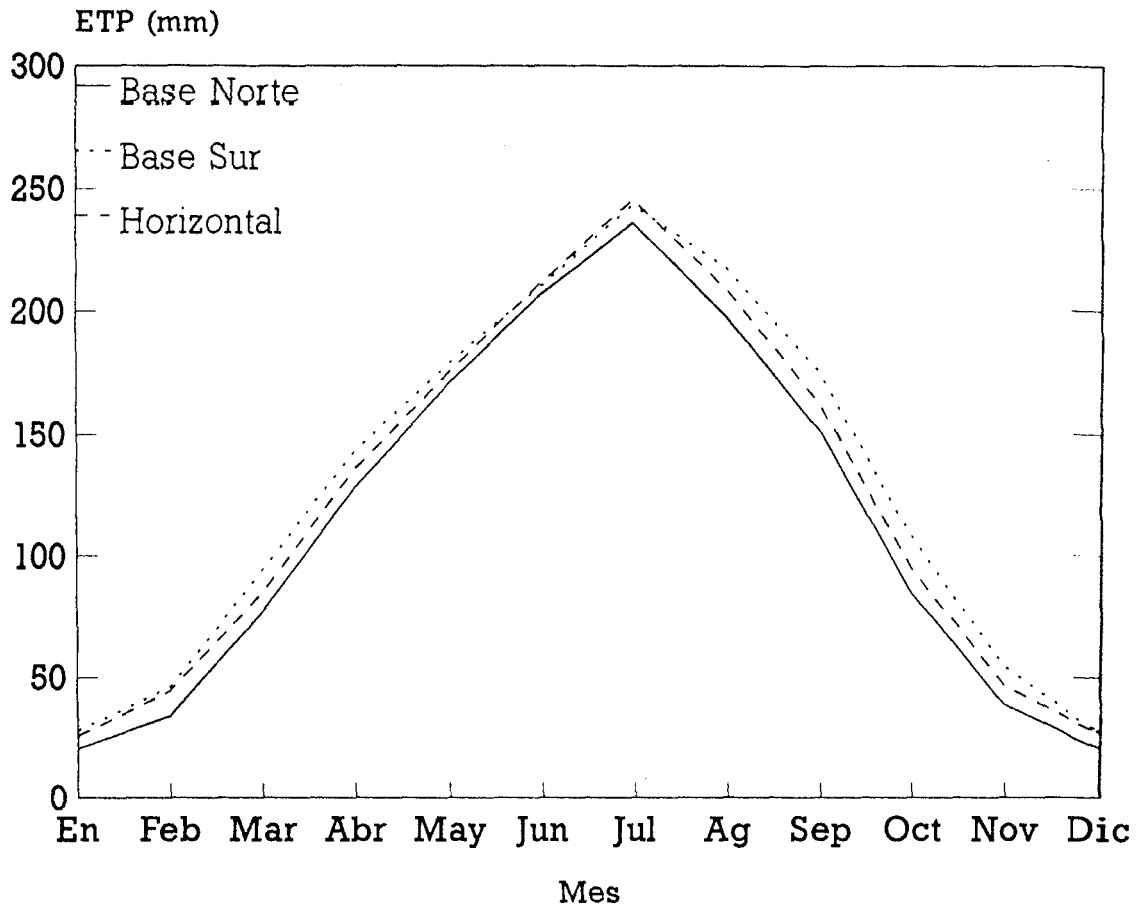


Fig. 4. Evaluación mensual de ETP en laderas de diferente exposición. Valores promedio en situación basal.

Los máximos anuales de ETP se localizan en el mes de julio y los mínimos en enero, con un ligero desfase respecto a los mínimos de radiación de un mes en la ladera fría. La evolución mensual presenta una variación de los porcentajes de ETP respecto a los valores de la horizontal indicada en la Figura 5 y Tabla 4.

Las mayores desviaciones sobre la horizontal se localizan en los meses de invierno, refiriéndose a los valores absolutos inferiores del año. Nuevamente es la ladera fría la que ofrece valores inferiores a la horizontal.

La diferencia mínima respecto a la horizontal se logra antes en solana (junio) que umbría (julio), aunque el orden final de magnitud sea muy escaso. Es evidente que la altura del sol a lo largo del año, el efecto de pantalla definido en el F.V.H. conjugado con la pendiente, y la temperatura son los factores responsables de los desfases mensuales entre los máximos y mínimos de R_i y ETP entre laderas.

En la Figura 6 se muestran los valores anuales de ETP de todos los puntos de medición en porcentajes sobre la horizontal (Y) respecto al valor de la pendiente (X). El efecto de la pendiente es mucho más acusado en la ladera

fría que en la cálida en intervalo de pendientes analizado (40°), llegando a alcanzar una reducción de 30% de la demanda.

Por su parte, la evolución intraanual de los efectos de la pendiente sobre ETP se observa en la Figura 7, en la que se representan las variaciones porcentuales de ETP de los meses de enero y junio. Las variaciones mensuales inducidas por la pendiente son más acusadas en umbría que en solana, y en mayor medida en los meses con valores menores de Ri.

El efecto de la orientación y pendiente y las variaciones espacio-temporales

Por lo mostrado hasta el momento, los valores de ETP se ven afectados por la orientación de ladera y el valor de pendiente de la misma. Los resultados diferencian claramente el valor de la demanda atmosférica en ambas situaciones, lo que permite sugerir un modelo general de evaluación de ETP bajo la siguiente notación:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 * X_2$$

siendo X₁ la Pendiente; X₂ la Exposición Topográfica y X₃ el producto de X₁ y X₂.

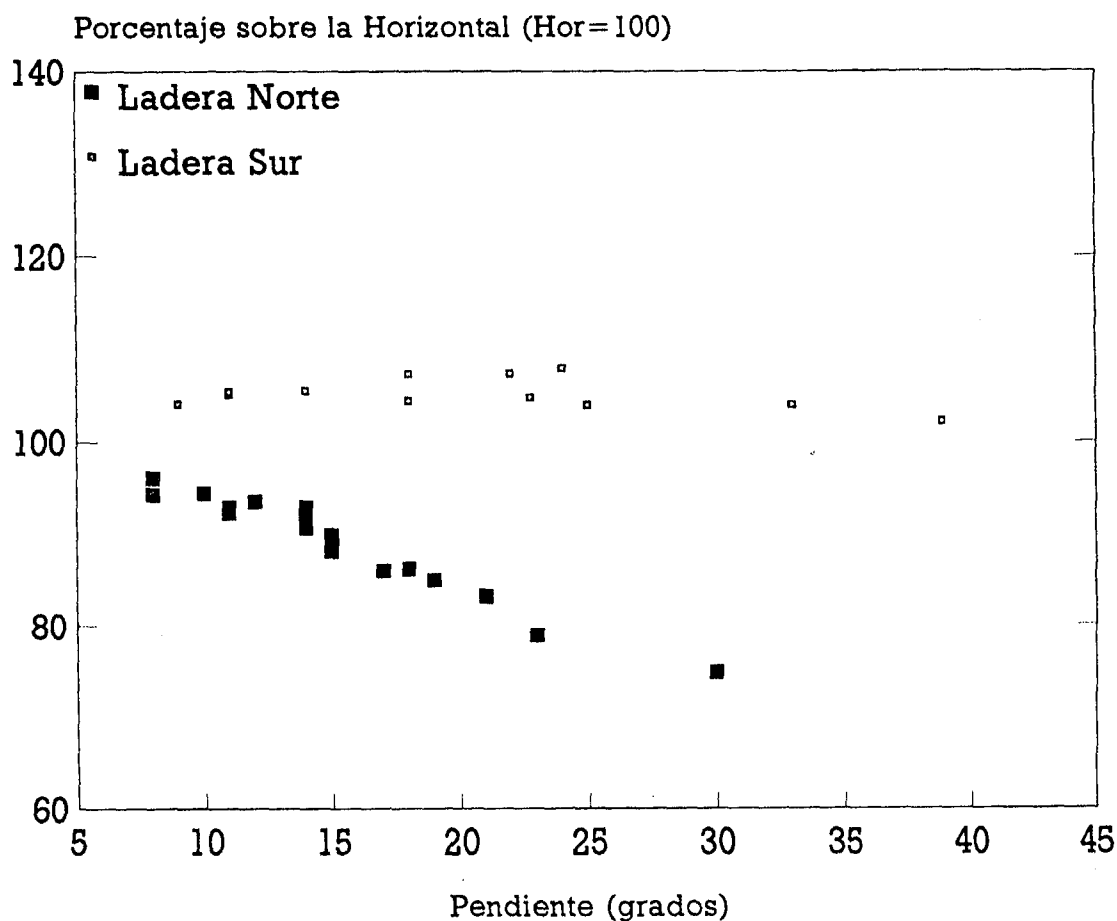


Fig. 5. Variaciones porcentuales de ETP sobre la horizontal según orientación y posición de ladera. Horizontal = 100.

TABLA 4: ETP VARIACIONES PORCENTUALES POR POSICION LADERA SOBRE HORIZONTAL

	E	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Nb	85.6	85.3	89.9	93.1	95.9	96.8	96.1	93.6	91.8	89.7	83.7	87.1
Nc	75.5	70.8	80.0	84.2	90.1	91.9	90.7	85.6	81.8	75.0	71.9	78.9
Sb	117.8	115.1	109.3	104.1	100.4	98.4	99.2	103.0	106.3	114.2	117.4	116.3
Sc	122.6	119.5	112.1	105.4	100.6	98.3	99.2	104.0	108.1	118.2	122.6	120.7

Valores promedio de los puntos de control. Nb: Norte base; Nc: Norte Cumbre; Sb: Sur base; Sc: Sur cumbre

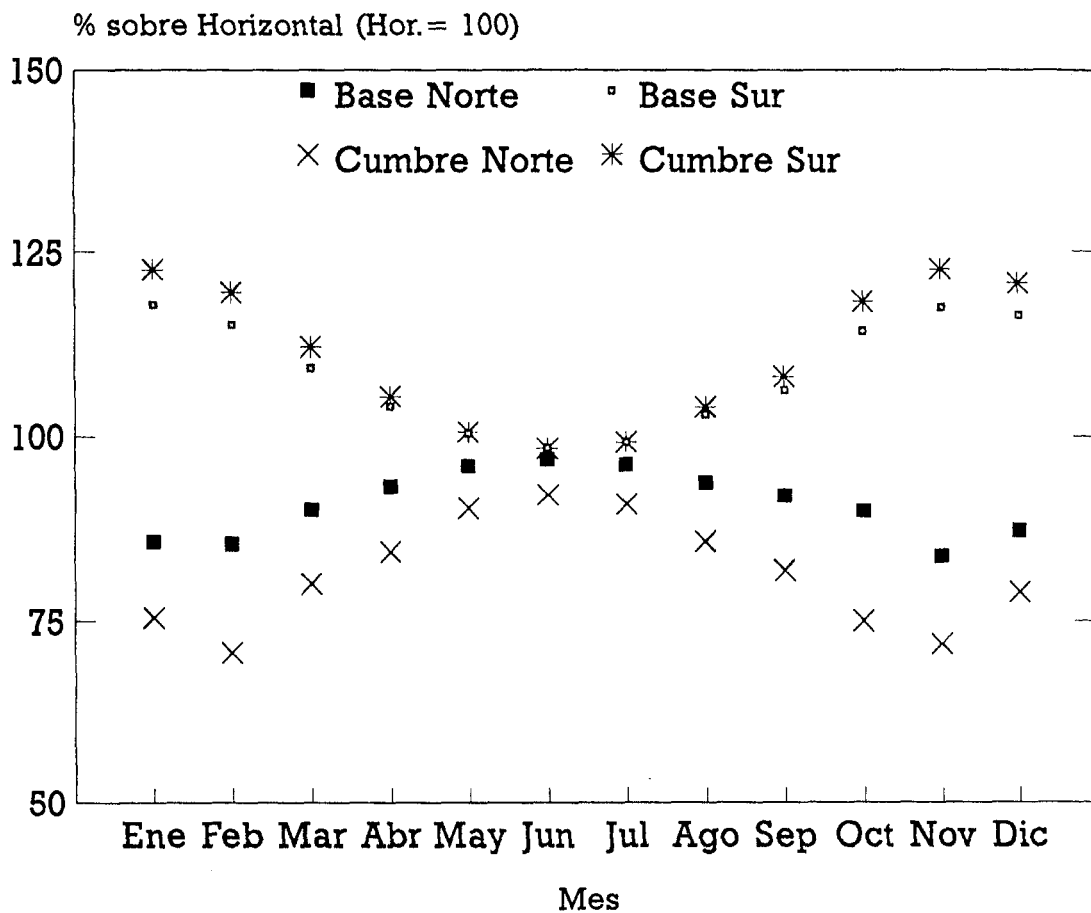


Fig. 6. Variaciones porcentuales del valor de ETP anual según la orientación de ladera y pendiente. Horizontal = 100.

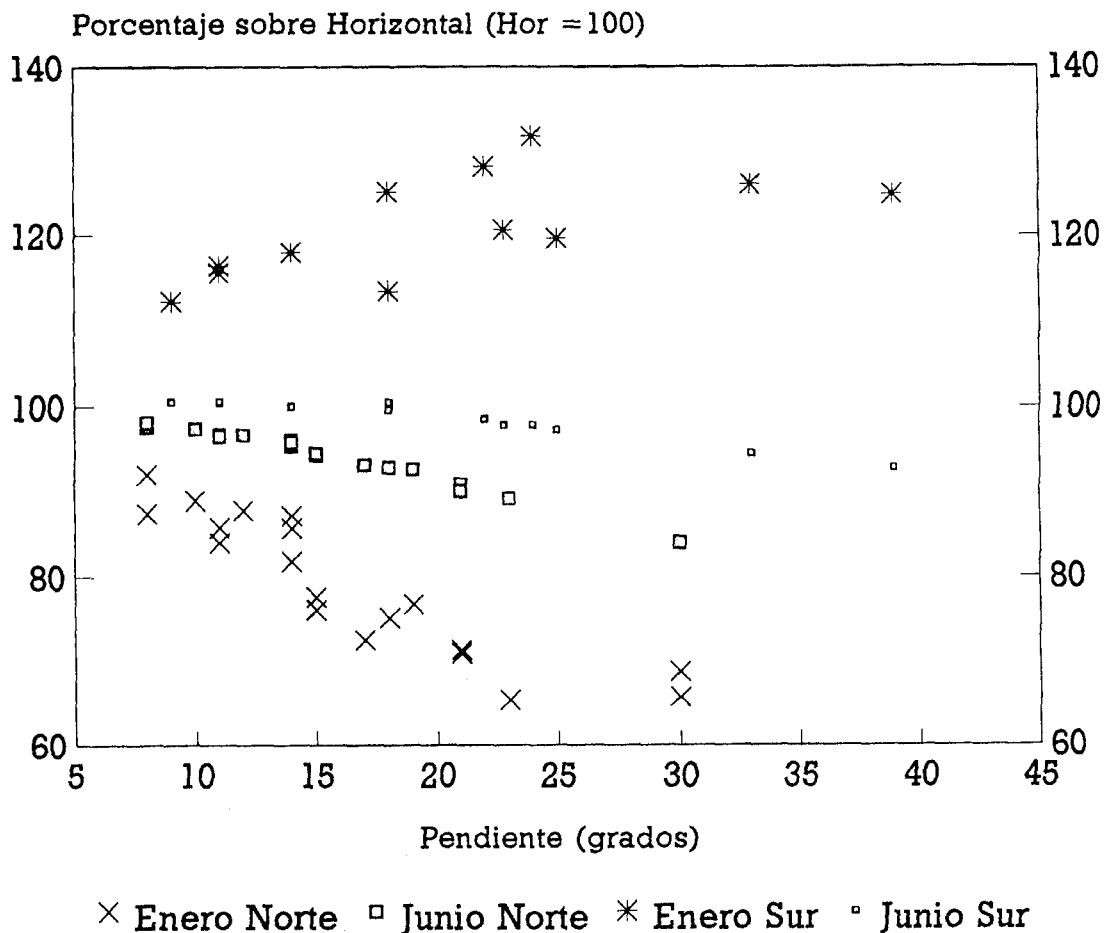


Fig. 7. Variaciones porcentuales del valor de ETP según la orientación de ladera y pendiente en los meses de máxima y mínima demanda atmosférica. Horizontal = 100.

Dado que la Exposición Topográfica es una variable cualitativa se ha optado por una transformación DUMMY (CLARK y HOSKING 1986, 427 y ss.) al objeto de poder incluirla cuantitativamente en el modelo, con valor de 0 en norte y 1 en sur.

Los resultados de este modelo general son los siguientes

Parámetro	Coficiente	Error Coef.	Significación
β_0	1523.22	13.03	0.000
β_1	-14.51	0.74	0.000
β_2	35.36	19.94	0.087
β_3	13.57	1.00	0.000

con $R^2 = 0.98$ y $n = 31$.

EFECTO DE LA EXPOSICION DE LADERA Y PENDIENTE EN LA DEMANDA ATMOSFERICA

Como resultado general llama la atención la ausencia de significación de la variable Exposición (X_2), subsumiéndose sus efectos en la interacción con la pendiente. En otras palabras: el efecto de la exposición se manifiesta a través del valor de la pendiente, resultando en un efecto no independiente de la interacción con ésta.

El desarrollo del modelo en ambas laderas produce las siguientes expresiones

Ladera Norte, $ETP = 1523.22 - 14.51$ Pendiente

Ladera Sur, $ETP = 1523.22 - 14.51$ Pendiente + 13.57 Pendiente Exposición,
con resultado $ETP = 1523.22 - 0.94$ Pendiente

Nótese que en ambas expresiones se elimina por falta de significación la variable X_2 (Exposición), en la ladera norte se anula la variable X_3 dado el valor de 0 de la interacción X_1 y X_2 (recuérdese que la transformación DUMMY en ladera Norte es 0 para X_2), y se simplifica en ladera sur el resultado de X_1 y X_2 .

El test de paralelismo entre ambas regresiones lineales asume una hipótesis nula $H_0 = \beta_3 = 0$, siendo el valor del estadístico $t = 13.4975$, cuya probabilidad es superior a 0.0001. Dado que esta probabilidad es < 0.05 , se puede rechazar dicha hipótesis, admitiendo por tanto que existen diferencias entre ambas regresiones, es decir: la existencia de valores de ETP distintos acorde la pendiente y la interacción de ésta con la orientación de ladera.

La ausencia de significación de la variable exposición topográfica en el modelo general ha sugerido realizar un segundo análisis mediante el método de regresión por pasos (stepwise), con los resultados finales siguientes

Parámetro	Coefficiente	Error Coef.	Significación
β_0	1538.33	10.23	0.000
β_1	-15.31	0.61	0.000
β_3	15.21	0.40	0.000

con valor de $R^2 = 0.98$ y $n = 31$.

Las diferencias con el modelo general estriban en que en el nuevo cálculo se han eliminado, tras iteraciones, los efectos de la exposición topográfica. El desarrollo del modelo produce finalmente la siguiente expresión:

$ETP = 1538.33 - 15.31$ Pendiente + 15.21 Pendiente Exposición.

El estudio de los residuos entre los valores evaluados y los producidos por la función señala una distribución normal de los mismos (Figura 8), corroborada por el test de Dubin Watson (1.697), que permite aceptar la validez del modelo en el área de estudio.

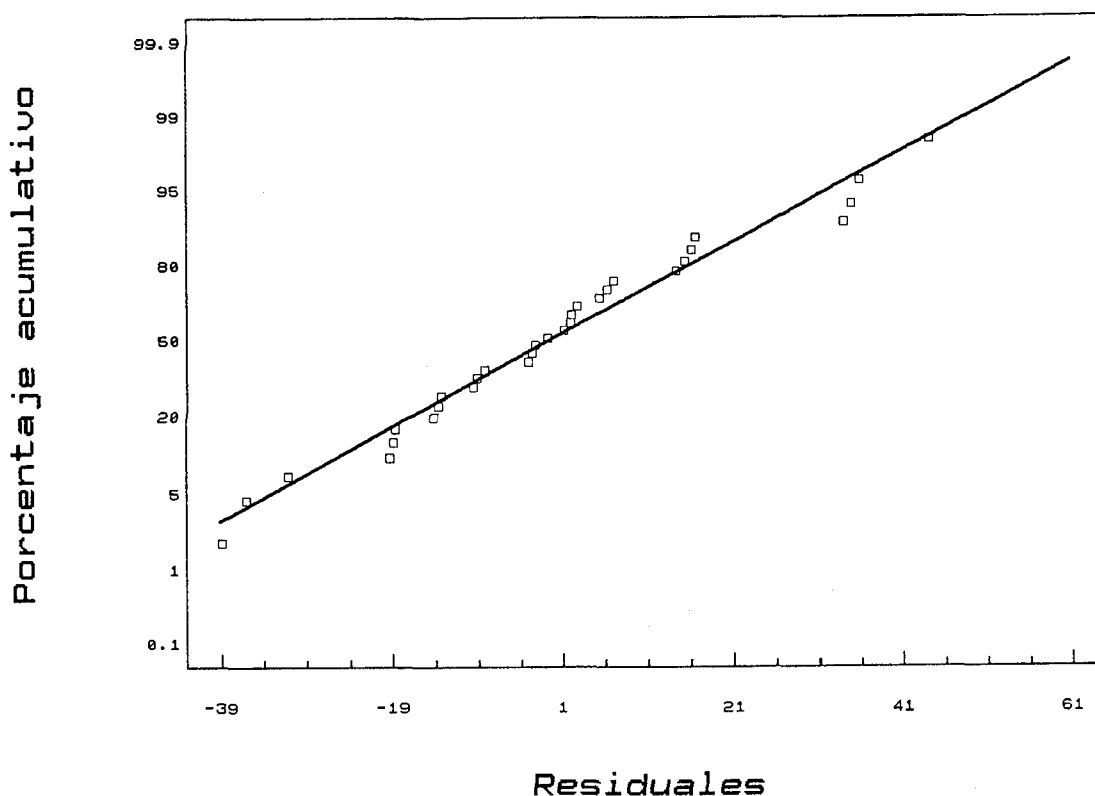


Fig. 8. Normalidad de los resultados. La línea recta representa la distribución teórica normal de los datos, en cuyo entorno se representan los valores de los residuos obtenidos con la regresión, por el método de los mínimos cuadrados, de los datos empíricos.

Un segundo aspecto de interés es el análisis de los efectos que cada variable produce en el cálculo de *ETP*. De manera genérica la pendiente aminora el valor de *ETP*, hecho señalado en el signo negativo de β_1 mientras en el caso de β_3 el efecto conjugado de la pendiente con la exposición es positivo. Esta situación explica la diferencia observada entre los valores calculados de ambas laderas (véase Figuras 6 y 7), y sugiere que la ladera de orientación sur es un espacio diferenciado de la umbría, y mucho más homogéneo en cuanto a valores de demanda atmosférica potencial. De la misma manera el estudio de la función permite reconocer que la causa de esta diferencia no es la orientación por sí misma, sino por su interacción con la pendiente.

Los valores mensuales de *ETP* han sido sometidos a Análisis de Varianza I Vía. Los resultados señalan que entre meses existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las posiciones de ladera dentro de la ladera fría, pero que no existen en la ladera cálida. Así la ladera de orientación sur aparece como un espacio mucho más homogéneo a lo largo del año que la ladera norte, redundando en la ausencia de efectos derivados del cambio de pendiente en la ladera cálida.

En una segunda fase se compararon los valores de la zona basal de ladera norte (el sector con mayores valores evaluación de *ETP*) con los valores del conjunto de puntos muestreados en la ladera sur. Los resultados indicaron que las diferencias se mantenían a lo largo de los meses a excepción del mes de junio, en que no eran significativas. En dicho mes hemos de recordar que se observaron las menores diferencias en los valores de *Ri*, indicando nuevamente la dependencia de la evaluación de *ETP* respecto a la Radiación, y el efecto homogeneizante de los períodos de máxima *Ri* sobre *ETP*.

Los resultados obtenidos concuerdan con el denominado "quality site" (SPURR y BARNES 1980), en el que se reconoce el papel de la orientación de la ladera subordinado al valor de la pendiente en relación a la calidad de un lugar para el establecimiento de la cubierta vegetal, estando a su vez acordes con los estudios de GANDULLO (1974) sobre el efecto de la orientación y pendiente en el valor de *Ri* recibido.

De la misma manera, los resultados obtenidos matizan la naturaleza de los efectos observados en numerosas investigaciones en las que se ha constatado una diferencia clara entre laderas de diferente exposición topográfica en aspectos tales como diversidad botánica y florística (SPECHT 1972; PUERTO et al 1983 a y b; DARGIE, 1987; CORREIA et al 1987), biomasa vegetal (ASHTON 1976; GONZALEZ HIDALGO 1992), crecimiento y regeneración vegetal (DROZOV 1971; BLACK 1987), ciclo hidrológico (DOUGUEDROIT 1974; YAIR et al 1980; KADMON et al 1989; YAIR y BERKOWICZ 1989, etc), y la interacción entre hidrología y vegetación (COTONNEC 1971; FAULKNER 1990; PARKER 1991) que en consecuencia debieran ser atribuidos no a la exposición topográfica sino a los efectos conjugados de ésta con la pendiente.

5. Conclusiones

La evaluación de la demanda potencial en el ambiente semiárido estudiado manifiesta la presencia de diferencias muy marcadas en laderas de diferente exposición, atribuibles en gran medida a las variaciones inducidas en la cuantía de *Ri* recibida.

La pendiente y su interacción con la orientación de la ladera son los factores que se reconocen causantes de tales variaciones, no habiéndose mostrado la exposición topográfica aisladamente como una variable significativa en el cálculo de la demanda atmosférica potencial.

Esta situación produce efectos diferenciados en ambas laderas, y así en umbría se detectan diferencias según la posición dentro de la ladera, mientras la solana se manifiesta como un espacio más homogéneo.

La proyección en el tiempo de ambos efectos sobre los valores de *ETP* indica que la solana es un espacio mucho más homogéneo que la umbría, y que en ésta las condiciones de demanda potencial se asemejan a los valores de solana en las zonas basales únicamente en los momentos de máxima *ETP*.

En consecuencia, la pendiente, y la interacción entre la exposición topográfica y la pendiente aparecen como variables capaces de determinar las

cuantías de la demanda potencial atmosférica, indicando que en un corto espacio se pueden producir condiciones ambientales muy diferenciadas capaces de afectar el ciclo del agua.

Referencias bibliográficas

- ARONSON, J.; KIEGEL, J. & SHMIDA, A. (1988): Responses to water stress in mediterranean and desert ecotypes in two annual grasses and a crucifer. En *Time scales and water stress*: 239-245 (Di CASTRI et al Eds.).
- ASHTON, DH. (1976): Phosphorus in forest ecosystems at Buena Vista Victoria. *Jour. Ecology*, 64: 171-186.
- BLACK, CH. (1987): Phosphorus accumulation over southern California fire cycle chronosequence. En *Plant response to stress*: 445-458 (J. TENHUNEN et al Eds.).
- CAPEL, J. J. (1981): *Los climas de España*. Oikos Tau, Barcelona.
- CEOTMA (1984): *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. DGMA, Madrid.
- CHIRINO, E. (1987): Problemática de la reforestación en la Comunidad Valenciana: estimación de las pérdidas de erosión producidas por las técnicas usuales de la repoblación forestal. Tesis Msc ICAMAS, 201 p.
- CLARK, W. A. & HOSKING, P. L. (1986): *Statistical methods for geographers*. J. W. & Son, Nueva York.
- CORREIA, O.; CATARINO, F.; TENHUNEN, J. & LANGE, OL (1987): Regulation of water use by four species of *Cistus* in the scrub vegetation of the Serra da Arrábida (Portugal). En *Plant response to water stress*: 247-258 (Tenhunen et al Eds.).
- COTONNEC, M. M. (1971): Comparaison des deux versants du Vallon de la Cote Blanche (Fôret de Beynes, Yvelines). *Bull Association Geogr. Français*, 387-388: 169-173.
- CUADRAT, J.M. (1979): Aportación metodológica al estudio de la insolación en áreas de montaña. Aplicación al Parque Nacional de Ordesa. *Rev. Geographica*, 41-53.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. (1983): *Hidrología Subterránea*. Omega, I, Barcelona.
- DARGIE, TCD (1987): An ordination analysis of vegetation patterns on topoclimate gradients in south-east Spain. *Jour. of Biogeography* 14, 3: 197-211.
- DOUGHEDROIT, A. (1974): Le rôle de l'humidité des sols dans l'opposition de la végétation entre adrets et ubacs. *Bull. Ass. Géog. Fran.*, 415: 133-140
- DROZOV, A.V. (1971): The productivity of zonal terrestrial plant communities and the moisture and heat parameters of an area. *Sov Geogr.*, 12: 54-60 citado en WHITTAKER, R.H. & MARKS, P.L. (1975): Methods of assessing terrestrial productivity. En *Primary productivity of the Biosphere*: 55-118 (H. LIETH & R.H. WHITTAKER Eds.).
- DUARTE SILVA, M.J. (1987): Determinação da Evapotranspiração real no perímetro da rega de la Violada. Relatório do trabalho realizado no IAMZ, Inst. Agronómico Mediterrâneo de Zaragoza, inédito.

- FAULKNER, H. (1990): Vegetation cover density variations and infiltration patterns on piped alkali sodic soils: implication for the modelling of overland flow in semi-arid areas. En *Vegetation and Erosion*: 317-344 (J.B. THORNES Ed.).
- FELICISIMO, A.M. y CEPEDAL, G. (1984): Estimación de la radiación solar incidente sobre superficies con pendiente y orientación variables. *Studia OEcologica*, 5: 267-284.
- GANDULLO, J.M. (1974): Ensayo de evaluación cuantitativa de la insolación en función de la orientación y la pendiente del terreno. *Ann. INIA, Ser. Rec. Nat.*, 1: 95-107.
- GONZALEZ HIDALGO, J.C. (1988): *Geomorfología y procesos morfogenéticos en los márgenes del polígono de riegos de la Violada. Aproximación metodológica*. Tesis Msc. Inst. Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.
- GONZALEZ HIDALGO, J. C. (1992): *Procesos de erosión hídrica en el semiárido aragonés. Exposición topográfica y cubierta vegetal factores de erosión*. Tesis Doctorado, D. Geografía, U. Zaragoza, inédita.
- GRACIA, C. (1989): Análisis de la radiación solar incidente. Programa RADIAC. Dep. Ecología Fac. Biol. Univ. Barna. Versión 3.7.81. (lenguaje BASIC).
- JAHN, R; PFANNSCHMIDT, D. & STAHR, K. (1989): Soils from limestone and dolomite in the central Algarve (Portugal), their qualities in response to groundwater recharge, runoff, erodibility and present erosion. *Catena Supp.*, 14: 25-42.
- 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. (1976): Hydrological slope models: the influence of climate. En *Geomorphology and Climate*: 247-267 (E. DERBYSHIRE, Ed.).
- KIRKBY, M. J.; ATKINSON, K. & LOCKWOOD, J. (1990): Aspect, vegetation cover and erosion in semi-arid hillslope. En *Vegetation and Erosion*: 25-89 (J.B. THORNES, Ed.).
- OKE, T.R. (1987): *Boundary layer climates*. Methuen, Londres.
- PARKER, K.C. (1991): Topography, substrate, and vegetation patterns in the northern Sonoran Desert. *Jour of Biogeogr.*, 18: 151-163.
- PIÑOL, J.; LLEDO, M.J.; BELLOT, J.; ESCARRE, A. & TERRADAS, J. (1988): Evapotranspiration estimation and runoff response of two mediterranean forested watershed. En *Time scales and water stress*: 197-201 (Di CASTRI et al Eds.).
- PUERTO, A.; RICO, M. & GOMEZ GUTIERREZ, J. M. (1983 a): 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 b): Diferenciación de comunidades en función de la orientación y del efecto del redileo. *Studia OEcologica*, 4: 125-136.
- SPURR, S.H. & BARNES, B.V. (1980): *Forest Ecology*. J.W. & S., N.Y.
- THORNES, J.B. (1976): *Semi-arid erosional systems: case studies from Spain*. L.S.E.P.S., Geogr. Paper 7.

- THORNES, J.B. & GILMAN, A. (1983): Potential and actual erosion around archeological sites in south east Spain. Rainfall simulation, runoff and soil erosion. *Catena Supp.*, 4: 91-112.
- THORNTHWAITE, C.W. (1943-1944): Report of the Committee on Transpiration and Evaporation. *Transac. Amer. Geophys. Union* 25: 683-693. Cit. en BORDNE, E.F. & McGUINNESS, J.L. (1973): Some procedures for calculating potential evapotranspiration. *Prof. Geogr.*, 25 (1) 22-28.
- SANCHEZ TORIBIO, M. I. (1992): *Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración*. Cuadernos Técnicos de la SEG, 3, Geoforma, Logroño.
- SPECHT, R.L. (1972): Water use by perennial evergreen plant communities in Australia and Papua New Guinea. *Aust. Journ. Bot.*, 20: 273-299.
- Van BAVEL, C.H.M. (1966): Potential Evaporation. The combination Concept and its Experimental Verification. *Water Res. Research* 2: 455-468. Cit. en BORDNE, E.F. & McGUINNESS, J.L. (1973): Some procedures for calculating potential evapotranspiration. *Prof. Geogr.*, 25 (1) 22-28.
- 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. & ADAR, E. (1980): Runoff and erosion processes and rates in the Zin valley badlands, Northern Neveg, Israel. *Earth Surf. Proc. and Landforms*, 5: 205-225.
- ZAIDENBERG, R.; DAN, J. & KOYUMDJISKY, H. (1982): The influence of parent material, relief and exposure on soils formation in the arid region of Eastern Samaria. *Catena Supp.*, 1:117-137