

CORRESPONDENCIA ENTRE DIVERSOS FACTORES Y LA DISTRIBUCION DE LA VEGETACION EN UNA LADERA EROSIONADA

por

A. GIL CRIADO, E. LUIS CALABUIG y J. M. GOMEZ GUTIERREZ



PUBLICADO EN
ANALES DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA
Tomo XXXVI, Núms. 5-6 — MADRID, 1977

CORRESPONDENCIA ENTRE DIVERSOS FACTORES Y LA DISTRIBUCION DE LA VEGETACION EN UNA LADERA EROSIONADA

por

A. GIL CRIADO *, E. LUIS CALABUIG ** y J. M. GOMEZ GUTIERREZ **

SUMMARY

INTERDEPENDENT EFFECTS OF HERBACEOUS VEGETATION OF AN EROSIONED SLOPE WITH VARIOUS BIOTIC AND ABIOTIC FACTORS

The interdependent effects of herbaceous vegetation of an eroded slope with various biotic and abiotic factors are studied by means of the analysis of correspondence. The inventories were made across a transection that goes from the stream bank to the top of the slope, along a distance of 100 m. and they are based on meristic data of abundance of species per plot.

In respect of the diagram defined by components I and II, which represents 23 % of the total variance, we obtain the classification of the plots distributed along three directions clearly defined: «Degree of Erosion» and «Influence of Trees» which follow opposite directions, and «Influence of Pasture» which is perpendicular to both, remaining in the center an «Ecotonic zone» between the above two factors.

Comparing these results with those estimated previously it will be seen that they are very significant underlining the practical utility of this analysis.

Finally we apply a method of evaluation based on this analysis in order to quantify potentially the environmental value of the dominant tendencies. The erosion factor appearing to be the one showing the greatest influence on the whole of the slope was studied.

INTRODUCCIÓN

En las zonas de penillanura es muy frecuente que la monotonía horizontal se rompa más o menos bruscamente por cauces de arroyos, con laderas frecuentemente erosionadas y con una enorme variedad de pendientes y subcauces. En la base de la ladera pueden formarse pequeñas zonas de acumulación que suelen desembocar en una vega, formada

* Centro de Cálculo del C. S. I. C.

** Sección de Praticultura del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca.

por los sedimentos del río o arroyo que discurre serpenteante por el fondo, cuyo caudal, muy variable a lo largo del año, es el responsable de los accidentes topográficos indicados. La profundidad, nivel de pendiente y grado de erosión, son funciones de la naturaleza y profundidad de suelo, de la dureza de la roca madre, de la pendiente del terreno por el que discurre el cauce fluvial y del caudal del arroyo que, a su vez, lo es del régimen de precipitaciones.

Estos accidentes topográficos son muy característicos en áreas del Terciario y Cuaternario, pero tienen una especial significación en las zonas silíceas al oeste del río Tormes. En esta zona, ocupada principalmente por las dehesas salmantinas con predominio de pastizales, estos núcleos de erosión constituyen una unidad ecológica bastante definida. Por su pendiente y por los accidentes del suelo, con sus innumerables cárcavas secundarias, estas áreas no han sido nunca labradas y la vega, pequeña zona de acumulación marginal del arroyo, es un prado con plantas vivaces que llegan a constituir una pradera semiagostante. El grado de erosión suele ser más acusado cuando se labra la meseta superior.

Dichas laderas erosionadas suelen estar ocupadas por matorral-bosque, en muy diversas etapas seriales. Cuando dicha ladera es amplia, suele limpiarse de matorral, desmonte, conservando siempre los árboles más desarrollados (encinas o robles).

En una de estas laderas se ha realizado el estudio cuyos resultados presentamos en este trabajo.

La ladera se sitúa en la margen derecha del arroyo Valmuza, en la finca Muñovela, a 14 Km. de Salamanca en dirección SW por la carretera Salamanca-Ciudad Rodrigo. El arroyo llega a conseguir cierto caudal en invierno-primavera, secándose en verano y quedando las clásicas pozas, con agua todo el año, en las zonas donde la erosión ha sido más profunda. El cauce discurre, en la citada finca, entre limos rojos de gran potencia, sobre los que ha incidido más la erosión (margen derecha, o sea la zona estudiada), y otra con acumulación de tierras pardas con gravas (margen izquierda), donde la erosión no es tan patente y su pendiente muy suave. Así pues, la ladera está constituida por suelo rojo, en gran parte truncado (García Rodríguez, 1964) con las capas profundas del mismo al descubierto y en fases múltiples de edafización cuando la pendiente facilita la erosión máxima. La vegetación está compuesta por encina (*Quercus ilex* L.), en sistema de monte aclarado, matorral de la misma (chaparras) y un submatorral de *Dorycnium pentaphyllum* Scop., *Thymus Zygis* L. y *Thymus mastichina* L., más ejemplares aislados de *Crataegus monogyna* Jacq. que alcanza su pleno desarrollo en los márgenes del arroyo. Hay además hierbas efímeras, vivaces, etc., cuyo inventario incluimos en el apéndice. Donde la pendiente comienza a suavizarse, en el fondo de la ladera y hasta el arroyo,

se ha formado un suelo por material de arrastre; es una pequeña vega de colmatación con material autóctono, cubierta por pastizal. La meseta superior se labra regularmente para el cultivo de cereal.

La transección realizada comienza junto al arroyo, en una parte con cauce profundo y encajado donde el agua no para, es decir, se seca pronto. Por tanto, la vegetación de los primeros inventarios no está muy influenciada por el agua del arroyo, de la que cuando fluye está separada por un escarpe aproximado de metro y medio. En la zona de la pequeña vega que tiene unos veinte metros de anchura se sitúan los cuatro primeros inventarios y el resto en la ladera, de unos 80 m. de longitud, y con exposición al NW.

Se trata de una ladera afectada por un considerable número de factores que determinan la distribución de las plantas según ciertas relaciones causales y a lo largo de ella se encuentran pequeñas zonas con pasto; zonas bajo encina, otras erosionadas, algunas de pendiente acusada pero sin erosión debido a varios factores protectores, de rellano, etc.

Todo ello hace posible la presencia de un buen número de especies, algunas muy adaptadas a los factores dominantes, en tanto que otras sufren la lenta pero implacable dinámica de transformaciones e influencias, luchando con las competidoras, o aumentando su agresividad al serles más propicio el nuevo ambiente creado.

Con el fin de intentar conocer las relaciones y correspondencias de las plantas ante los diversos factores ambientales y porque el lugar parecía muy adecuado, precisamente por las características citadas, es por lo que se realizó el estudio cuyos resultados exponemos en el presente trabajo.

El valle del arroyo está sometido a un régimen de nieblas durante la estación húmeda que aumenta considerablemente la cantidad de agua precipitada, como consecuencia del efecto de condensación del arbolado (hasta 9 mm. se han llegado a recoger bajo una encina en día de niebla intensa).

Por similitud topográfica y por su proximidad, los parámetros macroclimáticos pueden ser referidos al observatorio de Salamanca, y consultados en el trabajo de Garmendía (1964).

MATERIAL Y MÉTODOS

Los inventarios se tomaron cada cinco metros a lo largo de la transección, a partir del arroyo, hasta donde empieza la llanura labrada.

Para realizar los inventarios se utilizó un cuadrado de 50 cm. de lado.

Se estimaron: presencia, abundancia, cobertura y estrato, tomándose además muestras del suelo para su análisis químico y granulométrico, con datos de la pendiente.

En el presente trabajo solamente utilizamos los datos de abundancia: (+) individuos aislados, (1) especie rara, (2) escasa, (3) numerosa, (4) abundante, (5) muy abundante. Los inventarios coincidieron con zonas de influencia del arbolado, bajo encina, con ligera erosión, muy erosionados, etc.

Para poder establecer el grado de relación con los agentes o factores dominantes (bióticos y abióticos), se realizó previamente una clasificación de las superficies inventariadas a los siguientes conceptos:

- a) Grado de erosión.
- b) Dominio del pastizal.
- c) Alteración (por proximidad a una zona de paso que no llega a ser camino ni siquiera sendero, sino simplemente más frecuentada e intervenida por trasiego de hombres, animales y otros agentes).
- d) Influencia del arbolado y matorral.
- e) Grado de pendiente.
- f) Insolación.

La clasificación estimada para las parcelas quedó ordenada, de mayor a menor intensidad, de la siguiente forma:

	a)	b)	c)	d)	e)	f)
	124	106	106	111	106	106
	120	107	107	116	107	107
	125	108	108	115	108	108
	119	109	109	112	122	125
	118	110	116	114	121	124
	113	114		122	125	120
	117	111		121	124	119
	121	112		117	109	118
	115	122		110	123	113
	116	123		123	118	123
	122	116		109	119	110
	123	115		118	111	117
	114	121		113	110	109
	112	117		108	117	121
	111	113		119	113	122
	110	118		120	112	114
	109	119		107	114	115
	108	125		106	120	116
	107	120		125	116	112
	106	124		124	115	111

Los datos de abundancia se colocan en un cuadro para una mejor manipulación de los conjuntos de fila (parcelas) y de columna (especies).

Especie Parcela	A ₀₁	A ₀₂	...	j	...	Total
106						
107						
⋮						
i				X _{ij}		X _i
⋮						
Total				X _j		X

Dado el carácter probabilístico del cuadrado nos ha parecido conveniente poner en relación ambos conjuntos mediante un análisis factorial de correspondencias.

Podemos citar como complemento los trabajos de Benzecri (1969 y 1970), Brunerye y col. (1969), Lacoste y col. (1971 y 1972), Sancho-Royo (1974), Díaz Pineda (1975), etc.

La probabilidad de aparición de la especie *j*-ésima en la parcela *i*-ésima se estima con la frecuencia

$$p_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i,j} X_{ij}} = \frac{X_{ij}}{X}$$

con lo que

$$p_{\cdot j} = \sum_i p_{ij} = \frac{X_{\cdot j}}{X}$$

es la probabilidad de aparición de la especie *j*-ésima en todo el conjunto. Cada parcela tiene un peso probabilístico dado por la expresión

$$p_{i \cdot} = \sum_j p_{ij} = \frac{X_i}{X}$$

Con el fin de atenuar el peso de las frecuencias más altas, cada parcela se describe mediante las coordenadas

$$\frac{1}{\sqrt{p_{\cdot j}}} \left(\frac{p_{ij}}{p_{i \cdot}} \right) \text{ con } j = 1, 2, \dots, 101,$$

donde $\frac{p_{ij}}{p_i}$ es la probabilidad de aparición de la especie j -ésima, supuesto que se ha fijado la parcela i -ésima (*probabilidad condicional*). Se tiene así un espacio de 101 dimensiones en el que se adopta la distancia euclídea para definir la proximidad entre dos parcelas.

Análogamente describiendo las especies por las coordenadas

$$\frac{1}{\sqrt{p_i}} \left(\frac{p_{ij}}{p \cdot j} \right) \text{ con } i = 1, 2, \dots, 20$$

se considera *simultáneamente* otro espacio euclídeo de 20 dimensiones.

De esta manera queda definido un modelo muy sencillo que respeta el llamado *Principio de la equivalencia de las distribuciones* (Lebart y Fenelon, 1971); es decir que si dos parcelas i_1 e i_2 son coincidentes, se pueden sustituir por otra i_0 cuyo peso sea la suma de los pesos de aquellas.

$$p_{i_0} = p_{i_1} + p_{i_2}$$

Sin que esto afecte al cálculo de las distancias en cualquiera de los espacios euclídeos considerados anteriormente.

En esencia el cálculo consiste en extraer los valores propios y vectores asociados a ellos (*direcciones de variabilidad*) de una matriz (S_{ij}) , definida en el espacio de las especies por

$$S_{j_1 j_2} = \sum_{i=1}^{20} \frac{p_{i j_1} p_{i j_2}}{p_i \cdot \sqrt{p_{j_1} p_{j_2}}}$$

y conocida en la literatura científica con el nombre de *matriz de correspondencias*. Este cálculo es equivalente al de extraer los valores y vectores propios de la matriz de covarianzas entre las variables (especies).

Para obtener la representación simultánea de parcelas-especies en el espacio de los componentes (vectores propios) de forma que cada parcela sea explicada como c. d. g. de las especies que la definen se considera la relación:

$$g_{ik} = \frac{1}{\sqrt{\mu_k}} \cdot \sum_{j=1}^{101} \frac{p_{ij}}{p_i} f_{jk}$$

μ_k es el valor propio asociado al eje k -ésimo.

$f_{jk} = \frac{V_j(k)}{p \cdot j}$ es la proyección de la especie j -ésima sobre el eje k -ésimo y $V_j(k)$ es la coordenada j -ésima del vector propio asociado a μ_k .

g_{ik} es la proporción de la parcela i -ésima sobre el eje k -ésimo.

La interpretación de los componentes biocenóticos o factores puede hacerse más cómodamente con las llamadas *contribuciones*, tanto de especies como de parcelas que para cada factor k son números proporcionales a los cuadrados de las proyecciones f_{jk} y g_{ik} respectivamente.

Otra cosa distinta es el grado de dependencia (estadística) en la distribución parcelas-especies, ya que propiamente sólo se podría hablar de *total independencia* cuando fuesen ciertas las relaciones:

$$p_{ij} = p_i \cdot p_j \text{ para todos los valores de } i \text{ y } j.$$

Por consiguiente, parece obligado decir cómo dependen las parcelas de las especies y viceversa. Esto se consigue observando los *indicadores de dependencia*, que aumentan cuando existe dependencia. Así, por ejemp'o, la parcela 106 corresponde al indicador más alto (198,9), que con las especies B15 y B16 (ambas de indicadores 19,8) apunta claramente una dependencia de alteración.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De la matriz de correspondencias ($S_{j_1 j_2}$) destacan como más elevados los elementos de la diagonal principal, de los cuales entresacamos aquellos que superan el valor $1 \cdot 10^{-1}$. (Para simplificar los datos multiplicamos todos ellos por 10.)

A04	1,09	Agrostis castellana
A22	1,14	Cynosurus echinatus
B14	2,04	Periballia involucrata
B22	1,01	Poa trivialis
B25	2,37	Trisetum flavescens
C03	1,22	Echinaria capitata
C08	1,01	Velezia rigida
C10	1,08	Helianthemum aegyptiacum
C26	1,33	Bromus maximus
D22	1,25	Medicago minima
D23	1,25	Nardurus maritimus

especies con valores de abundancia elevados o que tienen una fuerte correspondencia entre sí:

B14 — C10	1,25	Periballia involucrata-Helianthemum aegyptiacum
B22 — C26	1,09	Poa trivialis-Bromus maximus
D22 — D23	1,25	Medicago minima-Nardurus maritimus.

Las dos primeras son comunes en las parcelas 124 y 125, con una abundancia de 1-3 y 1-1 respectivamente; el par siguiente tiene presen-

cia común en la parcela 110 con abundancia de 2 y el último par es común en la parcela 124 con abundancia de 1.

Los valores propios (μ_k) asociados a los tres primeros ejes extraídos son por orden decreciente:

$$I \ 0,68975 \quad II \ 0,56382 \quad III \ 0,41681$$

y los porcentajes correspondientes a estos valores propios son:

$$I \ 12,70 \% \quad II \ 10,38 \% \quad III \ 8,89 \%$$

que representan en total un 31,97 por 100, valor que hace claramente explicables los tres primeros componentes.

Antes de pasar a la interpretación de la ordenación de parcelas y especies sobre los ejes vamos a señalar y comentar las contribuciones más relevantes para las parcelas y las especies, anotándolas en una tabla sistemática.

Componente I		Componente II		Componente III		Indicadores de depen.
Parcela	Contribución	Parcela	Contribución	Parcela	Contribución	
106	0,42	106	0,43			
107	0,20					
118	0,21			118	0,32	
119	0,24			119	0,23	
120	0,27					
124	0,21			124	0,40	
125	0,22					

La mayoría de las parcelas, con contribuciones altas para los tres primeros componentes, son las que tienen a su vez los valores más elevados del indicador de dependencia.

Hay otras tres parcelas que tienen contribuciones altas para otros componentes distintos a los tres primeros, pero que no vamos a considerar porque el porcentaje extraído por estos componentes es bastante inferior a los tres que manejamos.

El resto de las especies se caracteriza generalmente por una gran dispersión de las contribuciones sobre todos los componentes, y aunque su indicador de dependencia sea alto en conjunto, su situación queda muy diluida en el espacio, sin presentar fuertes tendencias sobre ninguno de los ejes.

En la matriz de contribuciones aparecen grupos de especies que, teniendo indicadores de dependencia iguales o proporcionales, sus con-

Contribuciones relativas de las especies, superiores a 0,2

Componente I		Componente II		Componente III		Indicadores de dependencia
Especie	Contribución	Especie	Contribución	Especie	Contribución	
A03	0,23					16,23
A10	0,55			A07	0,39	14,91
A11	0,26					17,68
		A12	0,24			11,66
A13	0,25					20,17
A15	0,23			A15	0,36	13,05
A16	0,28					15,10
		A22	0,24			26,07
A24	0,34					33,99
A25	0,23					19,73
A26	0,42					14,08
				B04	0,23	19,36
B05	0,38					11,81
B06	0,24					10,85
B11	0,21			B11	0,34	14,40
B12	0,29					18,91
B13	0,29					15,67
B14	0,27			B14	0,22	15,67
B15	0,46	B15	0,43			72,12
B16	0,46	B16	0,43			19,85
B17	0,28	B17	0,20			19,85
B18	0,41	B18	0,31			12,02
						12,02
				C01	0,23	17,99
C05	0,21			C05	0,36	11,47
C06	0,21			C06	0,36	11,47
C08	0,21			C08	0,23	36,16
C10	0,25	C10	0,21	C10	0,41	38,81
C11	0,35	C11	0,44			12,49
C12	0,35	C12	0,44			12,49
C13	0,35	C13	0,44			24,99
C14	0,35	C14	0,44			24,99
C15	0,35	C15	0,44			12,49
C16	0,35	C16	0,44			12,49
C17	0,35	C17	0,44			24,99
C18	0,35	C18	0,44			12,49
C19	0,35	C19	0,44			12,49
				D22	0,36	46,25
				D23	0,36	46,25

tribuciones sobre los componentes son equivalentes. Estos grupos están formados por especies con presencia en las mismas parcelas y valores de abundancia iguales; o por especies con presencia para una sola parcela determinada, aunque su abundancia sea diferente. Las proyecciones de dichos objetos sobre cualquiera de los ejes son idénticas; es decir ocupan un mismo lugar en el espacio euclídeo y, por tanto, son dependientes entre sí.

En otros grupos de especies, con valores de dependencia iguales, varía la dispersión de sus contribuciones sobre los componentes. Estos se corresponden con especies de idénticas características de abundancia y presentes en parcelas afines.

CORRESPONDENCIA RESPECTO DE LOS FACTORES I Y II

Se representan en la gráfica (fig. 1) un total de 121 puntos que corresponden a los 20 sujetos (parcelas), juntamente con los 101 objetos (especies). La identificación de los caracteres sigue la misma norma con que se expresa la matriz de datos.

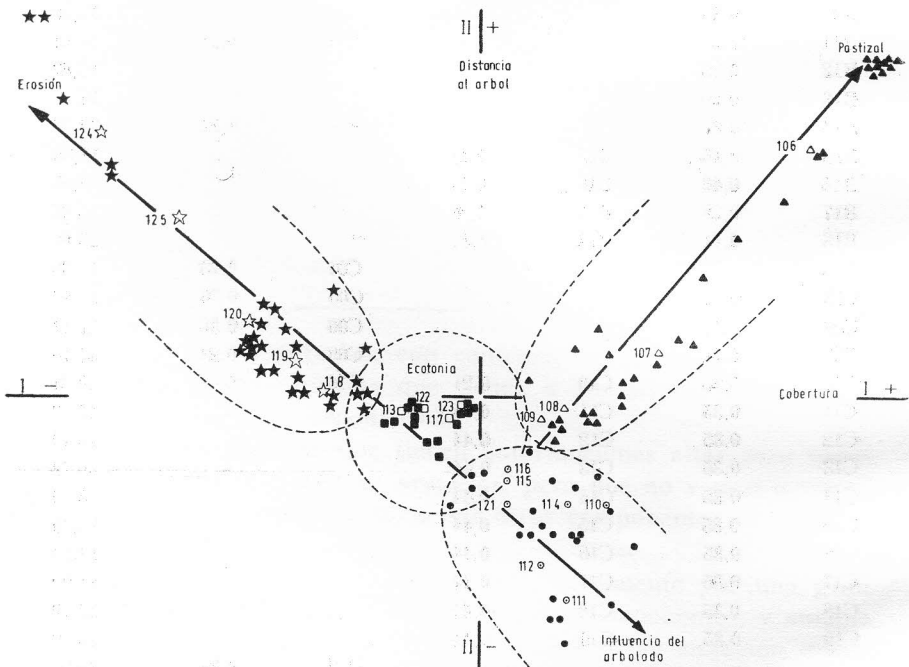


Fig. 1.—Situación de sujetos y objetos correspondientes a su proyección sobre el plano definido por los dos primeros componentes del análisis de correspondencias

Los valores de las coordenadas oscilan, para el eje I, entre $-2,45$ y $2,09$, y para el eje II entre $-1,74$ y $2,42$. Esta disposición es muy regular por la semejanza de valores sobre los ejes, tanto en tramos positivos como negativos.

Con relación al eje I los valores positivos más altos entre las parcelas los consiguen 106 y 107, los negativos más altos los tienen 124, 125, 120, 119 y 118. La característica peculiar de las primeras es la cobertura total de hierba en dominio claro del pastizal, y para las negativas su escasa cobertura herbácea. Las contribuciones de todas ellas son las más altas, y los valores de dependencia de las extremas entre sí (106 y 124-125) son los más elevados de cuantos se han obtenido para las parcelas.

Por tanto, el primer componente ordena las parcelas de acuerdo con su grado de cobertura, estableciendo tres grupos: los valores más positivos con mucha cobertura, los que se localizan en torno al origen con una cobertura media y los más negativos con escasa cobertura.

En la distribución sobre el eje II los valores más altos son los de las parcelas 106, 124 y 125 positivamente y 111, 112 negativamente.

Las características de dependencia para las positivas ya se explicaron anteriormente y sus contribuciones sobre este eje son: muy alta para la parcela 106 y medianas para 124 y 125 (superiores a 0,1 e inferiores a 0,2).

Este eje ordena las parcelas en función de la distancia al árbol. Para valores muy positivos la distancia es grande y para valores muy negativos la distancia es muy pequeña, es decir las parcelas 106, 124 y 125 son las más alejadas de los árboles y las 111, 112 las más próximas a ellos; para las restantes parcelas la ordenación está comprendida entre los valores extremos de esos otros dos grupos.

En la proyección de los sujetos sobre el plano definido por el primer y segundo componente se distribuyen según sus valores de intensidad para las dos variables explicadas (cobertura y distancia al árbol), resultando que en este análisis no se logra una agrupación de sujetos con características concretas sino más bien, y transcribiendo más lógicamente la heterogénea dinámica de la naturaleza, se obtiene una gradación ordenada siguiendo unas trayectorias de dispersión, conseguidas por complementación de las tendencias individuales sobre cada componente.

Para el primer cuadrante las variables «cobertura» y «distancia del árbol», ambas positivas, ordenan las parcelas en relación con el «dominio del pastizal», llegando a tener la más alejada cierto grado de alteración por ruderalización, dominando en ella un pasto con especies muy típicas (fig. 2).

La localización de las especies en el plano delimitado por los componentes I y II, en representación simultánea, está condicionada a que

las parcelas se sitúan en el centro de gravedad de las abundancias de especies presentes en cada una de ellas, manteniéndose fijas las distancias entre parcelas.

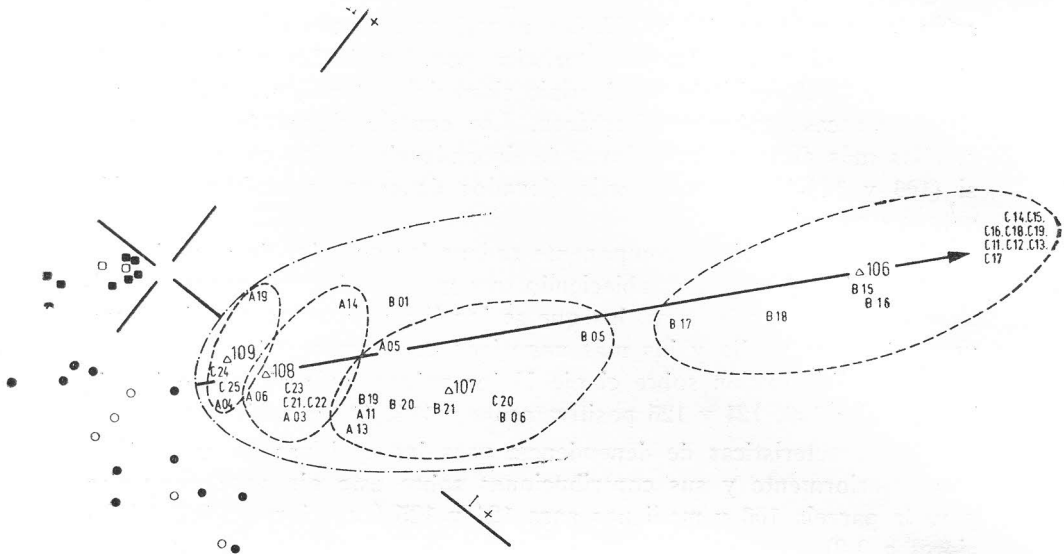


Fig. 2.—Zona de dispersión con influencia del pastizal

Las especies más cercanas a la parcela 106, clasificada como la de mayor grado de pastizal, son *Bromus mollis* y *Medicago polymorpha*; típicas de ballicares algo húmedos y quizás algo nitrófilos. Están reforzadas por *Chondrilla juncea*, *Cirsium arvense*, *Torilis nodosa*, *Echium plantagineum*, *Brassica barbellieri*, *Verbascum pulverulentum*, *Vulpia myuros*, *Microlonchus salmanticus* y *Trifolium subterraneum*, casi todas típicas de zonas alteradas, más alejadas aún y que apuntan claramente una tendencia hacia la ruderalización. Las contribuciones de todas ellas son elevadas; las dos primeras para el componente I, y las otras, a pesar de no tener altos indicadores de dependencia, tienen contribuciones sobre los ejes I y II claramente significativos.

La parcela 107, también clasificada como de dominio del pastizal y de contribución alta para el componente I, tiene como especies próximas *Carex chaetophylla*, *Lolium rigidum* y *Medicago sativa*, típicas la primera y tercera de pastizales con suelo profundo y algo de humedad edáfica.

Todas estas especies en torno a las parcelas 106 y 107, junto con las que están situadas entre ambas y las otras próximas a 108 y 109 son

las que definen la zona de pastizal y las que ordenan las parcelas gradualmente según la pujanza del mismo.

Para el segundo cuadrante la variable «distancia al árbol» sigue siendo positiva y la variable «grado de cobertura» varía desde cero a muy negativa. Complementadas ambas nos marcan la dirección «grado de erosión» que es mayor cuanto más se aleja del origen (fig. 3).

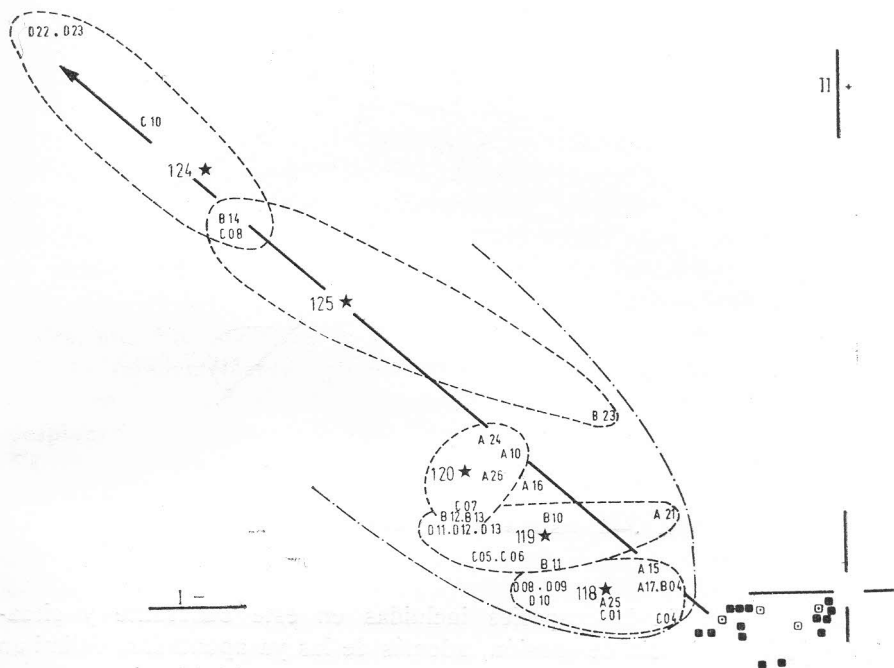


Fig. 3.—Zona de dispersión con influencia de erosión

Las parcelas situadas en la zona de mayor grado de erosión son 124 y 125, ambas con valores de dependencia muy elevados y contribuciones superiores a 0,2.

Las especies *Periballia involucreta* y *Velezia rigida*, de contribuciones altas para el primer componente, más *Helianthemum aegyptiacum*, *Medicago minima* y *Nardurus maritimus*, de contribuciones elevadas para ambos componentes, son típicas de pastizales pobres sobre litosuelos. Son las más próximas a la parcela 124 y las más alejadas del origen, apuntando su mayor dependencia de erosión, con todos los factores ambientales ligados a fuertes fluctuaciones en el clima edáfico.

En el mismo cuadrante y más próximas al origen se encuentran las parcelas 118 y 119, también clasificadas como típicas de erosión en

tura con pequeñas distancias al árbol, solamente nos puede resultar la alternativa «poca erosión» y «ligera influencia de la encina» que es exactamente lo que está representado en este cuadrante junto al origen de coordenadas. Sería muy difícil suponer la posibilidad extrema, es decir, una parcela que estando muy influenciada por la proximidad a una encina tuviera una escasa cobertura, tanto como cualquiera otra típica de erosión (fig. 4).

Se explica mejor este tercer cuadrante, junto con todas las demás parcelas y especies que se sitúan próximos al origen de coordenadas, como un grupo caracterizado por estar sometido a influencias con fuerza de dispersión significativa (pastizal, encina, erosión), que confluyen en una misma zona donde las tendencias direccionales de los tres efectos se hacen patentes de forma complementaria, lo que equivaldría a clasificarla como zona intermedia. Por ejemplo la parcela 117 podría considerarse como de clara influencia de encina, pero su pasto es muy ralo, tiene poca cobertura y se encuentra sobre un suelo muy pobre que apunta posible erosión. La 123 podría clasificarse como pasto por tener cobertura elevada, pero se encuentra entre encinas, próxima a matorrales, etc. En esta zona de situación central ninguna de las tendencias está lo suficientemente definida, por lo que las variables, sujetos que la determinan, no suponen una contribución lo suficientemente alta para desplazarlas en alguna de las direcciones reiteradamente enumeradas. Es precisamente la que definimos como zona de ecotonía entre influencias varias.

Observando en conjunto las proyecciones de parcelas y especies sobre el plano definido por los ejes I y II (fig. 1), podemos concluir que se hacen patentes tres trayectorias rectilíneas de sentidos diferentes, que confluyen en la zona intermedia, pero también tenemos que señalar que los sentidos de dispersión para las tendencias «erosión-influencia del arbolado» son opuestas en la dirección que marca la recta $y = -0,51 - 1,00 x$. Esta recta ha sido obtenida por regresión con los 16 puntos que pertenecen a las parcelas de erosión, ecotonía y arbolado, cuyo coeficiente de correlación es igual a $-0,94^{***}$. La pendiente de esta recta es -1 , por tanto el ángulo que forma con el eje de abscisas es de 135° (-45°). Perpendicular a esta dirección parte la tendencia «influencia del pastizal» siguiendo la trayectoria de la recta $y = -0,70 + 1,37 x$ obtenida por regresión con los cuatro puntos que pertenecen a las parcelas de pastizal dominante, de coeficiente de correlación igual a $0,98^{***}$. Su pendiente es $1,37$, que corresponde aproximadamente a un ángulo de 54° . Según esto «erosión» e «influencia de arbolado» son negativamente dependientes entre sí. Esto abona el criterio de interpretar al árbol como regulador ambiental que evita las fluctuaciones desorganizadoras, las propias de suelos erosionados.

Queda pues patente, en este caso, la extremada polaridad entre el conjunto de factores que agrupamos bajo los conceptos «arbolado» y

«erosión»), así como la «perpendicularidad» del «pastizal» y «erosión-distancia al árbol», indicando su independencia.

El eje III parece estar relacionado con la similitud de las parcelas, siendo esta mayor cuando sus valores son más negativos. Así las parcelas 118 y 119, de contribución elevada para este componente, tienen entre sí el mayor coeficiente de similitud, considerando que las especies más próximas a ellas están muy relacionadas entre sí, al ser comunes en ambas parcelas con elevado grado de abundancia, además de tener valores de contribución elevados. En el extremo opuesto, la parcela 124, de contribución igualmente elevada, se caracteriza por su disimilitud con las demás parcelas; las especies más próximas a ellas, altamente significativas por sus contribuciones, son aquellas que más la caracterizan, bien por presencia única en esta parcela o por sus valores de abundancia claramente diferentes. El grupo central, formado por el resto de las parcelas, presenta estas mismas características; pero se enmascaran entre sí, debido a la multiplicidad de las relaciones posibles de similitud, al considerar grados de abundancia.

Se observan una serie de relaciones interesantes respecto a las anotaciones «in situ» realizadas por nosotros previamente para establecer de alguna forma el grado de interacción entre los factores dominantes para las parcelas. De estos han resultado perfectamente reflejados, al aplicar este análisis, «grado de erosión», «dominio del pastizal» e «influencia del arbolado». Con los datos originales hemos obtenido los valores porcentuales para estos tres, eliminando los resultados obtenidos para los demás conceptos señalados de antemano y que no aparecen explicados en el análisis de correspondencias.

Para la comparación, los valores resultantes en el análisis de correspondencia los hemos obtenido a partir de la posición de las parcelas en el plano definido por los ejes I y II.

Representándolos conjuntamente en un diagrama triangular (fig. 5), cuyos vértices representan el 100 por 100 de cada una de las tres influencias dominantes sobre la vegetación de las parcelas, se observa que hay un gran parecido entre los resultados estimados y obtenidos, sobre todo si tenemos en cuenta a la vez ordenación y situación.

En ambos casos hay una clara polaridad de distribución que nos permite delimitar las tres zonas de dominancia con ligeras diferencias entre resultados; diferencias que se hacen más patentes en la zona central del triángulo, y que se corresponde con la «zona de ecotonía» del análisis de correspondencias donde se localizaban las parcelas cuyos objetos (especies) no eran claramente significativos por tener contribuciones más bien bajas, y que por tanto no quedan bien definidas. Para el observador estas parcelas de situación central son también difícilmente clasificables «a priori» por la multiplicidad de características convergentes en ellas.

Tabla comparativa de valores estimados y obtenidos

Parcela	Influencia del pastizal		Influencia de la encina		Influencia de la erosión	
	Estimado	Obtenido	Estimado	Obtenido	Estimado	Obtenido
106	90-100	85	0-10	10		5
107	80-90	65	5-15	25		10
108	75-85	55	10-20	35		10
109	50-60	45	35-45	40		15
110	45-55	45	45-55	50		5
111	20-30	20	70-80	70		10
112	25-35	25	65-75	60		15
113	25-35	25	25-35	35	35-45	40
114	25-35	35	60-70	50		15
115	5-15	35	70-80	50	5-15	15
116	15-25	35	65-75	45	5-15	20
117	5-15	25	50-60	45	30-40	30
118	5-15	15	35-45	35	45-55	50
119	15-25	15	10-20	30	55-65	55
120	5-15	10	10-20	25	75-85	65
121	25-35	25	55-65	50	10-20	25
122	30-40	25	55-65	35	5-15	40
123	40-50	30	45-55	40	5-15	30
124	0-10	5	0-10	5	90-100	90
125	25-35	15	0-10	15	65-75	70

Si se proyectan sobre los tres lados (tendencias dominantes) los puntos que representan las parcelas, se obtiene la ordenación estimada y obtenida en los grados de influencia considerados que mantienen entre ellos una gran homogeneidad.

En nuestro caso y por medio del análisis de correspondencias hemos obtenido, para los dos primeros componentes, una perfecta ordenación de tres factores dominantes en la ladera, representados gráficamente en el plano por trayectorias con tendencia al alejamiento. Las coordenadas de cada una de las parcelas puede servirnos para calcular el peso específico que supone su determinada situación sobre cada zona de influencia. Podemos aplicarlo en la práctica para poder cualificar el valor potencial de estas tendencias dominantes en el conjunto estudiado.

Por tanto, puede ser factible un *método de ponderación*, basado en el análisis de correspondencias, que puede ser utilizado en evaluaciones ambientales.

Partimos de datos discretos obtenidos de la vegetación, cual es el grado de abundancia de las especies (según el método explicado) en cada

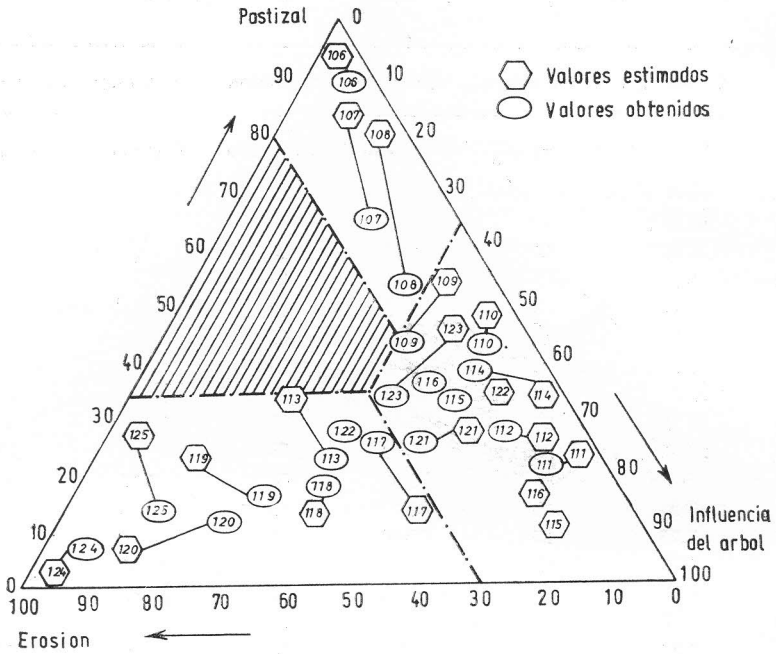


Fig. 5. —Gráfica comparativa de valores estimados y obtenidos

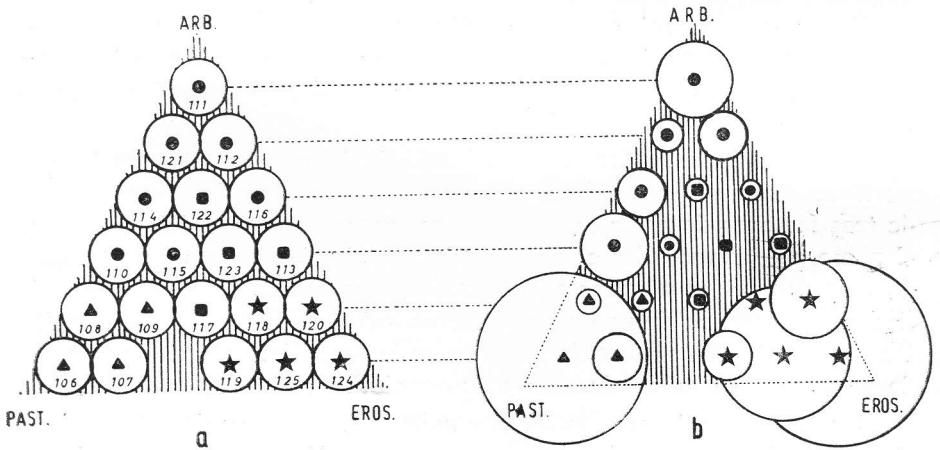


Fig. 6. —Resultado de la ponderación de las parcelas de acuerdo con sus tendencias dominantes

uno de los inventarios, sobre los que influyen factores bióticos y abióticos clasificados previamente. De éstos, solamente consideramos los representados por la dispersión del análisis de correspondencias.

Suponemos un estado inicial (fig. 6a) donde cada parcela queda encuadrada previamente sobre una tendencia preferente. En la gráfica las parcelas se agrupan hacia el ángulo que le corresponde por sus características, quedando más cerca del vértice las que presentan mayor intensidad para cada una de las tendencias. Una vez clasificadas de esta forma suponemos que son equiprobables, es decir que el valor relativo para todas las parcelas es igual a N/j ; donde N es la probabilidad total = 100 y j el número de parcelas = 20. Por tanto, resulta que el valor relativo de las parcelas en el estado inicial es igual a 5 para todas ellas (en la gráfica se representan como circunferencias de radios iguales).

Los grupos que pertenecen a la misma tendencia se marcan con un mismo símbolo central.

Posteriormente calculamos sus valores potenciales mediante la transformación porcentual de la raíz cuadrada del producto de las distancias de cada una de las parcelas a los dos primeros ejes obtenidos, escogiendo éstos por ser los que nos ordenan más claramente las parcelas según dos variables sencillas: «grado de cobertura» y «distancia al árbol», a la vez que suponen el mayor porcentaje de absorción de la varianza.

Parcela	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	
Valor inicial....	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Valor potencial..	15,5	4,5	1,7	1,9	6,1	6,7	4,9	1,9	4,7	1,9	
Parcela	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	Total %
Valor inicial....	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	100,0
Valor potencial..	1,7	1,5	1,0	4,7	7,0	2,6	1,3	1,0	16,9	12,4	99,8

Los resultados así obtenidos los comparamos con los del estado inicial (fig. 6b). En la gráfica están representados por circunferencias proporcionales a los valores obtenidos, con la misma escala que la utilizada para el estado inicial, ocupando cada parcela posiciones paralelas a las del gráfico *a* y conservando siempre el símbolo correspondiente a su tendencia. En este contraste resulta el factor «influencia de la erosión» como potencialmente dominante en la ladera, aunque su área real ocupe actualmente 1/8 del total tan solo. El factor «influencia del pastizal» queda ponderado principalmente en su carácter de alteración por ruderización (parcela 106) y el factor «influencia del arbolado» después de la ponderación aparece con valores menos aparentes.

Tabla original de datos

Clave	Especies	Parcelas	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
A01	<i>Poa bulbosa</i> L.		0	0	0	3	0	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	0	0	1	0
A02	<i>Festuca rubra</i> L.		1	0	1	1	1	0	1	0	1	2	2	1	0	0	0	2	2	2	0	0
A03	<i>Dactylis glomerata</i> L.		2	1	1	1	0	1	1	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1	1	0	0
A04	<i>Agrostis castellana</i> B et R.		0	4	3	3	2	1	0	1	1	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
A05	<i>Trifolium glomeratum</i> L.		2	2	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
A06	<i>Trifolium campestre</i> Schreb.		0	2	3	3	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
A07	<i>Aira multiculmis</i> (Dum.) Dum.		0	0	1	2	0	0	0	2	0	1	0	1	3	2	0	1	0	0	0	0
A08	<i>Bellis perennis</i> L.		0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
A09	<i>Centaurea ornata</i> Willd.		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
A10	<i>Thymus zygis</i> L.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
A11	<i>Daucus carota</i> L.		1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
A12	<i>Trifolium repens</i>		0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
A13	<i>Carlina corymbosa</i> L.		1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
A14	<i>Plantago lanceolata</i> L.		1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
A15	<i>Vulpia bromoides</i> (L.) S. F. Gray		0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	0	0
A16	<i>Plantago</i> gr. <i>carinata</i>		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	2
A17	<i>Dianthus</i> sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0
A18	<i>Galium verum</i> L.		0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
A19	<i>Trifolium striatum</i> L.		0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
A20	<i>Helianthemum ledifolium</i> (L.) Mill.		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
A21	<i>Eryngium campestre</i> L.		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1
A22	<i>Cynosurus echinatus</i> L.		0	0	0	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0
A23	<i>Phleum nodosum</i> L.		0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
A24	<i>Helianthemum apenninum</i> Boiss.		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
A25	<i>Ranunculus</i> gr. <i>paludosus</i>		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0

En este estudio el método de ponderación utilizado es enormemente significativo, ya que nos pone de manifiesto que la erosión es potencialmente un grave problema por su total dominio sobre la zona y que solamente puede ser evitado favoreciendo los otros dos sentidos de influencia dominante actual.

Por tanto, concluimos que el análisis de correspondencia entre sujetos (parcelas), que están expuestas a la interacción de diversos factores y sus objetos (vegetación correspondiente a estos conceptos), puede ser puesta de manifiesto partiendo de datos fáciles de obtener. Apoyamos esta afirmación en los resultados obtenidos en el análisis, en su comparación con la evaluación original previa y en su posible utilización práctica como método de análisis ambiental.

Agradecimiento

Los autores quieren expresar su reconocimiento al Dr. P. Montserrat por su ayuda, particularmente en los aspectos taxonómicos y de afinidades ecológicas.

RESUMEN

Se estudian, mediante el análisis de correspondencias, los efectos interdependientes que la vegetación herbácea de una ladera tiene con diversos factores bióticos y abióticos. Los inventarios se realizaron en una transección que va desde la cercanía de un arroyo hasta la cumbre de la ladera erosionada, a lo largo de unos 100 m., y están basados en datos discretos de abundancia de especies por parcela.

Sobre el plano definido por los componentes I y II, que absorben un 23 por 100 de la varianza total, se obtiene la ordenación de las parcelas distribuidas a lo largo de tres trayectorias claramente determinadas: «grado de erosión» e «influencia del árbol» que siguen una misma dirección con sentidos opuestos e «influencia del pastizal» perpendicular a ambos, quedando en el centro una «zona de ecotonía» entre dichos factores.

Su comparación con resultados estimados previamente es claramente significativa y pone de manifiesto la utilidad práctica del análisis.

Finalmente se aplica un método de ponderación basado en este análisis, para cuantificar potencialmente el valor ambiental de las tendencias dominantes, resultando ser el factor erosión el que tiene mayor influencia en el conjunto de la ladera estudiada.

BIBLIOGRAFÍA

- BENZÉCRI, J. P. (1969). Statistical analysis as a tool to make patterns emerge from data. *Methodologies of Patterns Recognition*, 35-60, Academic Press, New York.
- BENZÉCRI, J. P. (1973). L'analyse des données. II. L'analyse des correspondances. Dunod, París (1.ª edición 1970).
- BRUNERYE, L., GOREN FLOT, R. et ROUX, M. (1969). Application de l'analyse factorielle des populations de *Senecio helenitis* L. *Cuf. Rev. gén. Bot.*, 76, 217-256.

- DÍAZ PINEDA, F. (1975). Estudio numérico del matorral del área de Cercedilla y Navacerrada (Sierra de Guadarrama). Tesis doctoral, Univ. de Sevilla.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, A. y col. (1964). Los suelos de la provincia de Salamanca. Publicaciones del I. O. A. T. O., Salamanca.
- GARMENDÍA IRAUNDEGUI, J. (1964). Estudio climatológico de la provincia de Salamanca. Publicaciones del I. O. A. T. O., Salamanca.
- LACOSTE, A. et ROUX, M. (1971). L'analyse multidimensionnelle en phytosociologie et en écologie. Application à données de l'étage subalpine des Alpes maritimes. I. L'analyse des données floristiques. *Oecol. Plant.*, **64** (4), 353-371.
- LACOSTE, A. et ROUX, M. (1972). L'analyse multidimensionnelle en phytosociologie et en écologie. Application à données de l'étage subalpine des Alpes maritimes. II. L'analyse des données écologiques et l'analyse globale. *Oecol. Plant.*, **7** (2), 135-147.
- LEBART, L. et FENELON, J. P. (1971). *Statistique et informatique appliquées*. Dunod, Paris.
- SANCHO ROYO, F. (1974). Actitudes ante el paisaje. Estudio experimental. *Anales de la Universidad Hispalense*. Serie: Ciencias, núm. 19. Public. de la Univ. de Sevilla

Recibido para publicación: 2-II-76