

4.6.- APLICACION DEL ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES EN ECOLOGIA.

( Luis Calabuig, E. )

INTRODUCCION.

En el campo de la Ecología y de las ciencias ambientales es necesaria la utilización de técnicas multivariantes. Una problemática común en los estudios ecológicos radica en la gran cantidad de variables que es necesario considerar, lo que hace prioritario el uso de técnicas que simplifiquen o sintetizen la información, permitiendo, al mismo tiempo, una explicación de los fenómenos o estructuras estudiados.

Entre las técnicas de clasificación y ordenación, quizá la que ha encontrado mayores aplicaciones en Ecología, ha sido la del Análisis en Componentes Principales, por cuanto reúne una serie de características que la hacen muy apropiada a los datos de base obtenidos en la toma de muestras.

Además de otros muchos ejemplos, los datos que recogemos en estudios ecológicos pueden consistir en evaluar distintos lugares de muestra (unidades elementales de muestreo), que definirían las observaciones, con los correspondientes valores de importancia (frecuencia, densidad, cobertura, etc.) de determinados organismos (normalmente de un grupo taxonómico concreto) o una expresión cuantitativa de varios factores ambientales físicos (temperatura, humedad, inclinación, altitud, etc.) o químicos (concentraciones de elementos o productos químicos). Esta visión resumen queda siempre superada por la realidad en cualquier programa de investigación, por lo que recurrir a técnicas de simplificación se nos muestra a los ecólogos

como una necesidad proporcional a la eficiencia de la interpretación o de consecución de objetivos que pretendemos cubrir.

#### PROBLEMATICA ESPECIFICA.

En algunos casos la eficiencia viene en gran parte definida por el tiempo empleado en la obtención de los datos de base, por lo que cuando el muestreo tiene que ser, por necesidades del espacio o de la variabilidad, muy voluminoso, recurramos a expresiones de tipo cualitativo (siempre que ello sea posible). Esto supone transformaciones posteriores en la matriz de contingencias, como el desdoblamiento en matrices R y Q a partir de presencias, coincidencias o afinidades, resintiéndose en algunos casos el análisis por una pérdida de información.

Pueden expresarse los datos recogidos como una matriz de  $n$  filas (observaciones) y  $p$  columnas (variables), donde cada elemento representa el valor de importancia de una variable en una observación.

Es muy frecuente que los datos originales necesiten una transformación, incluso cuando partimos de datos cuantitativos, con el objetivo fundamental de normalizar los valores de la distribución. Los procedimientos más aplicados coinciden con los utilizados en otras especializaciones.

Debemos resaltar, sin embargo, la especial problemática que se presenta cuando en la matriz original la frecuencia de ceros es muy elevada. Esto puede plantear, a veces, problemas para los que se han aportado soluciones también muy diversas, pero en algunos casos complicadas y en otros de poco valor para la posterior interpretación de resultados. Un caso típico de presencias elevadas de ceros se nos presenta en el

estudio de gradientes, tanto espaciales como temporales, donde el relevo de especies o de características ambientales es evidente y unidireccional.

También se aplica con cierta frecuencia la transformación logarítmica, para lo que simplemente es necesario añadir una constante, si es que existe algún valor nulo en la matriz original de datos.

Pero quizá en lo referente a los datos de partida, el problema más importante que se nos plantea en Ecología, es que en gran número de ocasiones tenemos más información de partida (fundamentalmente debido al número de variables) de la que el soporte informático disponible puede procesar. Los criterios de simplificación en este caso para reducir las variables hasta una cantidad manejable por la capacidad del ordenador, plantean siempre conflictos de interpretación difíciles de resolver. Por lo general se dejan de tener en cuenta las especies cuya frecuencia relativa de presencias es muy baja y por lo tanto polarizan la información en un sentido muy definido, que puede añadirse después del análisis incluso para reforzar alguna de las tendencias resultantes. Otras veces se eliminan las especies cuyo valor de importancia es relativamente bajo aunque su frecuencia en las observaciones sea elevada. En este caso es más difícil complementar esta información al resultado del análisis con las especies restantes. Un tercer procedimiento de simplificación del número de especies, también muy utilizado, consiste en eliminar previamente las especies presentes en todas las observaciones o de frecuencia relativa muy elevada, en función de que aportan poca información discriminante. Esto sería cierto si el valor de importancia fuera el mismo en todas las observaciones, pero si no es así, eliminarlas puede

suponer ignorar la clave de muchos problemas.

Basandonos en un análisis previo de regresión entre variables, tanto tratándose de especies como de factores ambientales, podemos obtener una serie de elementos redundantes por su gran interacción y correlación que permite su eliminación y al mismo tiempo de conseguir un número de variables apropiado se reduce el "ruido" innecesario de repetición de información.

Considerar en un análisis conjuntamente los valores de importancia de diferentes especies por observación junto a factores ambientales correspondientes a esas mismas observaciones, permite interpretaciones muy provechosas por lo que las interacciones especies-factores significan, pero no siempre se obtienen resultados claros debido a la distinta naturaleza de los caracteres usados como variables. En esos casos podría ser más adecuado el análisis previo de la matriz para valores de importancia de especies y su posterior relación con los factores ambientales independientemente o en conjunto.

#### UTILIDAD DE UN PROGRAMA DE COMPUTACION DE COMPONENTES PRINCIPALES.

Una vez realizado el análisis, de las salidas convencionales del ordenador utilizamos la mayor parte de la información previa a la ordenación de las observaciones en los espacios definidos por las componentes principales.

La media y la varianza de las variables permite el estudio analítico pormenorizado y su posterior tratamiento para definir el grado estructural de la comunidad estudiada (en función de las especies) o características del ambiente (en función de los factores ambientales).

Con la matriz de correlación pueden conseguirse grupos de variables de igual comportamiento, muy útiles en la simplificación de la interpretación final. Igualmente puede utilizarse como complemento de otros análisis multifactoriales que impliquen relaciones de afinidad o grado de similitud, como el análisis Cluster (dendogramas).

La varianza explicada por cada componente en el análisis de componentes principales y como consecuencia de la redundancia existente entre los valores originales suele generalmente descender de una manera rápida. La varianza absorbida por las primeras componentes representa un porcentaje bastante elevado de la variabilidad total, que es suficiente, en la mayoría de los casos, para su interpretación. No son pocos los casos en los que incluso con valores relativamente bajos de varianza total para las primeras componentes se obtiene una interpretación interesante.

La fase fundamental del análisis y base de la interpretación especializada queda recogida en las coordenadas de las observaciones en el espacio definido por las componentes principales. El complemento de información de los primeros ejes, fundamentalmente los tres primeros, representados en el plano definido por los ejes tomados de dos en dos o en el espacio tridimensional, es la expresión más frecuente de su aplicación en Ecología, superponiendo el significado de cada eje o tendencias fundamentales. Para ello, resulta totalmente imprescindible tener en cuenta el porcentaje de dependencia (cuadrado de correlación de cada variable con cada componente) de cada variable respecto a los nuevos ejes o componentes. Las coordenadas de las variables en el espacio de esas componentes deben ser la base de la in-

interpretación de los grupos de clasificación o de las tendencias.

Se han seleccionado dos ejemplos de diferente temática y problemática, a fin de poner de manifiesto los aspectos más generales de la aplicación del Análisis de Componentes Principales en estudios Ecológicos.

B.- CLASIFICACION DE PASTIZALES DE LA ZONA DE DE HESAS DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA Y SU RELACION CON CARACTERISTICAS DEL SUELO Y PRODUCCION.

( Calabuig, E. L., 1976)

Estudio de la vegetación.

La matriz original de datos consta de los elementos definidos por 94 variables (densidad de especies pratenses) y 20 individuos (pastizales). Hay que indicar que los valores de densidad considerados representan la media obtenida en 10 unidades elementales de muestreo en cada pastizal.

El análisis de vegetación fué realizado tomando como base los datos de densidad de especies herbáceas, obtenidos en la primavera del año 1975. Para los tres primeros componentes la varianza acumulada supone el 35% del total.

Tabla ACP42.- Varianza explicada por cada uno de los cinco primeros componentes.

Componente	% de varianza explicada
I	14.534
II	11.146
III	9.272
IV	7.822
V	6.952
Total acumulado	49.726

De la tabla ACP43 (correlaciones de las variables con los componentes o, en lenguaje del análisis factorial principal, factores de carga) se deduce que los factores de carga más elevados muestran una polaridad

Tabla ACP43.- Correlaciones elevadas de las variables con las 5 primeras componentes principales.

Especie nº	Componentes				
	I	II	III	IV	V
1					-.74
4			.67		
5				.63	
6			.51		
12					-.59
16			.56		
20					-.55
22		-.66			
24					.51
25					.63
26			-.51		
28	.51	-.67			
30				.82	
34	-.64				
35		-.55			
37				.74	
38			-.54		
41	.56				
42	.55				
44	-.65				
45					-.68
46		-.67			
49		-.52			
50			.50		
52				.57	
53		-.56			
54		-.65			
58	.50	-.69			
59					.52
60		-.68			
62	-.75				
64			-.54		
66	-.68				
68					.50
69	-.57				
70	-.69				
71	.54				
76	-.61				
77				.51	
80	-.66				
81	-.70				
82					-.56
85		.56			
86	-.66				
87	-.66				
88	-.72				
89	-.74	-.50			
90				.60	
91				.60	
93	-.65				

debido a las siguientes especies:

Factores positivos

Ornithopus compressus	Anthemis mixta
Centaurea ornata	Tolpis barbata
Eradium ciconium	

Factores negativos

Carex divisa	Hordeum secalinum
Gaudinia fragilis	Poa trivialis
Parentucellia viscosa	Trifolium fragiferum
Rhinanthus minor	Oenanthe fistulosa
Ranunculus bulbosus	Heleocharis multicaulis
Cynosurus cristatus	Lolium perenne
Trifolium repens	Bromus racemosus

Los positivos aparecen en especies típicas de pastizales oligotrofos mediterráneos, formando parte de comunidades de terófitos efimeros de pequeña talla, generalmente acompañan al matorral de cistáceas. Algunas de las especies indican influencia zoógena. Estas comunidades se asientan sobre suelos arenosos, pobres en materia orgánica, poco profundos y que disponen de poca humedad edáfica, agostándose tempranamente.

Los factores negativos elevados pertenecen a aquellas especies típicas de prados semiagostantes o gramadales. Este tipo de comunidades se caracterizan por una gran cobertura herbácea, un predominio de especies perennes y la presencia de especies semiparásitas de gramíneas que denotan la vejez del prado. Se asientan sobre suelos ricos en fracciones granulométricas finas, muy ricos en materia orgánica, profundos y de gran disponibilidad de agua, permaneciendo la humedad freática durante el verano, por lo que se agostan muy tardíamente. En algunas ocasiones aparecen en estas comunidades

especies de ambiente más o menos salino (*Hordeum secalinum*, *Bromus racemosus*) como consecuencia de la acumulación de sales por efecto de fuerte evapotranspiración estival.

Por lo tanto, el primer componente polariza los pares de factores (poca cobertura - mucha cobertura; suelo arenoso - suelo no arenoso; pobre en materia orgánica - rico en materia orgánica; etc.) que caracterizan a los extremos opuestos de los pastizales estudiados.

El componente II solamente tiene factores de carga, de signo negativo: Este grupo está principalmente representado por las siguientes especies:

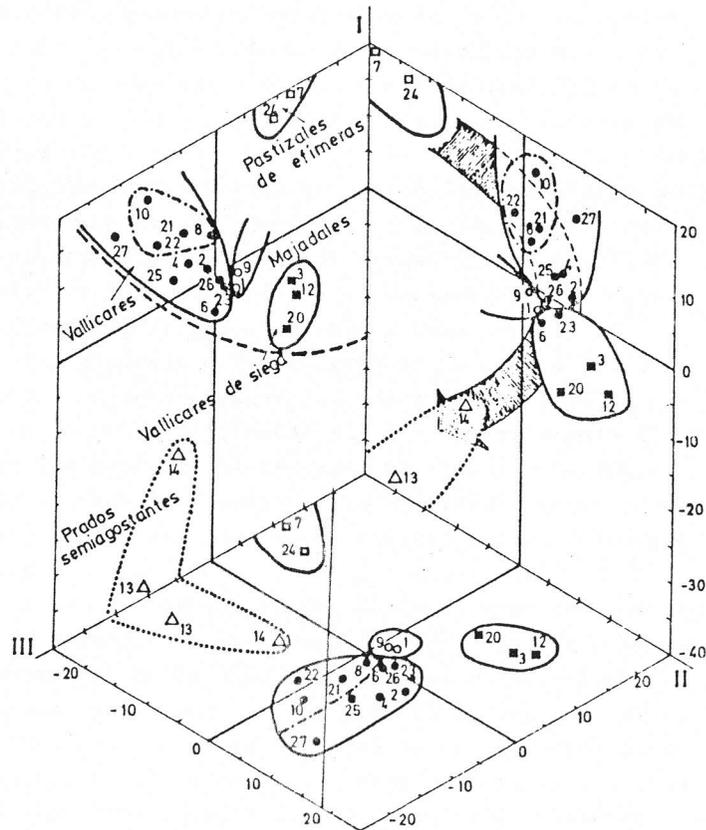
<i>Aphanes microcarpa</i>	<i>Periballia laevis</i>
<i>Ornithopus compressus</i>	<i>Spergula arvensis</i>
<i>Trifolium arvense</i>	<i>Anthemis mixta</i>
<i>Hipochaeris glabra</i>	<i>Anthyllis lotoides</i>
<i>Filago germanica</i> subsp.	<i>Brassica barrelieri</i>

que forman parte, junto con las especies indicadoras positivas del componente I, de comunidades de efímeras, precisando así mucho más, la composición botánica de estos pastizales.

La proyección sobre los planos definidos por los componentes I, II y III se ha representado en la figura ACP22. El primer componente ordena desde pastizales formados por terófitas efímeras de pequeña talla (*Tuberarietalia* Br. B1 1940) hasta prados semiagostantes o gramadales (*Holochoenetalia* Br. R1. 1947), es decir, toda una gama de pastizales que se encuentran a lo largo del gradiente oligotrofia-eutrofia, propios de las zonas silíceas y calizas del centro-oeste español. El segundo componente diferencia el grupo de vallicares y majadales de los pastizales de caracterís-

ticas extremas. Conjuntamente el segundo y tercer componentes parecen estar ligados a la diversidad de los pastizales en proporción directa.

Figura ACP22.-



Vegetacion en pastizales de dehesa. Año 1975  
Análisis en componentes con datos de densidad.

Sobre el plano definido por los componentes I y II, quedan reflejados los grupos de parcelas que pertenecen a tipos de comunidades diferentes, así como en una ordenación significativa de estas unidades a lo largo de un gradiente que engloba los caracteres esenciales de variación, en la composición botánica de los pastizales estudiados. En la figura ACP22 se ha marcado este gradiente de variación por una flecha, que va desde los pastizales más pobres, en todos los aspectos, hasta los más ricos, pasando por grupos discretos que se corresponden con los tipos de pastizal descritos en este trabajo.

En el extremo inferior izquierdo se sitúan las parcelas 13 y 14 que son las representantes de los pastizales más ricos. Su cobertura es el 100% en superficie y puede llegar a ocupar dos o tres estratos, hasta los 50 cm de altura, con la misma proporción. Las especies herbáceas que componen el pasto son plantas muy especializadas y adaptadas al tipo de sustrato. La nº 13 (más alejada del origen de coordenadas) es un prado semiagostante, encharcado durante el invierno y primavera y con humedad suficiente para resistir hasta el mes de Agosto. La nº 14 se sitúa en una terraza superior por lo que el nivel de la capa freática se encuentra más alejado. No obstante, las condiciones de humedad son también muy favorables. Se comporta como si tuviera unas características intermedias entre las del prado semiagostante y las del vallicar de siega. Influye igualmente en su composición botánica la proximidad espacial del prado semiagostante anterior, la ligera salinidad y la misma forma de utilización (espacial y temporal), que determina sobre todo la presencia común de especies adaptadas a los efectos zoógenos.

En el cuarto cuadrante, situadas en la proximidad del componente II, se localizan las parcelas 20, 12, 3, 6 y 23, de características muy comunes entre sí, que representan a los grupos vallicar húmedo y vallicar de siega. Su suelo mantiene durante bastante tiempo la humedad, aunque en menor proporción que la tienen las parcelas anteriormente comentadas, por no llegar a formarse una capa freática (poca profundidad sobre sustrato silíceo). Igualmente es menor la riqueza en materia orgánica del suelo. Entre ellas se encuentran también ligeras diferencias, condicionadas siempre por el factor principal (humedad), pudiéndose establecer dos subgrupos: vallicares de siega típicos (3, 12, 20) y vallicares húmedos (6 y 23), que pueden ser utilizados directamente por el ganado o para segar.

Los primeros se encuentran en la proximidad de arroyos con agua durante los meses fríos, y los segundos en pequeñas vallonadas por las que solamente discurre alguna corriente de agua en épocas muy lluviosas, los primeros suelen estar asentados sobre suelos de vega y los segundos sobre tierras pardas pseudogleizadas.

Siguiendo la flecha que marca el gradiente de variación aparece el grupo más numeroso, por su gran representación en la zona. Entre ellas existen también pequeñas variaciones en su estructura, pero que afectan más a la cobertura herbácea que a la composición botánica, aunque siempre aparecen especies diferentes, como consecuencia de otros factores actuantes.

Este grupo es el de los vallicares, que se encuentra en todas las dehesas de lugares pobres, ocupando el estrato herbáceo en los bosques de encina, teniendo su facies más típica los localizados en los claros, con ligera influencia del árbol.

Pueden distinguirse dos subgrupos, según que presenten mayor o menor cobertura. Los primeros tienen una cobertura media que oscila entre el 75 y el 100%. La mayor parte de las especies que forman parte de estos pastizales también se encuentran en los vallicares húmedos. Los vallicares más pobres tienen una cobertura media que oscila entre el 50 y el 95%. Las especies más abundantes son las mismas que en el otro grupo, pero aparecen además otras especies típicas de los pastizales de efímeras.

En la gráfica (fig. ACP22) los vallicares 2, 4, 8, 10, 21, 22, 25, 26 y 27, se sitúan en el primer cuadrante, quedando los más pobres (nº 8, 10, 21 y 22) situados más hacia arriba y más hacia la izquierda que los vallicares típicos. Los vallicares localizados en la parte inferior (nº 2 y 26) son los más parecidos a los vallicares húmedos del grupo anterior. Los que tienen valores más bajos con respecto al componente II y más altos para el componente I, (nº 10, 22) son los más parecidos, en su aspecto y composición botánica, a los pastizales de efímeras. Ya en el análisis del primer año, una de estas parcelas (nº 10) se situaba próxima al pastizal de efímeras.

Muy próximas al origen de coordenadas de los componentes I y II se sitúa un grupo de parcelas (nº 1 y 9) de características muy semejantes a los vallicares, pero ligeramente modificadas por influencias de tipo zoógeno. Estos pastizales son los majadales, comunidades estrechamente relacionadas con el pastoreo y abonado natural del ganado que lo patea. Suelen encontrarse próximos a las casas o en los lugares normales de redileo. En el primer caso son visitados por diversos tipos de ganado (vacas, ovejas, caballos, cerdos, etc.) que aportan a su vez elementos de fertilización diferentes,

manifestandose posteriormente en pequeñas variaciones de la composición botánica. En el segundo caso presentan características más definidas y constantes, que se reflejan en el pasto con una homogeneidad y estructura más determinada, según el ganado que lo pasta. En el análisis del primer año de control, los majadales (nº 1, 5 y 9) aparecían siempre muy próximos entre sí e igualmente en estrecha relación con los vallicares.

El último grupo (fig. ACP22) está formado por las parcelas 7 y 24, caracterizadas por su escasa cobertura herbácea. Son los pastizales de efímeras, que ocupan los sustratos edáficos más pobres. El número de especies que se encuentran en estos pastizales es muy elevado. Muchas de ellas entran a formar parte de los vallicares pobres. La cobertura media oscila entre el 40 y el 80%.

Para el plano definido por los componentes I y III (fig. ACP22) quedan muy separadas las parcelas 13 y 14 (praderas semiagostantes) del resto de las parcelas. En el extremo opuesto a estos pastizales se encuentran los de efímeras, como representantes de los pastizales menos evolucionados. En la zona central se localizan los vallicares y majadales. A la derecha quedan reagrupados en un solo conjunto, totalmente independiente, los vallicares de siega típicos y a la izquierda el resto de los vallicares: vallicares húmedos (6, 23) vallicares normales (2, 4, 25 y 27) y vallicares pobres (8, 10, 21 y 22). Entre estos dos grupos de pastizales quedan los majadales.

Por lo tanto, al tener en cuenta estos dos componentes, aparece una polaridad diagonal entre el primer y tercer cuadrante de todos los tipos de pastizal encontrados en la zona, quedando localizado el grupo más numeroso en el centro, que constituye a su vez otra

línea de polaridad diagonal, perpendicular a la primera.

Igualmente, en el plano definido por los componentes II y III quedan formados los mismos grupos, aunque con distinta ordenación en el plano. En este caso no aparece una distribución ordenada en relación con el grado de riqueza del pastizal, sino más bien una distribución en función de las características estructurales del mismo. Por ejemplo: las parcelas de valores más bajos con respecto al componente II o al III tienen índices de diversidad elevados (según la fórmula de Shannon). Mientras que los valores altos para cualquiera de estos componentes tienen índices de diversidad bajos.

En el análisis anterior, respecto a la primera componente aparecen dos grupos claramente contrapuestos que polarizan gran parte del gradiente. Por ello resulta conveniente hacer un segundo análisis eliminando los elementos de esos grupos y repetir el análisis con el grupo central más indiferenciado. Se ha prescindido de las parcelas 7 y 24 (clasificadas como pastizales de efímeras) y 13 y 14 (clasificadas como praderas semiagostantes).

Eliminados estos casos queda una matriz de 16 x 89 elementos, que se utilizan como datos de base en el segundo análisis en componentes principales y cuyos resultados se comentan a continuación.

La varianza explicada (absorción de varianza) se distribuye para los cinco primeros componentes tal como se presenta en la tabla ACP44. Se observa que todos los porcentajes parciales obtenidos en este análisis son superiores a los resultantes en el análisis

Tabla ACP44.- Varianza explicada por cada uno de los cinco primeros componentes.

<u>Componente</u>	<u>% de varianza explicada</u>
I	15.155
II	11.411
III	9.311
IV	8.679
V	8.098
<b>Total acumulado</b>	<b>52.654</b>

con la totalidad de las parcelas. Aunque la ganancia de información no es mucha, el simple hecho de considerarlas independientemente, avalado por esta primera prueba matemática de aumento en la absorción de varianza en los componentes, ofrece mayores garantías a la hora de definir los subgrupos y sus posibles relaciones.

Para el primer componente los valores indicadores más elevados (tabla ACP45, correlaciones de las variables con los componentes) ponen de manifiesto una polaridad determinada por los siguientes grupos de especies:

<u>Factores positivos</u>	<u>Factores negativos</u>
Thrinicia hispida	Vulpia bromoides
Crepis virens	Bromus mollis
Tuberaria guttata	Festuca rubra
Silene gallica	Aira caryophyllea
Euphorbia exigua	Trifolium subterraneum
Centaurea ornata	Myosotis discolor
Erodium ciconium	Parentucellia viscosa
Toesdalia coronopifolia	Ranunculus bulbosus
Tolpis barbata	Vulpia myuros
	Poa trivialis

Tabla ACP45.- Correlaciones elevadas de las variables con las 5 primeras componentes principales.

Especie nº	<u>Componentes</u>				
	I	II	III	IV	V
1			-.61		
4	-.77				
5		.65			
6	-.58				
7	-.57			-.59	
10	.71				
11		-.60			
13			-.53		
16	-.72				
17					.53
18	.54	-.53			
20	-.51			-.60	
21		-.57			
27	.62				
28			.55		
29			.53		
30		.66			
33		-.51			
35		-.64			
37		.71			
38	.60				
39	.60	.61			
41	.62				
42	.83				
45				-.56	
47				.52	
49		-.52			
50	-.62			-.57	
51					.53
52		.70			
54		.76			
55	.62	.65			
59				.50	
62	-.51			-.67	
66	-.57			-.58	
69					-.54
70					-.57
71	.56				
73			-.66		
75		-.50			
77		.76			
78			-.55		
79	-.50			-.66	
81	-.50			-.66	
85			-.55		
90		.76			
91		.76			

Las especies con factores positivos elevados se encuentran en vallicares muy pobres. Estas especies vienen a ser el punto de unión entre vallicares y pastizales de efímeras, encontrándose en ambos tipos de comunidad, aunque varía ligeramente la abundancia.

Las especies con factores negativos elevados son, unas de ellas las más típicas en los pastizales de dehesa, junto con *Agrostis castellana*, y otras características de prados buenos (vallicares de siega), con bastante humedad, suelo profundo y muy estabilizados (prados viejos). En conjunto, unas por su abundancia y otras por su presencia, definen al grupo de vallicares más ricos, clasificados como vallicares de siega, que pueden presentar pequeñas características de praderas semiagostantes, como es la presencia de *Poa trivialis* o de *Festuca rubra*.

En el segundo componente también aparece contraposición entre grupos de especies por presentar factores de carga elevados de signo distinto. Estas especies son las siguientes:

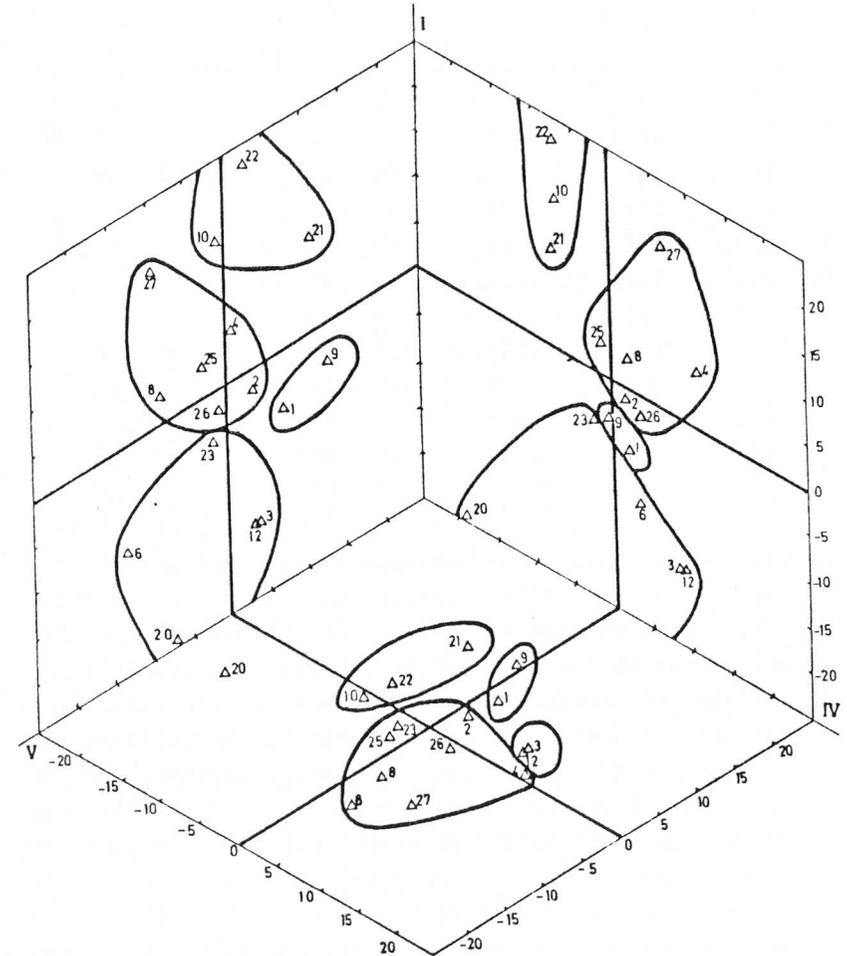
Factores positivos

*Hypochaeris radicata*  
*Cynodon dactylon*  
*Narcissus bulbocodium*  
*Euphorbia exigua*  
*Anthemis nobilis*  
*Spergula arvensis*  
  
*Teesdalia coronopifolia*  
*Parentucellia viscosa*  
*Lotus corniculatus*  
*Filago gallica*  
*Evax carpetana*

Factores negativos

*Trifolium glomeratum*  
*Crepis virens*  
*Parentucellia latifolia*  
*Galium divaricatum*  
*Trifolium arvense*  
*Filago germanica subsp. spathulata*  
  
*Trifolium scabrum*

Figura ACP23.-



Vegetación en pastizales de dehesa. Año 1975  
 Estudio parcial del grupo de vallicares.  
 Análisis en componentes con datos de densidad.

La polarización en este segundo componente sirve para diferenciar al grupo de pastizales más pobres, que quedaron definidos por sus especies comunes más abundantes en el componente I. Las especies con factores positivos definen pastizales más asentados o más evolucionados. Sin embargo, las especies con factores negativos forman parte importante en comunidades menos evolucionadas, dentro del grupo de los vallicares pobres.

En el plano definido por los componentes I y II aparecen, además de los dos tipos de vallicares más extremados (vallicares pobres y vallicares de siega), un grupo central que agrupa al resto de posibilidades fitosociológicas intermedias. En este núcleo, los vallicares más húmedos se orientan hacia el extremo más próximo a los vallicares de siega y los más secos junto a los vallicares pobres. Los majadales no pueden diferenciarse claramente, aunque uno de ellos mantiene una posición ligeramente desplazada hacia la derecha. Figura ACP23.

#### Estudio del suelo

El análisis del suelo se realizó a partir de los datos obtenidos de 11 variables (factores químicos y granulométricos), manteniendo el mismo número de individuos (pastizales). La varianza explicada o absorbida por los 3 primeros componentes fué del 80%. Las correlaciones de las variables con los componentes (o factores de carga) se representan en la Figura ACP24 y la representación gráfica de las parcelas en los planos factoriales se recoge en la figura ACP25.

El primer componente ordena las parcelas según el grado de calidad del suelo, definido por las variables N, CaO y Arcilla como factores positivos y Arena gruesa

Tabla ACP46.- Correlaciones de los factores Edáficos con los 5 primeros componentes.

Variable	Componentes				
	I	II	III	IV	V
PH	.5599	.1092	-.6824	.1505	.1731
CaO	.9200	.2709	-.0694	-.0248	.1444
Mat. Org.	-.3145	.9190	.1178	-.0786	.1689
N	-.2234	.8882	.3463	-.0689	.0513
C/N	-.5307	.6688	-.3595	.0553	.0666
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	.6855	.1433	-.5200	.0137	.2836
K <sub>2</sub> O	.1761	.4670	-.5773	.0792	-.6337
Ar. gru.	-.5434	-.1885	-.3830	-.6981	.0247
Ar. fin.	-.7099	-.2140	-.2559	.5997	.1034
Limo	.6355	.2241	.6096	.1639	-.1076
Aecilla	.9120	-.0476	.0405	-.1650	-.0591

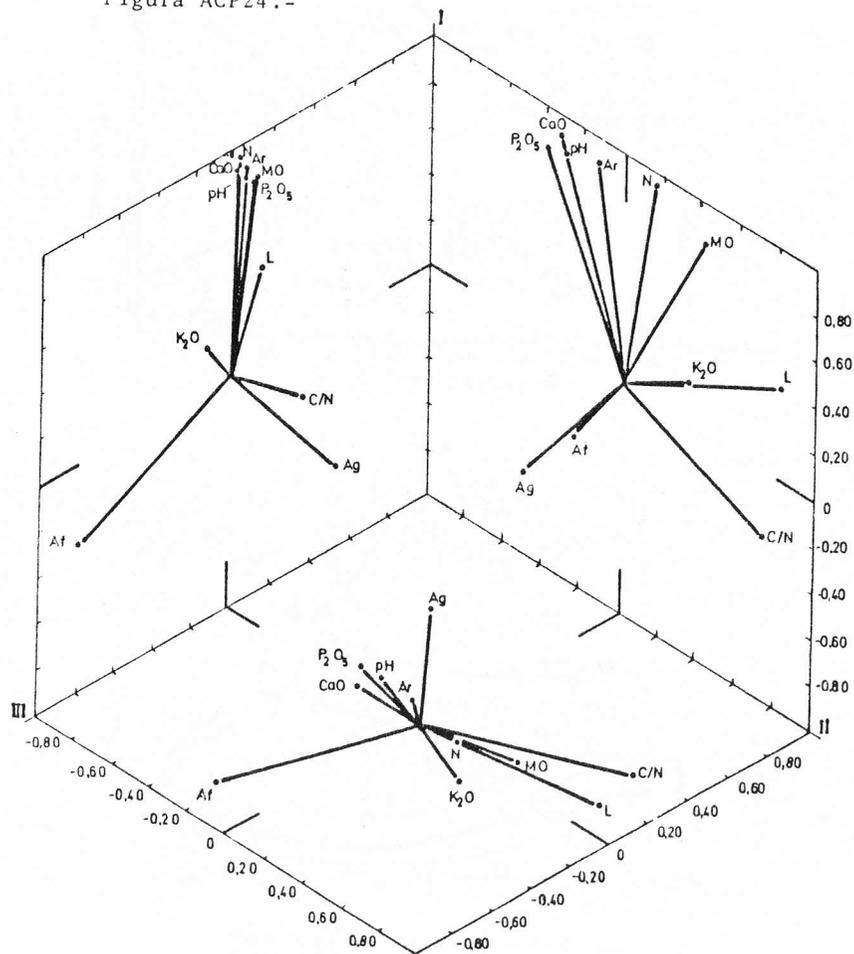
( Factores carga.)

como factor negativo.

Particularmente la correlación entre el primer componente y las fracciones granulométricas del suelo, da valores muy significativamente distintos de cero, con una probabilidad superior al 99% para dos de ellos (figura ACP26.a). Representando en un diagrama triangular las parcelas analizadas, teniendo en cuenta los valores de las fracciones granulométricas (figura ACP26.b), pueden relacionarse perfectamente con las coordenadas del componente I. Con las líneas de puntos se separan de forma gradual y ordenada los grupos discretos obtenidos en el análisis con todas las variables. El segundo componente discrimina las parcelas de textura limosa y de relación C/N elevada, reflejo de la actividad de la fauna edáfica. El tercer componente diferencia las parcelas teniendo en cuenta el valor de la fracción granulométrica Arena fina, cuyos suelos pueden ser de origen dife-

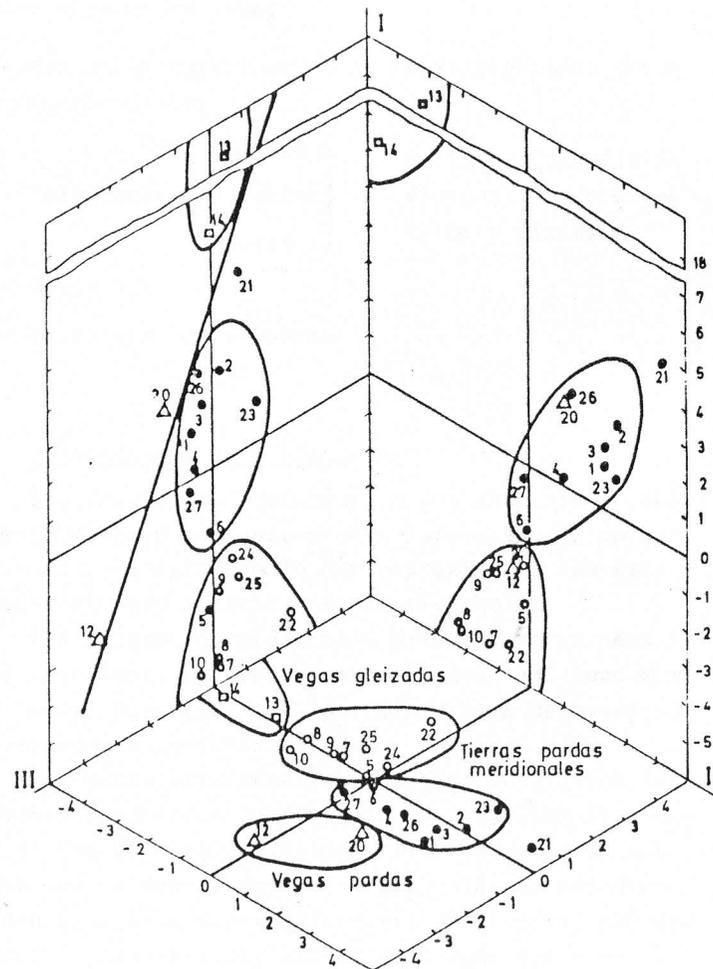
rente: unos formados por aportes laterales de textura areno-limosa y otros formados por aluviales de textura fino-arenosa.

Figura ACP24.-



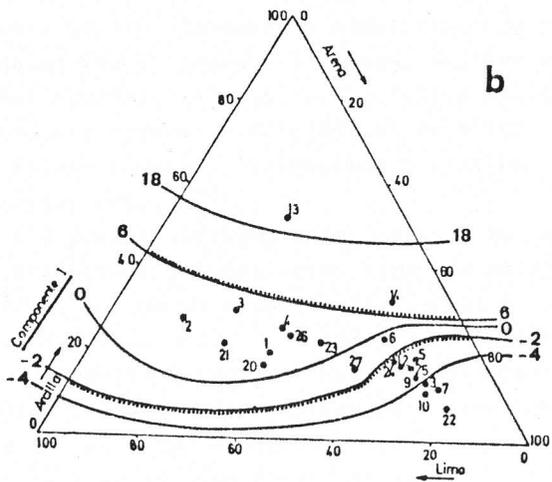
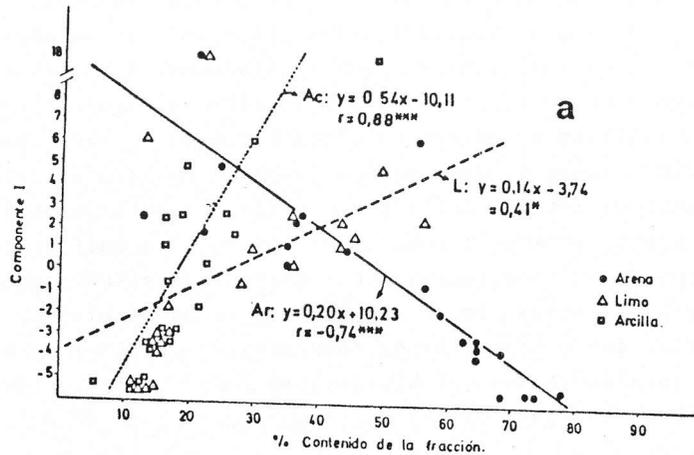
Factores edáficos de pastizales de dehesa.  
Factores de carga para los componentes.

Figura ACP25.-



Factores edáficos de pastizales de dehesa.  
Análisis en componentes.

Figura ACP26.-



Factores edáficos de pastizales de dehesa.  
Relación entre las fracciones granulométricas  
y el componente I del análisis en componentes.

Considerando el resultado de ambos análisis, los pastizales controlados quedan agrupados, de acuerdo a su composición florística y la tipología de los suelos, en los siguientes tipos:

- Prados semiagostantes, de vegas gleyzadas sobre conglomerados.
- Vallicares {
  - Húmedos
  - Normales
  - Pobres
 de tierras pardas meridionales sobre granitos y pizarras
- Majadales
- Pastizales de efímeras

Relación con la producción.

Los resultados obtenidos en los análisis de vegetación y suelo recogen una información integrada que permite fácilmente su correlación con sus factores causales y en este ejemplo concreto con la producción.

Los valores de producción primaria aérea neta anual obtenidos, diferenciados por años, así como el valor medio para cada año, parcela y tipo de pastizal se exponen en la tabla ACP47.

Los pastizales de efímeras (fig. ACP27) son los de menor producción, con valores que oscilan al rededor de los 2000 kg/Ha. Es necesario hacer notar que dentro de la denominación de pastizales de efímeras pueden agruparse dos asociaciones diferentes, que dependen de las características del lugar sobre el que se asientan y de las condiciones a que están expuestos. Por una parte se encuentran las ubicaciones sobre suelos esqueléticos, apelmazados, muy pobres en bases,

no se debe precisamente a los valores de producción, ya que aparecen definidos con valores muy similares, que oscilan en torno a los 5300 kg/Ha, sino por la composición de la comunidad, sobre todo por lo que se refiere a especies dominantes (mayor abundancia y cobertura) y al sistema de utilización; los vallicares de siega normalmente se reservan hasta un máximo de producción, y los vallicares húmedos, aunque también pueden segarse, generalmente son pastados directamente por el ganado. Este tipo de alternativa, por supuesto, afecta a la composición específica y sus relaciones; por ejemplo, los valores de diversidad más bajos, entre pastizales de esta zona, corresponden generalmente a los vallicares de siega, cuya estabilidad es, efectivamente, función de la energía ingresada (riego temporal, abonado, siega, etc.).

Además de *Agrostis castellana*, *Vulpia bromoides* y *Bromis mollis*, comunes en ambos tipos de pastizal, aunque en proporciones diferentes, definen el vallicar húmedo: *Agrostis salmantica*, *Trifolium strictum* y *Trifolium parviflorum*; y el vallicar de siega: *Festuca rubra*, *Phleum nodosum*, *Arrhenatherum elatius*, *Alopecurus pratensis*, etc.

Los prados semiagostantes revasan con mucho las cifras alcanzadas por los otros tipos de pastizal. En el año 1977, en uno de ellos llegaron casi a conseguirse 16000 kg/Ha. La media para los prados controlados, computando los cinco años de control, ha superado los 7000 kg/Ha/año. Aunque estos valores son claramente superiores a los ya comentados, sin embargo ocupan un escaso porcentaje de la superficie provincial.

El vallicar es el tipo de pastizal de más amplia representación y que mayor extensión ocupa en la provincia de Salamanca, manteniéndose en equilibrio ines-

sin capacidad de retención, acordes y en equilibrio con esas características y estabilizados por esas condiciones y, por lo tanto, de difícil evolución. La producción de esos pastizales es inferior a 500 kg/Ha. Por otra parte están los pastizales de efímeras sobre suelos bien aireados por la actividad radicular, de producción notable, poco evolucionados hacia el pastizal por falta de carga ganadera, entre matorral de papilionáceas cuyas raíces airean y facilitan nitrógeno y donde la radiación llega filtrada por presencia de encinas, carrascas y matorral. Este último es el que nosotros hemos considerado, ya que el primero, en esta zona, tiene es caso interés económico.

Las especies dominantes y determinantes de esas producciones son fundamentalmente *Vulpia bromoides*, *Agrostis castellana*, *Holcus setiglumis*, *Trifolium glomeratum*, *Trifolium arvense*, *Moenchia erecta*, *Aphanes microcarpa*, *Spergula arvensis* y *Brassica barrelieri*.

Siguen en producción los vallicares pobres y vallicares con valores próximos a los 2400 y 2500 kg/Ha respectivamente. Como especies más representativas destacan en ambos *Agrostis castellana*, *Antoxanthum aristatum* y *trifolium striatum*. Definen igualmente a los vallicares *Moenchia erecta* y *Galium verum* y a los vallicares pobres *Trifolium glomeratum*, *Tuberaria guttata* y *Linum bienne*.

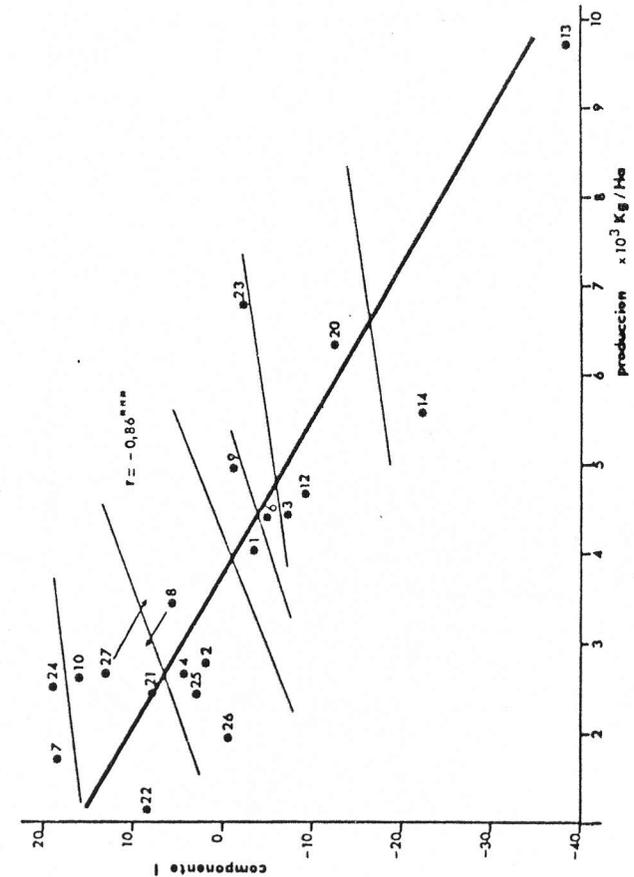
Los majadales tienen una producción algo superior a los vallicares, alcanzando una media de 3780 kg/Ha. En este caso la composición específica determinante de tal producción queda definida por *Poa bulbosa*, *Agrostis castellana*, *Alopecurus pratensis*, *Trifolium subterraneum* y *Trifolium striatum* fundamentalmente.

Mayor producción presentan los vallicares húmedos y vallicares de siega, cuya diferencia entre sí,

table con el medio, forzado por la acción y efectos an tropozoógenos. Dentro de este gran grupo quedan perfec tamente secuenciados los distintos tipos al correlacio nar los valores de producción primaria con las coorde nadas respecto al primer componente del análisis de ve getación, que define en términos generales el gradiente de oligo-eutrofismo. El resto de los pastizales se sitúan igualmente en torno al eje definidor de los sen tidos comentados, aunque sus magnitudes escalares los sitúan en los extremos contrapuestos. Resulta un coefi ciente de correlación negativo y muy significativo dis tinto de cero (-0.86); es decir, los diferentes tipos de pastizales asentados sobre suelos silíceos o cali zos de la zona semiárida del centro-oeste español pue den perfectamente ser clasificados y definidos en fun ción de la producción.

La computación se realizó usando el subprograma FACTOR del paquete de programas estadísticos SSPS. La opción usada fué PA1 (Factorización Principal sin Ite ración equivalente a un Análisis de Componentes Prin cipales, vease sección 5.2.5).

Figura ACP27.-



Correlación entre la Producción y las coordenadas del primer componente del análisis de vegetación.

Tabla ACP47.- PRODUCCION PRIMARIA EN PASTIZALES DE DEHESA

N°	LUGAR	TIPO	PRODUCCION kg/Ha					VALORES	MEDIOS
			1.974	1.975	1.976	1.977	1.978		
7	Fuentes de Sando	Pastizal de efimeras	1.920	2.150	2.120	4.640	1.520	2.470	
24	Berrocal de la Espinera	Pastizal de efimeras	-	1.540	1.440	2.080	1.720	1.690	2.080
10	Berrocal de la Espinera	Vallicar pobre	3.470	2.490	760	3.800	2.080	2.520	
22	Villoria de Buenamadre	Vallicar pobre	-	690	520	960	20.80	1.060	
8	Fuentes de Sando	Vallicar pobre	2.630	3.840	1.080	4.800	4.960	3.460	2.370
21	Servandez	Vallicar pobre	-	2.220	880	4.040	2.640	2.440	
27	Gudino de Ledesma	Vallicar normal	-	2.690	1.720	3.800	2.400	2.650	
4	Pedro Lien	Vallicar normal	2.550	2.410	880	-	4.800	2.660	
25	Berrocal de la Espinera	Vallicar normal	-	2.960	1.200	3.080	2.440	2.420	2.490
2	Servandez	Vallicar normal	4.430	3.080	840	2.280	2.720	2.790	
26	Gudino de Ledesma	Vallicar normal	-	1.880	820	2.840	2.200	1.930	
1	Servandez	Majadal	4.010	3.190	1.140	5.460	6.320	4.020	
5	Villoria de Buenamadre	Majadal	1.980	4.000	970	2.520	2.160	2.330	3.780
9	Berrocal de la Espinera	Majadal	3.790	2.900	2.880	7.080	8.280	4.990	
6	Villoria de Buenamadre	Vallicar húmedo	3.870	3.840	1.110	6.440	6.640	4.380	
23	Fuentes de Sando	Vallicar húmedo	-	4.790	2.640	11.040	8.720	6.800	5.590
3	Pedro Lien	Vallicar de siega	3.750	4.030	-	5.400	4.520	4.430	
12	Muñoveja	Vallicar de siega	4.490	4.520	1.520	8.000	4.640	4.630	5.120
20	Servandez	Vallicar de siega	-	9.360	3.040	6.640	6.120	6.290	
14	Santibáñez de Cañedo	Prado semiafostante	4.730	4.230	2.040	9.280	7.440	5.540	
13	Santibáñez de Cañedo	Prado semiafostante	4.270	11.300	5.560	15.920	11.760	9.760	7.650