

Ed. J. Rita
*Taxonomía, Biogeografía y
Conservación de Pteridófitos*
Soc. Hist. Nat. Bal. - IME
Palma de Mallorca, 1990.

BIOGEOGRAFIA NUMERICA EN PTERIDOLOGIA

A. E. SALVO & J.C. GARCIA-VERDUGO

Departamento de Biología Vegetal
Universidad de Málaga

Dedicamos este trabajo a la memoria de J. D'URVILLE. Quizás sería más correcto hacerlo a uno de sus artículos, pues nada sabemos de aquel hombre más que sus apellidos y sin embargo hemos leído innumerables veces ese artículo que hace ya diez años encontramos fortuitamente en la Biblioteca de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Granada, debiendo a él la línea principal de nuestra trayectoria investigadora.

Resumen.

En el presente trabajo se realiza un profundo análisis de los objetivos y métodos de la biogeografía numérica en su aplicación a la pteridología. Se describen tanto los pasos previos (definición de OGU y ficha pteridológica) como los correspondientes al procesado de datos. Con respecto a éste, se desarrollan dos vertientes posibles: por un lado, la caracterización de OGUs, en la cual se detallan distintos tipos de análisis aplicables, como la riqueza florística, los índices s/g y m/t, el ISRP y los análisis ecológicos y corológicos en todas sus facetas y, por otro, la ordenación y jerarquización de dichas OGUs, con el cálculo de distancias biogeográficas y sus posibles derivaciones, como la delimitación de fronteras, los cálculos de heterogeneidad total, etc.

Asimismo, se hace especial hincapié en la aplicación de las modernas técnicas informáticas a la biogeografía, definiendo las características y parámetros deseables para una gestión adecuada de bases de datos, y se presenta por primera vez el proyecto AXIS, una base de datos abierta y multirrelacional que pondría los datos disponibles sobre pteridoflora del Mediterráneo occidental e islas macaronésicas, al alcance de todos los investigadores interesados.

Palabras clave: Pteridología, biogeografía numérica, bases de datos.

Summary.

In the present work a deep analysis of the aims and methods in the numerical biogeography in its application on pteridology is made. The previous steps (OGU definition and pteridological files are described) as well as the correspondent data management. Referring to this, the two possibilities are developed: on one side, the OGUs characterization, in which different kinds of applicable analysis are detailed, like floristic richness, s/g and m/t indexes, the ISRP and the ecological and corological analysis in every one of their sides; on the other side, the ordering and hierarchization of the mentioned OGUs, with

the calculation of total heterogeneous, etc.

In the same way, a special strength is made in the application of the modern computerized technics to biogeography, defining the characteristics and parameters desirable for an adequate management of data base, and it is introduced for the first time in the AXIS project; it is an open and multirelational data base which would set the available data on pteridoflora from west mediterranean and macaronesic island, at the reach of all interested researchers.

Key words: Pteridology, numerical biogeography, data base.

INTRODUCCION.

Del ensayo d'Urville.

Muy pocas veces en la historia de la Pteridología se han mezclado tan propicios ingredientes como para hacer en 22 páginas un relato entretenido, científico y cargado de anotaciones (a veces osadas) como en el ensayo de J. D'URVILLE (1825) "De la distribution des fougères sur la surface du globe terrestre".

Lástima que este autor fuera tan comedido y no intentara ser más explícito en los resultados de sus observaciones, ya que sus pretensiones son tantas y de tal interés que sus conclusiones dejan finalmente insatisfecho al lector.

Se adhiere atrevidamente a las hipótesis transformistas con comentarios como:

"... De cualquier forma que se conciba el origen primordial de nuestro globo es difícil creer que todas las especies hoy existentes de seres organizados hayan sido formadas simultáneamente."

No deja de dar, en cualquier caso, una curiosa explicación (con tintes creacionistas) a dicha hipótesis:

"... ya sea porque sus simientes, ya preexistentes pero suspendidas en sus funciones, encontrarán un día unas circunstancias propicias para desarrollarse y entonces ejercer sus virtudes reproductivas"

En su introducción, además de esta definición de intenciones plantea el interés del estudio florístico de las islas, tanto para la observación de la sucesión vegetal, como para la comprensión del fenómeno de la trasmigración.

Es evidente que D'Urville, de haber profundizado en sus investigaciones sobre estos problemas, habría alcanzado una importante relevancia científica por cuanto faltaban muchos años hasta que se emitieran hipótesis serias sobre dichos temas.

Sin embargo, el resto del trabajo viene a consagrarlo como el primer pteridólogo que hace un ensayo biogeográfico basado en un análisis numérico.

El método seguido por D'Urville consiste sencillamente en muestrear al azar aquellos lugares en donde desembarca la corbeta Cuquille, en la que él va enrolado, recolectando cuantas plantas vasculares encuentra. Tras sus recolecciones recuenta el número de fanerógamas y el de pteridófitos, y realiza el cociente de estos respecto a aquellas.

El asume que dicha relación es válida para establecer relaciones florísticas y que el principal factor que la modifica es la madurez de los ecosistemas.

Fitogeografía: Concepto, subdisciplinas y fases.

De entre todas las definiciones de fitogeografía que he consultado es aquella de NEGRI (in GOLA, NEGRI & CAPELETTI, 1959) la que considero más completa. Según dicho autor esta sería la "disciplina botánica encargada del estudio de la distribución de las especies en la superficie del globo, del equilibrio que alcanza en la Tierra el revestimiento vegetal, interpreta sus caracteres teniendo en cuenta los medios de dispersión de las plantas y de los factores que ejercen su influencia sobre ella, así como las acciones geológicas, geográficas, fisiográficas y bióticas que intervinieron en épocas precedentes a la nuestra en cuanto afecta a la evolución del mundo vegetal".

Bajo esta definición se conceptúa pues a la fitogeografía como una ciencia integradora y que englobaría distintas subdisciplinas, con métodos y objetivos propios. Entre otras, es necesario definir, para una mejor comprensión del resto de la exposición, dos:

- La **corología**, que tiene por objeto la delimitación de las áreas de distribución de las distintas unidades taxonómicas.

- La **epiontología**, que tiene por objeto el estudio de la génesis de las áreas vegetales.

El método fitogeográfico permite en la actualidad el reconocimiento de tres niveles:

Uno primero, fitogeográfico en estricto sentido, que se ocuparía de la distribución de los organismos, y que se plantea como cuestiones básicas el origen de los táxones y las razones que explican su distribución. En este contexto tiene especial importancia el concepto de **track biogeográfico** (SAVAGE, 1982), entendiéndose por tal a la distribución de las especies individuales en el espacio y en el tiempo.

En un segundo nivel se encontraría la panbiogeografía. A dicho respecto puntualiza BRAMWELL (1985): "A pesar de la naturaleza única de las distribuciones de las especies, numerosos tracks individuales son concordantes y responden a un modelo común. Estos modelos se conocen como **tracks generalizados**. El reconocimiento de tracks generalizados involucrando la distribución de muchas especies o varios grupos monofiléticos superiores, es el primer paso fundamental de la panbiogeografía".

El último nivel lo constituiría la fitogeografía numérica. La aplicación del análisis numérico de la información es útil principalmente en la determinación de modelos distributivos locales, así como en la definición, clasificación jerárquica y ordenación de OGU (Unidades Geográficas Operativas). Es fácil deducir a partir de este término, debido a CROVELLO (1981), que los fundamentos de la fitogeografía numérica y de la taxonomía numérica son idénticos, ya que así lo son sus problemas tanto biológica como matemáticamente (FEOLI & GANIS, 1984). No en vano estos últimos autores comienzan su artículo afirmando que tanto la taxonomía como la fitogeografía están basadas en números.

Otro aspecto de importancia creciente, es la aplicación de bases de datos informatizadas a la Fitogeografía; aspecto que trataremos más adelante.

Los pteridófitos en Biogeografía.

Desde el ensayo de D'URVILLE (1825), casi la totalidad de los pteridólogos que han tratado acerca de la biogeografía de los helechos han coincidido en reivindicar el valor que poseen estos vegetales para este tipo de estudios, aportándose diferentes argumentos para defender dicho postulado.

A principios de siglo CHRIST (1910) afirmaba que "Se ha creído y se cree aún que la dispersión de los helechos difiere esencialmente de aquella de las fanerógamas, en el sentido de que las primeras tendrían unos areales más amplios y que el endemismo estaría menos representado. Nada más inexacto. La especialización de las especies y endemismos en la clase de los pteridófitos coincide con el resto de la flora".

Es evidente que los procesos de especiación geográfica en helechos y en otras plantas son básicamente iguales. Sin embargo, por una parte es necesario admitir que en ocasiones, en el grupo que nos ocupa, estos procesos ocurren sobre una escala geográfica más amplia. En cambio, los helechos presentan tres características, impuestas por su sistema de reproducción, y que conjuntamente les singularizan de los demás cormófitos. Estas serían:

Especies	1	2	3	4	5	6	7
<i>Adiantum capillus veneris</i>	O	AD	t	1	1	1	HET TER
<i>Anogramma leptophylla</i>	O	AP	t	1	1	1	HET TER
<i>Asplenium billotii</i>	R	AT	m	1	1	1	LATEMED TER
<i>Asplenium ceterach</i>	R	AT	m	1	0	1	MED Y ROP TER
<i>Asplenium hemionitis</i>	MR	T	m	0	1	0	PALEOMED TER
<i>Asplenium marinum</i>	MR	AD	m	1	1	1	LATEMED CUA
<i>Asplenium onopteris</i>	R	Q	m	1	1	1	SEMI TER
<i>Asplenium trichomanes</i>	O	AT	m	1	1	1	HET TER
<i>Cheilanthes maderensis</i>	O	AT	t	1	1	0	SEMIMED TER
<i>Cosentinia vellea</i>	O	AT	t	1	1	0	MED Y ROP TER
<i>Davallia canariensis</i>	MR	AD	m	1	1	0	PALEOMED TER
<i>Equisetum telmateia</i>	MR	MA		1	1	1	CIRCUMB. TER
<i>Hippochaete ramossissima</i>	MR	MA		1	1	0	HET TER
<i>Osmonda regalis</i>	MR	MA	t	1	1	1	HET TER
<i>Polypodium cambricum</i>	O	AT	m	1	1	1	LATEMED TER
<i>Pteridium aquilinum</i>	R	Q	t	1	0	1	HET TER
<i>Selaginella denticulata</i>	R	AP		1	1	1	SEMI TER

Fig. 1. Ficha pteridológica correspondiente al Monte Gurugú (NW de Africa). 1: Frecuencia de aparición: O: ocasional; R: raro; MR: muy raro. 2: Ecosistema preferencial: AD Grietas y fisuras de rocas calizas rezumantes, AP: Grietas terrosas, húmedas y umbrías, AT: Fisuras de rocas verticales, MA: Pastizales de suelos húmedos, Q: Bosques, T: Pastizales anuales. 3: Carácter monoleta (m)- trileta (t). 4, 5 y 6: Carácter biogeográfico: se expresa con 0 ó 1 la ausencia ó presencia, respectivamente, de los táxones de las regiones Mediterránea (4), Eurosiberiana (5) y Macaronésica (6). 7: Tipos biogeográficos: TER: Terciarios, CUA: Cuaternarios, HET: Heterocóricos, LATEMED: Latemediterráneos, MED y ROP: Mediterráneo y regiones orientales próximas, PALEOMED: Relictos paleomediterráneos, SEMIMED: Semimediterráneos, CIRCUMB: Circumboreales.

1) Casi la totalidad de las especies de pteridófitos presentan una capacidad de dispersión y migración similares.

2) Las distribuciones de las especies dependen exclusivamente de las condiciones medioambientales del hábitat, al no mediar vectores animales en su dispersión.

3) Los pteridófitos van a comportarse como r-estrategas por su sistema de reproducción.

En consecuencia, el comportamiento geográfico adoptado por los pteridófitos dependerá de la distribución y variación de las especies, la geografía de los ecosistemas y los procesos de especiación.

Pero sobre todos estos argumentos el más ampliamente utilizado para defender el valor biogeográfico de los pteridófitos es su antigüedad. "La antigüedad geológica de estas plantas, la existencia de numerosos grupos desaparecidos, otros en vía de extinción y algunos en pleno apogeo, brindan información que ayuda a explicar una serie de problemas en fitogeografía, no solamente sobre la distribución actual de las plantas, sino también sobre la historia y modalidad de este proceso (centros de origen y dispersión, centros secundarios de diversificación, rutas migratorias, grandes unidades florísticas y sus conexiones en el pasado)" (DE LA SOTA, 1973).

Un último argumento lo constituiría la reducida representación de táxones pteridofíticos en las floras regionales, lo que permite operar más fácilmente (cfr. JARDINE, 1972).

METODOLOGIA DEL ANALISIS NUMERICO APLICADO A LA BIOGEOGRAFIA DE PTERIDOFITOS.

El interés suscitado por el estudio biogeográfico de los pteridófitos ha conllevado a que en la actualidad exista un extenso elenco bibliográfico, el cual es sin duda el mejor garante del valor que este grupo vegetal posee. De la consulta de esta bibliografía podemos deducir que la gran mayoría queda tan sólo en el primer nivel metodológico. Los artículos de JERMY (1984) y de TRYON (1986) constituyen verdaderos paradigmas de ensayos biogeográficos en sentido estricto.

Muy pocos trabajos han tratado una aproximación panbiogeográfica. De entre otros aquel de PICH-SERMOLLI (1979) sobre la pteridoflora del área mediterránea, cumple entre otros objetivos el reconocimiento de tracks generalizados.

El tratamiento numérico apenas ha sido utilizado en los estudios pteridogeográficos, viéndose reducido a la comparación de riquezas florísticas, o a la aplicación de índices de semejanzas. Excepcionales y de gran valor son, en este sentido, los artículos de BIRKS (1976), DZWONKO & KORNAS (1978) y DZWONKO (1977).

"OGU" y ficha "pteridológica".

La aplicación del análisis numérico en biogeografía puede responder a dos objetivos distintos: la caracterización o definición de una OGU (Operational Geographic Unity, senso Crovello 1981) determinada; o bien, la comparación de dos o más OGUs para su jerarquización u ordenación.

En ambos casos la OGU debe responder a un área homogénea en cuanto a las componentes generales que definen su flora. En este sentido, la *tesela* -en su concepción fitosociológica- constituye la unidad básica fundamental para el estudio biogeográfico. En cualquier caso, la aplicación metodológica puede extrapolarse a territorios más extensos que respondan al criterio de homogeneidad y más o menos correspondientes con las unidades jerárquicas de la fitogeografía: sector, provincia, etc. En algunas ocasiones hemos creído útil para nuestros estudios considerar como OGUs territorios que no responden a unidades fitogeográficas convencionales, tales como franjas altitudinales de 100 m de espesor o cuadrículas de 50 x 50 Km, estando justificado su uso bien por la base de datos que se posea o por el tipo de resultados que se deseaban contrastar.

La *ficha pteridológica* es un instrumento con el cual se pretende presentar de forma concisa el máximo de información necesaria para un análisis biogeográfico completo. En ella se relacionan primeramente los táxones bien por su nombre completo, una abreviatura (p.ej.: las tres primeras letras del género y las tres primeras del epíteto del rango taxonómico más inferior que pueda serle asignado), o incluso una referencia numérica (p.ej.: el sistema propuesto por PICH-SERMOLLI, 1977).

Si bien en aquellos análisis comparativos en los que las OGUs corresponden a territorios extensos está justificada la utilización de registros binarios, ausencia/presencia, de los táxones; siendo recomendable en aquellos casos de áreas menores utilizar índices de frecuencia con tantas clases como sea posible estimar. En nuestros trabajos hemos considerado como criterio la frecuencia de aparición del taxon en su ecosistema preferencial, estableciendo seis categorías: ausente (-, 0), muy raro (MR, 1), raro (R, 2), ocasional (O, 3), frecuente (F, 4) y abundante (A, 5).

Como puede observarse en la figura 1, además del catálogo y el índice de frecuencia, en la ficha pteridológica se adjuntan toda una serie de datos no sólo de índole biogeográfica, sino también ecológica.

Procesado de datos.

Como ya hemos visto anteriormente los métodos de análisis numérico en biogeografía pueden ser aplicados en tres sentidos: 1) A la caracterización de las OGUs; 2) Jerarquización y ordenación de OGUs y 3) Determinación de Modelos Distributivos Locales.

1) Análisis aplicados a la caracterización de OGUs.

Riqueza florística.

Se trata sencillamente del número de táxones que crecen en una región determinada. Si bien el número por sí sólo ofrece una escasa información, puede ser de un mayor interés para la comparación con otras áreas similares.

De la observación del mapa presentado por TRYON (op. cit., pag.126), puede deducirse

como la riqueza florística de pteridófitos disminuye desde el ecuador hacia los polos.

En la figura 2, la riqueza florística es aplicada a OGU correspondientes a cuadrículas de 50 x 50 km de la Península Ibérica y Baleares, pudiéndose apreciar fácilmente como la distribución de las especies pteridofíticas se encuentra directamente relacionada con el clima e indirectamente con la altitud.

Cociente número de especies/nº de géneros.

Esta relación pretende de forma sencilla poner de manifiesto la mayor o menor antigüedad de la flora de una OGU determinada. Así, la proximidad a la unidad del resultado del cociente nos pondrá de manifiesto la existencia de un cierto relictualismo. El alejamiento de la unidad supone una mayor capacidad de los táxones intragenéricos a que se lleven a cabo procesos como la hibridación que favorezcan la alopoloidia, mecanismo de especiación ampliamente extendido en pteridófitos.

En el cuadro I puede verse el resultado del cociente S/G para las pteridofloras de las regiones Mediterránea, Eurosiberiana y Macaronésica.

En el cuadro II se compara el mismo cociente para las pteridofloras de las Sierras del Aljibe y de Sierra Nevada. El primer territorio no afectado por las glaciaciones y con un bioclima termomediterráneo subhúmedo a húmedo. El segundo, por su altitud media, ampliamente afectado por las glaciaciones y con un bioclima que oscila desde el meso- al crioromediterráneo y un ombroclima de seco a húmedo. Además de los cocientes se han añadido para cada caso el número de híbridos y los porcentajes del índice cronológico que posteriormente comentaremos.

	GENEROS	ESPECIES	S/G	
Región Mediterránea	36	96	2.66	Cuadro I
Región Eurosiberiana	43	136	3.16	
Región Macaronésica	26	82	1.95	

	Sierra de Algeciras	Sierra Nevada		
Nº géneros	22	17	Cuadro II	
Nº especies	33	40		
S/G	1.50	2.35		
Nº híbridos	0	5		
Índice cronológico	Terciarias	82.35		59.46
	Cuaternarias	17.65		40.54

	24 20 27 29	32 28 27 17 18 12		
8 13 12 21 26 45	43 42 40 41 34 43 48 45		49 50 42	
7 25 12 20 22 10	5 6 11 6 27 32 28 23 34 48		18 20 34 38 34 22	
31 20 9 13 6	3 1 0 7 28 29 18 5 7 15		6 8 12 29 32 5	
27 18 16 21 11	0 0 0 5 9 13 13 2 1 1		5 16 11 22	
36 24 27 25 20	6 3 4 7 25 5 5 11 2 1		22 5	
23 23 22 25 16	6 4 13 37 11 7 12 7 3 6		9	
29 33 23 16 23	27 22 22 19 13 2 9 17 9 21			
				17
				26 17
11 20 20 23 10 10	23 17 13 6 1 2 1 10 14 13		12	
26 13 9 14 16 12	13 14 3 4 2 1 0 3 13 21		15	
33 19 8 14 7 9	9 11 5 10 6 2 3 2 12 17		12	
8 9 6 7 20	17 20 18 16 5 19 7 9 12			
16 9 11 24 25	18 14 4 10 6 16 3 6 12			
25 13 11 11 18	11 7 12 11 35 14 9 3			
	11 29 27 21 23 31 20 12			
	13 36 21			

Fig. 2. Riqueza florística aplicada a las pteridofloras correspondientes a cuadrículas UTM de 50x50 Km de la Península Ibérica y Baleares.

Cociente m/t.

Este índice está basado en la relación de especies de helechos con esporas monolaesuradas (m) respecto a los de esporas trilaesuradas (t) de una OGU determinada. Fue aplicado por primera vez por ITO (1972) para Asia Oriental y Oceanía, y con posterioridad (1978) este mismo autor lo aplicó a un total de 64 pteridofloras de todo el mundo. Para una más fácil comprensión de los resultados establece seis rangos (A: para valores mayores de 3; B: 2,51-3,00; C: 2,01-2,50; D: 1,51-2,00; E: 1,01-1,50; F: menos de 1,00).

Las conclusiones más importantes a las que llega este autor son las que a continuación exponemos:

- **El índice m/t disminuye de Norte a Sur.** A partir de los datos de ITO (1978) hemos confeccionado el cuadro III y la figura 3, pudiéndose observar que a una serie de regiones situadas próximas a un mismo meridiano corresponden valores m/t crecientes respecto a una latitud también creciente.

- **A igual latitud las regiones más áridas presentan un índice m/t menor.** La influencia de la aridez sobre el índice m/t queda bien reflejada cuando son estudiadas pteridofloras

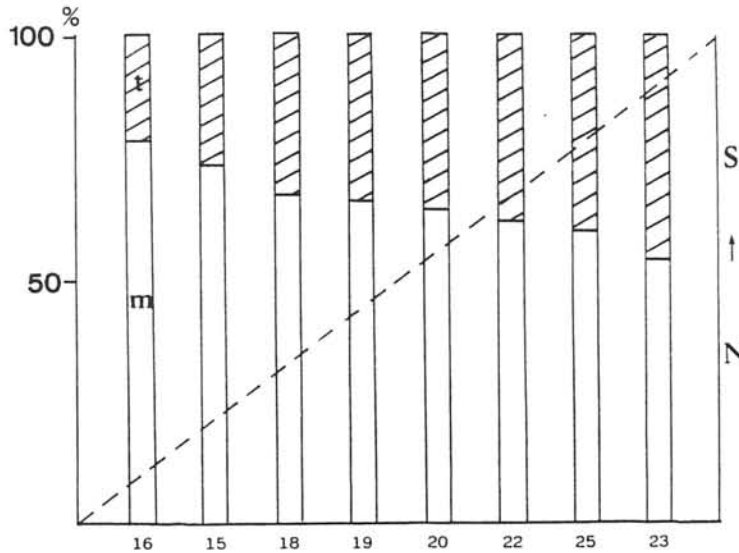


Fig. 3. Representación gráfica de la influencia de la latitud en el índice m/t en 8 pteridofloras de las 64 que estudió ITO (1978) (ver cuadro III). m:Monoletas, t:Triletas.

Nº	latitud	m/t	m/N	t/N
16	51° 53' N	3'54	0'78	0'22
15	49° 61' N	2'71	0'73	0'27
18	28° 36' N	2'00	0'67	0'33
19	28° 29' N	1'94	0'66	0'34
20	4° 18' N	1'77	0'64	0'36
22	0° 4' S	1'62	0'62	0'38
25	20° 21' S	1'50	0'60	0'40
23	34° 0' S	1'17	0'54	0'46

Cuadro III. Influencia de la latitud en el índice m/t aplicado a 8 pteridofloras de regiones similares en longitud geográfica, de las 64 que estudió ITO (1978). m:Monoletas, t:Triletas, N:Total.

correspondientes a OGU's de una misma franja latitudinal pero con ombroclimas distintos. Así en el cuadro IV y en la figura 4, realizados también a partir de los resultados de ITO (1978), se observan que al aumentar las precipitaciones también lo hace el cociente m/t, o lo que es lo mismo en zonas más áridas disminuye.

- **A igual latitud el índice m/t aumenta proporcionalmente con la altitud.** Con el fin de observar la influencia de la altitud en el índice m/t se estudio su aplicación a la pteridoflora de Sierra Nevada, a partir de los resultados de VARO & SALVO (1982). En un primer análisis (PICHI-SERMOLLI, ESPAÑA & SALVO, 1988) se estimó el índice m/t para los cinco pisos de vegetación (termomediterráneo, mesomediterráneo, supramediterráneo, oromediterráneo y crioromediterráneo) quedando los resultados reflejados en el cuadro V y en la figura 5. De ellos es fácil deducir que la altitud afecta al cociente aumentándolo a medida que se asciende.

Con posterioridad, con motivo del estudio de la distribución en franjas altitudinales de la flora pteridofítica nevadense (SALVO, NIETO & CABEZUDO, 1989), se aplicó el cálculo del

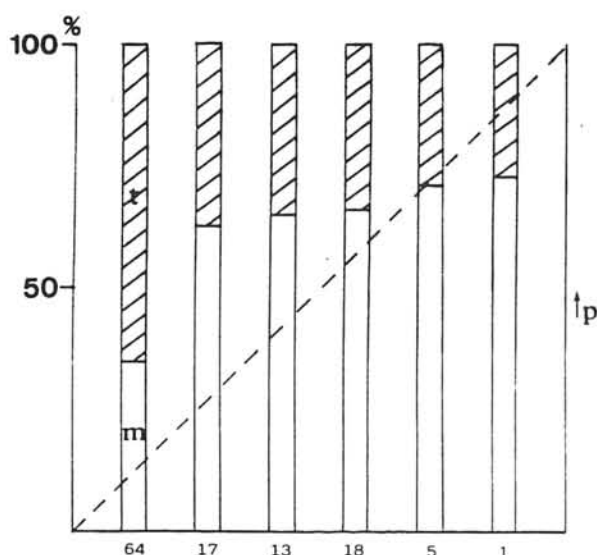


Fig. 4 .Representación gráfica de la influencia de las precipitaciones en el índice m/t en 8 pteridofloras de las 64 estudiadas por ITO (1978) (ver cuadro IV) m: Monoletas, t:Triletas.

Nº	Precipitación(mm)	m/t	m/N	t/N
1	+ 2000	2'73	0'73	0'27
5	500-1000	2'46	0'71	0'29
18	500-1000	2'00	0'66	0'33
13	250-500	1'92	0'65	0'35
17	250-500	1'73	0'63	0'37
64	250-500	0'55	0'35	0'65

Cuadro IV. Influencia de las precipitaciones en el índice m/t aplicado a 8 pteridofloras, de regiones similares en longitud geográfica, de las 64 que estudió ITO, (1978). m:Monoletas, t:Triletas, N:Total.

índice m/t a OGU correspondientes a franjas de 100 m de espesor. Los resultados quedan reflejados en la cuadro VI, de la que podemos entrever que el modelo se ajusta a una curva asintótica (figura 6), en la que el máximo se alcanza en los 2600 mns. A partir de esta altitud el índice m/t comienza nuevamente a disminuir. Muy probablemente esto pueda deberse a que la acción de la altitud sobre el m/t resulte distorsionada en determinadas circunstancias por el bioclima. Así, a partir de los 2600 m en Sierra Nevada el ciclo biológico de los vegetales se reduce al período estival, en donde las altas temperaturas y el viento provocan una fuerte xericidad en los ecosistemas que, como las gleras y las fisuras de rocas (hábitats preferenciales de los pteridófitos que allí habitan), no se ven favorecidos por el deshielo.

La figura 7 ilustra el rango del cociente m/t para las unidades pteridogeográficas establecidas por SALVO & cols. (*in prep.*) para la región mediterránea occidental y archipiélagos adyacentes

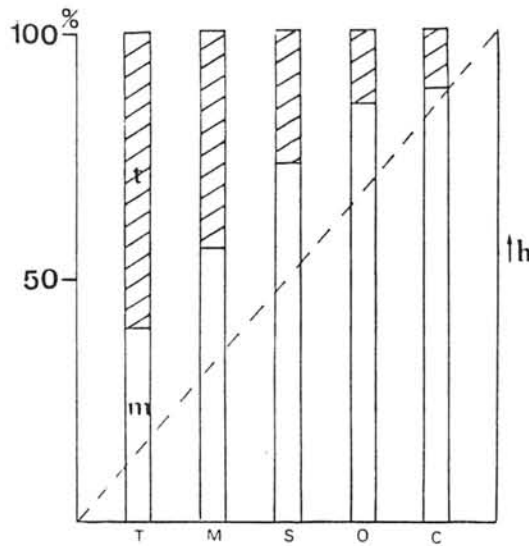


Fig. 5. Histograma en el que se comparan los porcentajes de especies monoletas (m) y triletas (t) para cada pteridoflora de los distintos pisos bioclimáticos de Sierra Nevada (tomado de PICHÍ-SERMOLLI, ESPAÑA & SALVO, 1988) (ver cuadro V).

PISOS	m/t	m/N	t/N
TERMOMEDITERRANEO	0'67	0'40	0'60
MESOMEDITERRANEO	1'25	0'56	0'44
SUPRAMEDITERRANEO	2'80	0'73	0'27
OROMEDITERRANEO	5'50	0'85	0'15
CROROMEDITERRANEO	7'00	0'88	0'12

Cuadro V. Influencia de la altitud en el índice m/t para la pteridoflora por pisos climáticos de Sierra Nevada (tomado de PICHÍ-SERMOLLI, ESPAÑA & SALVO, 1988). m: Monoletas, t: Triletas, N: Total.

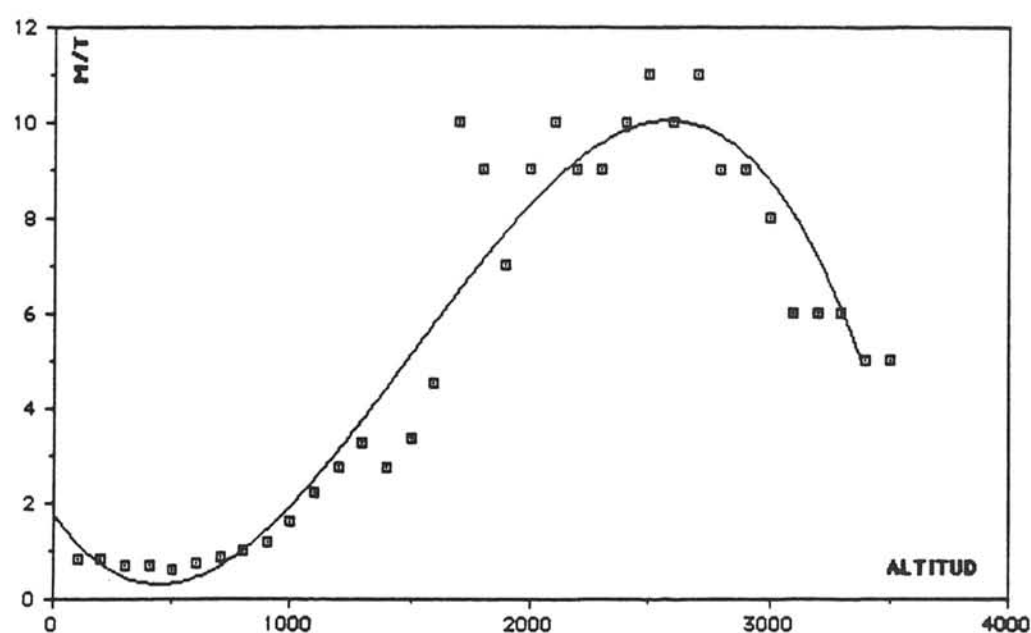


Fig. 6. Representación gráfica de la distribución altitudinal, por franjas de 100 m, de los valores del cociente monoletas(m)/triletas(t) y ajuste de los valores a una curva (ver cuadro VI).

Altitud	m/t	Altitud	m/t
100	0,83	1900	7
200	0,83	2000	9
300	0,71	2100	10
400	0,71	2200	9
500	0,63	2300	9
600	0,75	2400	10
700	0,86	2500	11
800	1	2600	10
900	1,17	2700	11
1000	1,6	2800	9
1100	2,2	2900	9
1200	2,75	3000	8
1300	3,25	3100	6
1400	2,75	3200	6
1500	3,33	3300	6
1600	4,5	3400	5
1700	10	3500	5
1800	9		

Cuadro VI. Distribución altitudinal, por franjas de 100 m, de los valores del cociente monoletas (m)/triletas(t) (tomado de PICHI-SERMOLLI, ESPAÑA & SALVO, 1988).

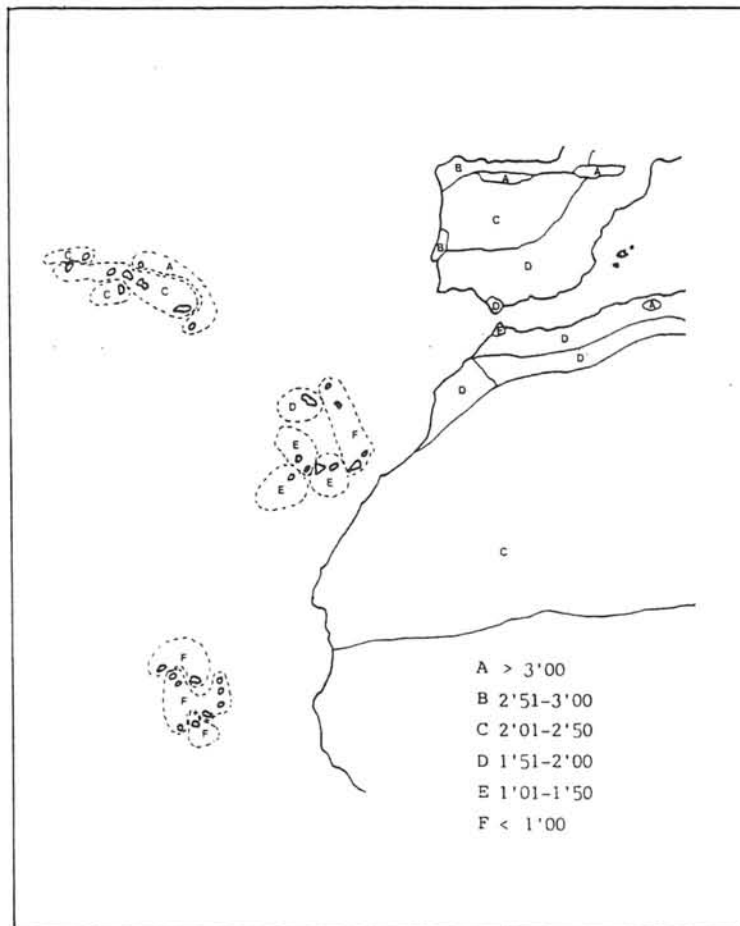


Fig. 7. Rango de los valores que presenta el índice m/t para las unidades pteridogeográficas establecidas por SALVO & cols. (in prep.) para la región mediterránea occidental y archipiélagos adyacentes.

Por otra parte también mostramos los resultados de la aplicación del m/t para las cuadrículas de 50 x 50 Km en que quedan divididas la Península Ibérica e Islas Baleares (PICHÍ-SERMOLLI, ESPAÑA & SALVO, 1988). En la figura 8 se consignan los valores para cada cuadrícula. Mientras que en la figura 9 se han establecido los rangos propuestos por ITO (*op. cit.*), adjuntándose a la derecha de dicho mapa los rangos medios de cada fila. Como puede observarse en dicha columna lateral la distribución de los rangos es normal, a excepción de las filas 2, 4 y 5. Estas anomalías se deben en el primer caso al aumento de la altitud media en la Cordillera Cantábrica, mientras que en las otras dos a la existencia de zonas de gran pobreza pteridofítica debido a condiciones extremadamente xéricas. Por último, en la figura 10 se reagrupan los rangos en dos clases: I = A+B+C y II = D+E+F. Como puede observarse la Península Ibérica queda subdividida en dos grandes unidades: una septentrional, en la que las especies con esporas monolaesuradas duplican al menos a las de esporas trilaesuradas; la otra meridional, en la que las especies de esporas monolaesuradas son siempre menos del doble que las de trilaesuradas.

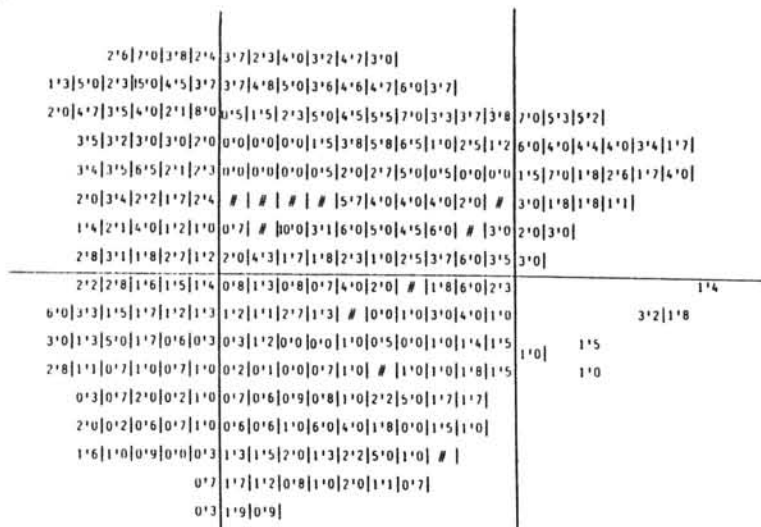


Fig. 8. Valores que toma el índice m/t aplicado a las pteridofloras correspondientes a cuadrículas UTM de 50 x 50 Km de la Península Ibérica y Baleares.

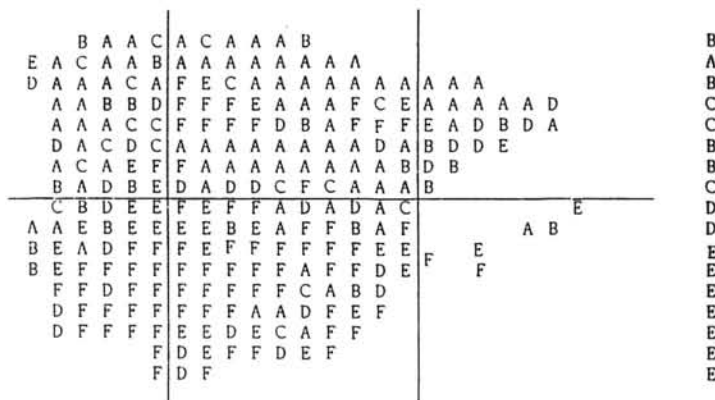


Fig. 9. Utilizando los rangos del índice m/t establecidos por ITO (1978), se establece el valor de cada cuadrícula UTM de 50 x 50 Km del mapa de la Península Ibérica y Baleares. A la derecha se adjuntan los rangos medios de cada fila (tomado de PICHI-SERMOLLI, ESPAÑA & SALVO, 1988). A:>3.00; B:2.51-3.00; C:2.01-2.50; D:1.51-2.00; E:1.01-1.50; F:<1.00.

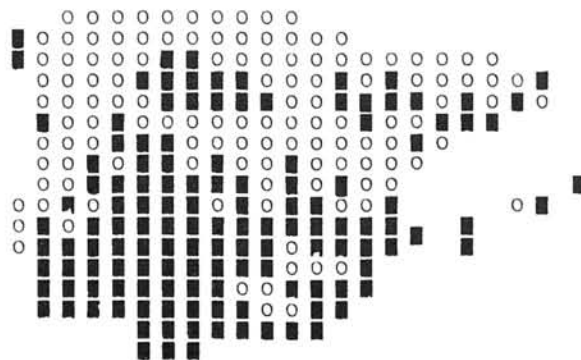


Fig. 10. Los rangos del índice m/t de la figura 9 son reagrupados en dos clases: I=A+B+C y II=D+E+F (tomado de PICHI-SERMOLLI, ESPAÑA & SALVO, 1988). O=A+B+C; ■=D+E+F.

Índice de similitud con las regiones próximas (ISRP).

El índice de similitud con las regiones próximas está basado en el índice de similitud creado por SORESEN (1948) para calcular la similitud entre las comunidades vegetales, su cálculo se realiza mediante la aplicación del siguiente algoritmo:

$$Q = 2z / (x + y)$$

donde z = número de especies comunes entre las zonas a comparar; x = número de las especies que componen la pteridoflora de la OGU A; y = número de las especies que componen la pteridoflora de la OGU B. Los resultados se expresan en tantos por ciento.

A partir del índice de Soresen, SALVO (1982) y SALVO & CABEZUDO (1984) propusieron el ISRP para establecer la similitud de la pteridoflora de una OGU determinada respecto a la de las regiones biogeográficas más próximas, con un doble fin: por una parte, establecer en el seno de que gran unidad se encuadraría la OGU en cuestión y en segundo lugar caracterizarla determinando la tendencia de su pteridoflora.

Nuestra experiencia hasta el momento se basa tan sólo en OGUs localizadas en el área de influencia de tres grandes regiones biogeográficas: Mediterránea, Macaronésica y Eurosiberiana. Las pteridofloras de estas tres regiones tienen significados históricos tan diferentes que suponen un marco comparativo de alto interés para llevar a cabo este tipo de análisis (*cf.* PICHISERMOLLI, ESPAÑA & SALVO, *op. cit.*). Dado que los resultados obtenidos no ofrecen una visualización rápida y comparativa, se ha ideado un sistema de representación gráfica (*ex profeso* para la comparación con estas tres regiones) que se describe a continuación. Tal como puede observarse en la figura 11, se parte de un triángulo equilátero en cuyos vértices se encontrarían los máximos para cada región. Al no ser las pteridofloras de cada una de estas regiones íntegramente exclusivas, y por tanto participes de elementos de cualquiera de las otras, se cree conveniente no destinar una terminología tal vez imprecisa. Así, se prefiere utilizar el término "atlántico" al de "macaronésico", de la misma forma el de "continental" al de "eurosiberiano", y el único que matendría su denominación sería el "mediterráneo". El triángulo es dividido en otros nueve, cuyo significado es el siguiente: 1) Aquellos tres más próximos a los vértices incluirían pteridofloras de carácter puramente atlántico, continental o mediterráneo, respectivamente. 2) Los seis restantes incluirían pteridofloras que vendrían definidas por el vértice más próximo, connotando la tendencia su mayor proximidad a cualquiera de los otros dos vértices. Así, nos encontramos con pteridofloras de carácter atlántico con tendencia mediterránea, pteridofloras de carácter mediterráneo con tendencia continental, etc.

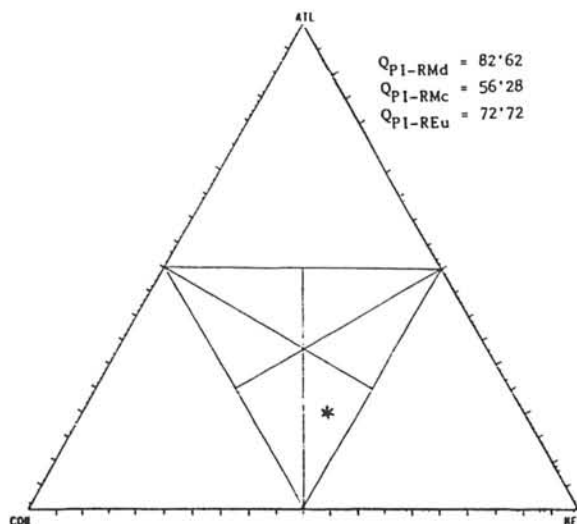


Fig. 11. Índice de Similitud con las Regiones Próximas (ISRP) aplicado a la pteridoflora Ibérica respecto de las regiones Mediterránea (MED), Macaronésica o atlántica (ATL) y Eurosiberiana o continental (CON).

Análisis ecológico.

Este análisis ha sido incluido en nuestros últimos trabajos (*cf.* NIETO, CABEZUDO & SALVO, 1987) siendo de gran utilidad para la interpretación de determinados hechos tanto en los estudios de caracterización como de comparación de OGU. Dicho análisis se desglosa en otros tres:

1) **Espectro biológico.**- Consiste en determinar los porcentajes de aparición de los biotipos -según la clasificación de Raunkier- de los táxones que constituyen la pteridoflora de una OGU determinada.

En la figura 12 podemos observar los espectros biológicos de las pteridofloras de las 17 comarcas florísticas consideradas en la Flora de Andalucía Occidental (VALDES, TALAVERA & FERNANDEZ-GALIANO [Eds.], 1987). De ella puede ser destacada la influencia ejercida por el ombroclima en la definición de los biotipos.

La figura 13.C ilustra comparativamente los porcentajes de representación de cada biotipo para los pisos de distribución altitudinal de los pteridófitos en Sierra Nevada (SALVO, NIETO & CABEZUDO, 1989), en donde se aprecia como a medida que aumenta la altitud la forma de vida hemicriptofítica (muy extendida entre los pteridófitos) va sustituyendo a la geofítica y terofítica.

2) **Espectro fitocenológico.**- Consiste en la estimación de los porcentajes de representación de los hábitats preferenciales en base a los táxones que componen la pteridoflora de una OGU determinada. El establecimiento de los tipos de hábitats se realiza en base a la sintaxonomía, considerando la "Alianza" el nivel básico de diferenciación.

La figura 13.D ilustra comparativamente los porcentajes de representación de cada hábitat para los pisos de distribución altitudinal de los pteridófitos en Sierra Nevada (SALVO, NIETO & CABEZUDO, 1989).

3) **Espectro edáfico.**- Consiste en la estimación de los porcentajes de representación de los comportamientos edáficos (acidófilo, basófilo e indiferente) en base a los táxones que componen la pteridoflora de una OGU determinada. Dicho análisis, según nuestra experiencia, tiene cierto interés a la hora de interpretar comparativamente los valores de riqueza florística.

La figura 14 muestra los espectros edáficos de las pteridofloras de las 17 comarcas florísticas consideradas en la Flora de Andalucía Occidental (VALDES, TALAVERA & FERNANDEZ-GALIANO [Eds.], *op. cit.*), mientras que la figura 15.A lo hace para los cuatro pisos de distribución altitudinal de los pteridófitos de Sierra Nevada.

Análisis corológico.

Este análisis tiene por objeto caracterizar la pteridoflora de una OGU en base a la representatividad de los tipos fitogeográficos.

El problema básico para desarrollar dicho análisis surge precisamente en el momento de reconocer tipos basados en áreas coincidentes de grupos de táxones. En este sentido, desde nuestros primeros trabajos biogeográficos, hemos seguido -atendiendo a su profunda argumentación- la propuesta agrupacional de PICHÍ-SERMOLLI (*op. cit.*). En dicho artículo, este autor propone una serie de grupos tanto temporales como espaciales, en base a las áreas actuales de distribución de las especies de pteridófitos del área mediterránea. Indirectamente PICHÍ-SERMOLLI (1979) establece aquí una metodología para la identificación de tracks generalizados, extrapolable a cualquier otra región del mundo. Así, realiza una primera división entre los táxones que estaban presentes en la Región Mediterránea antes o durante el Terciario, y los que se encuentran desde el Cuaternario. A continuación reúne los táxones terciarios en diez grupos espaciales (A: Ampliamente distribuidas en ambos hemisferios [Heterocóricos]; B: Ampliamente distribuidas en el hemisferio Norte [Circumboreales]; C: Ampliamente distribuidas por las regiones orientales próximas; D: Distribuidas por la Región Mediterránea y otras regiones adyacentes [Latemediterráneas]; E: Distribuidas en las regiones Mediterránea y Saharo-Arábica; F: Relictos de floras tropicales y subtropicales; G: Relictos de la flora Mediterráneo-Macaronésica [Paleomediterráneas]; H: Relictos de la flora Ilírico-Pannónica; I: Especies

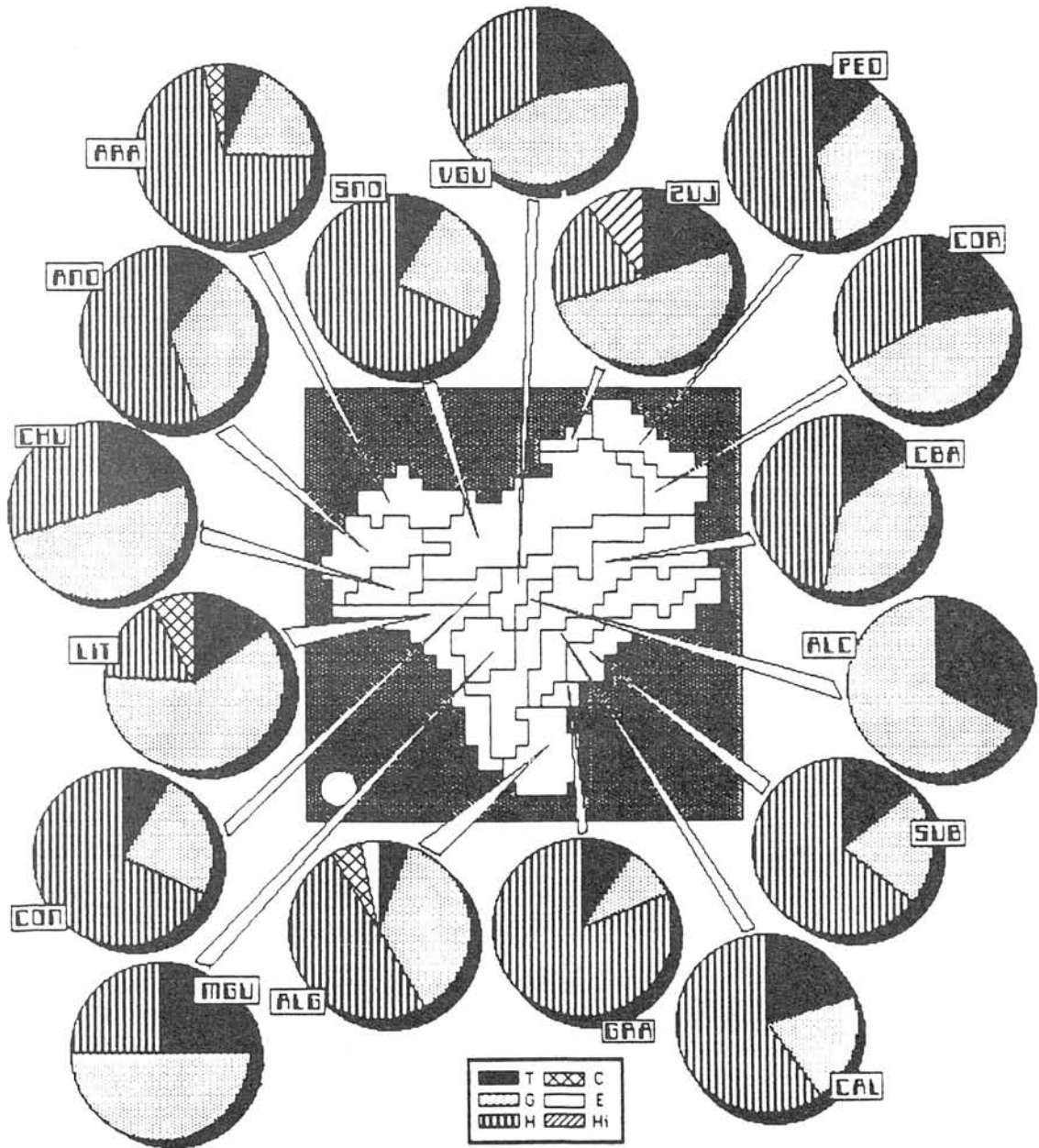


Fig. 12. Espectro biológico de las pteridofloras de las 17 comarcas florísticas consideradas en la "Flora de Andalucía Occidental" (VALDES, TALAVERA & FERNANDEZ-GALIANO (Edit.), 1987).

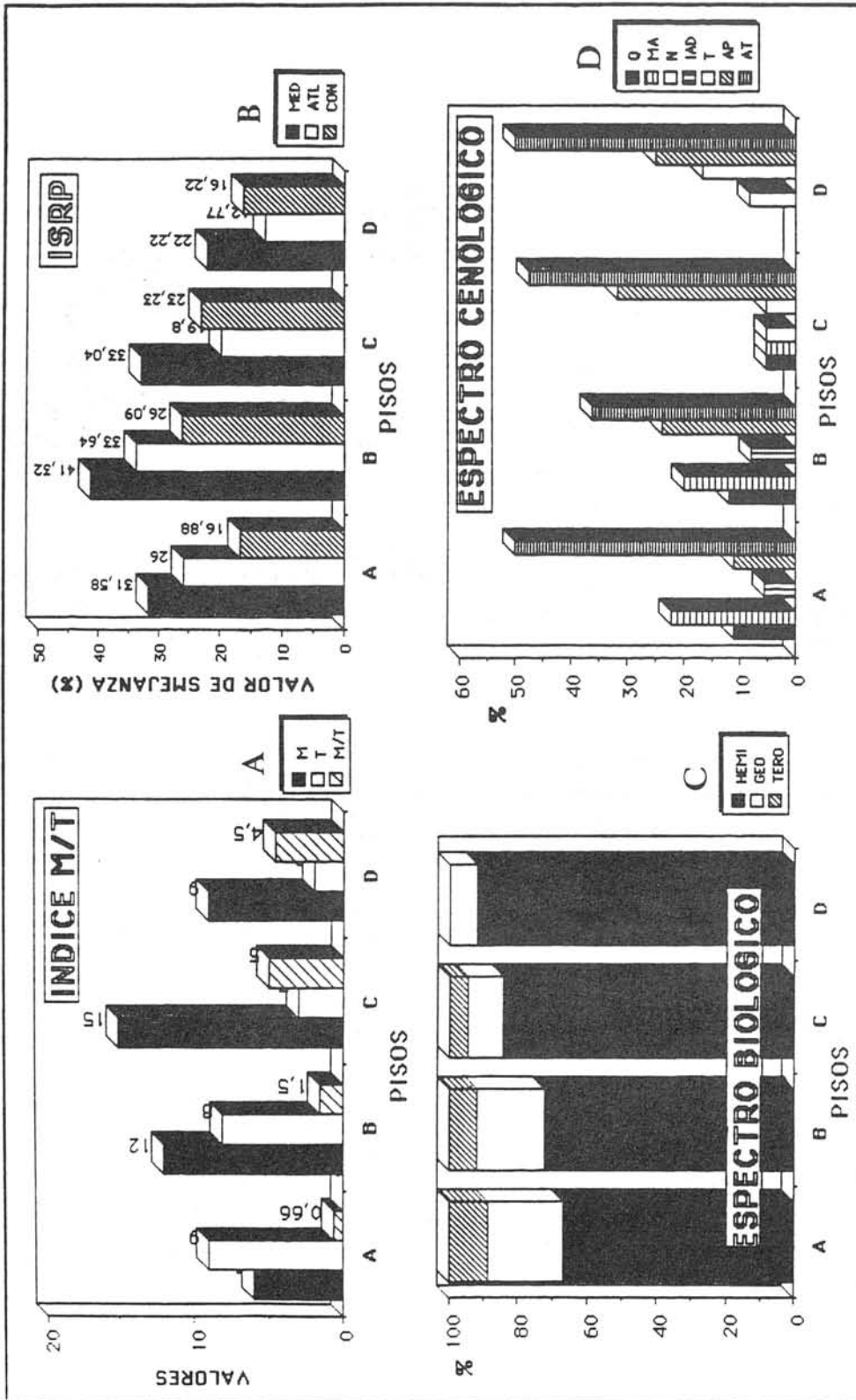


Fig. 13. Histogramas de A: Valores de índice m/t; B: Valores del ISRP; C: Espectro biológico; D: Espectro Fitocenológico; aplicados a los pisos de distribución altitudinal de los pteridófitos en Sierra Nevada.

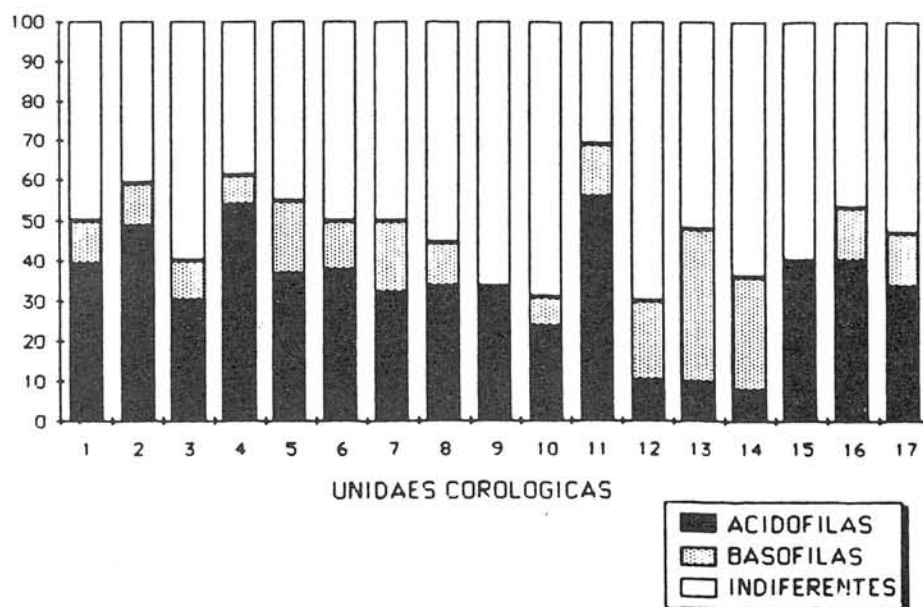


Fig. 14. Espectro edáfico: Estimación de los porcentajes de representación de los componentes edáficos (acidófilo, basófilo e indiferente) en base a los táxones que componen la peridoflora de una OGU determinada.

mediterráneas que penetran escasamente en regiones contiguas [Semimediterráneas]; J: Endemismos mediterráneos [Eumediterráneas]) y a los cuaternarios en cuatro (K: Ampliamente distribuidas en ambos hemisferios [Heterocóricos]; L: Ampliamente distribuidas en el hemisferio Norte [Circumboreales]; M: Relictos cuya distribución actual está centrada en Fennoscandia; N: Relictos cuya distribución está centrada en Centroeuropa, área atlántica y áreas alpinas).

Por nuestra parte, en sucesivos trabajos hemos ido realizando una permanente revisión de este análisis, que va desde la reconfiguración de los grupos o la denominación de los mismos, hasta el desglose de dicho análisis en tres atendiendo al tipo de observaciones que se quería realizar. Estos serían:

1) *Espectro de tracks generalizados*. Se trata de establecer los porcentajes de representación de cada uno de los tracks generalizados en los que se agrupan los táxones que componen la peridoflora de una OGU determinada. Es conveniente en dicho espectro reconocer el mayor número de clases posibles, a fin de detallar lo más posible los resultados. La figura 15.D muestra los resultados de la aplicación de dicho espectro para los cuatro pisos de distribución altitudinal de los pteridófitos de Sierra Nevada.

2) *Espectro fitogeográfico*. Consiste en agrupar las clases en virtud exclusiva de su distribución espacial, a la vez que, en razón de áreas más o menos similares. Así, en la figura 15.B, en la que se muestra el espectro fitogeográfico para las cuatro pisos de distribución altitudinal de los pteridófitos en Sierra Nevada, se observa que la clase "Heterocóricos" es la suma de las clases "Heterocóricos terciarios" y "Heterocóricos cuaternarios" del espectro anterior. Igualmente la clase "Submediterráneos" incluiría a aquellas del espectro anterior: "Mediterráneos y Regiones Orientales Próximas" (tanto terciarios como cuaternarios), Latemediterráneos y Semimediterráneos.

3) *Espectro cronológico*. Consiste en los porcentajes de representación de los dos tipos temporales descritos por PICHI-SERMOLLI (*op. cit.*): Terciarios, los presentes en la región mediterránea antes o durante el Terciario; y los Cuaternarios, los presentes desde el Cuaternario en este territorio. La figura 15.C ilustra con bastante claridad el significado de este tipo de análisis, observándose como los pisos de distribución altitudinal de los pteridófitos de Sierra Nevada más afectados por las glaciaciones presentan un mayor porcentaje de elementos cuaternarios que los que quedaron exentos de sus efectos.

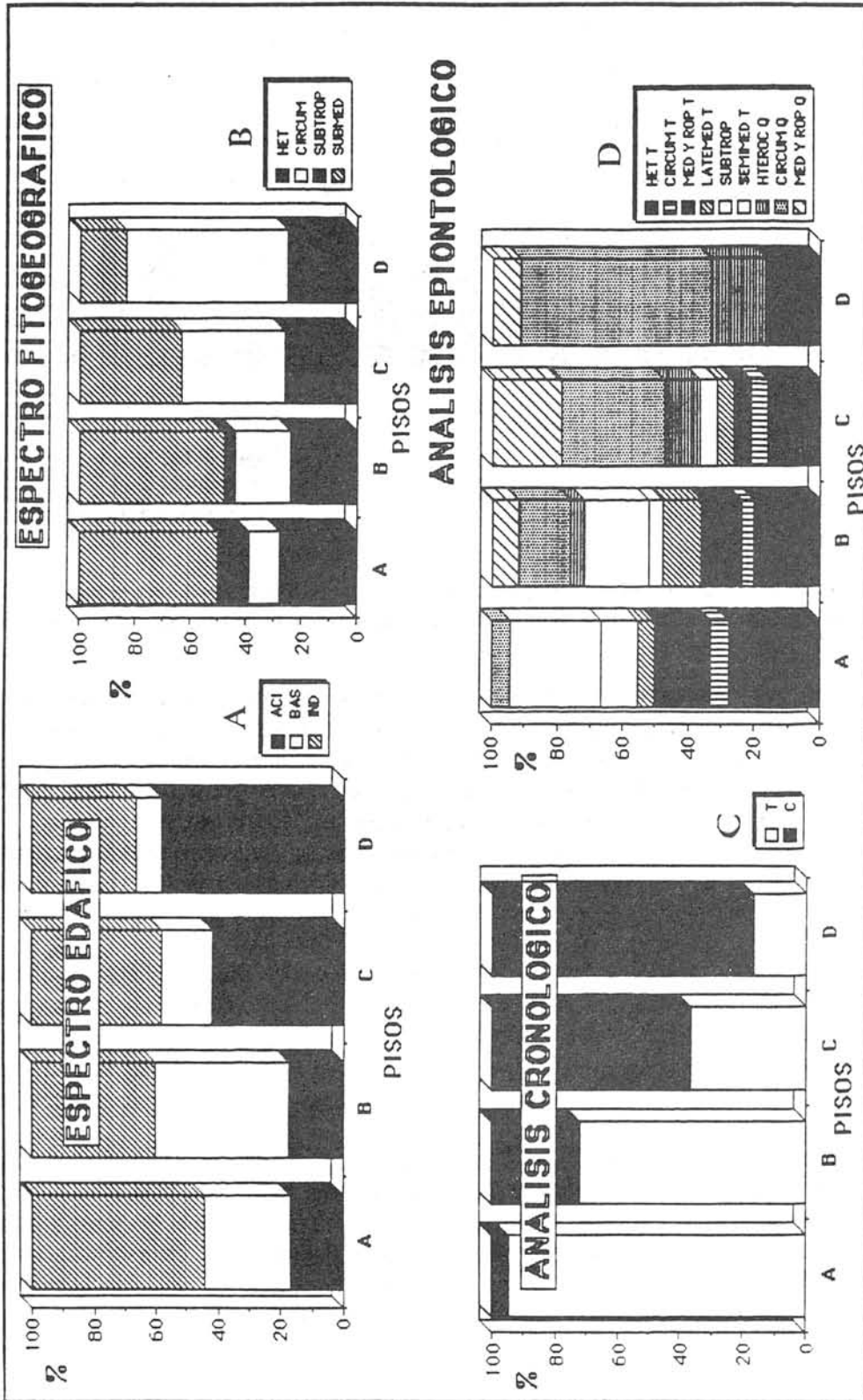


Fig. 15. Histogramas de: A. Espectro edáfico; B. Espectro fitogeográfico (HET: Heterocóricos, CIRCUM: Circumboreales, SUBTROP: Subtropicales y SUBMED:Submediterráneos), C. Espectro cronológico (T: terciarios y C:cuaternarios); D. Espectro de treks generalizados (T: Terciarios, Q:Cuaternarios, HET: Heterocóricos, CIRCUM: Circumboreales, MED y ROP: Mediterráneo y regiones orientales próximas, LATEDMED: Latemediterráneos, SUBTROP: Subtropicales, SEMIMED: Semimediterráneos y HTEROC: Heterocóricos).

Análisis aplicados a la ordenación y jerarquización de OGUs.

Anteriormente ya hemos comentado que los principios que determinan la biogeografía numérica y los de la taxonomía numérica son idénticos. Uno de los objetivos de la taximetría es calcular, mediante la obtención de distancias taxonómicas, la semejanza existente entre las diversas UTOs consideradas. El cálculo de dichas distancias, en base al valor de los caracteres observados, nos proporcionará un fuerte argumento para el conocimiento sobre la relación de los táxones y en consecuencia podremos establecer una sistemática inherente a los caracteres estudiados.

De igual modo la biogeografía numérica a través del cálculo de la distancia biogeográfica, aporta una considerable información sobre la relación entre las OGUs conducente al establecimiento de una clasificación y jerarquía entre ellos.

Cálculo de la distancia biogeográfica.

Muy distintos algoritmos han sido utilizados para el cálculo de la "distancia taxonómica". Todos ellos, con igual bondad, pueden ser aplicados al cálculo de la "distancia biogeográfica". De entre todos ellos el más experimentado por nosotros es el de SOKAL & SNEATH (*op. cit.*), cuyo desarrollo es el siguiente:

$$d_{ij} = \{ [\sum_{i,j=n} (x_i - x_j)^2] / [n - 1] \}^{1/2}$$

en donde la expresión de las variables en su aplicación biogeográfica sería:

d_{ij} = distancia biogeográfica entre la OGU i y la OGU j
 x_i = valor de frecuencia para la especie x en la OGU i
 x_j = valor de frecuencia para la especie x en la OGU j
 n = número de especies consideradas en la matriz inicial

Es necesario tener en cuenta que si las UGOs a comparar presentan pocas especies comunes, y en consecuencia los valores de ausencia en la matriz original aparecen con una alta frecuencia, los resultados finales estarán obviamente más determinados por el número de ausencias que por el de táxones comunes.

La semimatriz de distancias biogeográficas obtenidas puede someterse a distintos tratamientos dependiendo de la aplicación deseada. En este sentido tres tipos de análisis han sido realizados por nosotros:

1) **Valores de heterogeneidad total.**- Está basado en la suma de todas las distancias biogeográficas de una OGU respecto a todas las restantes. El significado de este análisis es meramente comparativo. Así, si clasificamos a las OGUs por sus valores de heterogeneidad, aquellas de valor inferior inferior corresponderán a las que presentan una composición florística "centrada" respecto a aquellas otras de valor más alto que corresponderían obviamente a las más desviantes.

2) **Fronteras.**- Si consideramos que las OGUs son sistemas cuyas composiciones florísticas dependen de la permeabilidad que a la migración de táxones ofrezcan unas barreras determinadas por las condiciones ambientales del medio, puede establecerse que la distancia biogeográfica es un valor indicador de dicha permeabilidad. De esta forma al considerar los valores de distancia biogeográfica entre pares vecinos de OGUs podrán observarse gráficamente las relaciones

3) **Agrupación y jerarquización de OGUs.**- Evidentemente la semimatriz de distancias taxonómicas aporta demasiada inferenciación, difícilmente analizable en su conjunto. Los métodos de representación gráfica ayudan no sólo a una mejor visualización de los resultados, sino

también a una interpretación rápida de los mismos. El dendograma ha sido reiteradamente usado para este fin, considerándose de una alta resolución. Su construcción puede llevarse a cabo mediante diversos métodos, habiendo sido el WPGM (Método de Agrupamiento por Ligamiento Medio) propuesto por MICHENER & SOKAL (1957) el ensayado por nosotros.

Elaborado el dendograma, los resultados pueden ser analizados bajo dos vertientes: 1) el análisis de la agrupación de las OGU's y, en consecuencia, la configuración de posibles unidades superiores constituidas por varios grupos y 2) la jerarquización de las OGU's, tras la consideración de diferentes niveles de agrupación.

Se ha elegido dos ejemplos concretos para los que se ha aplicado el cálculo de distancia biogeográfica.

1.- SALVO, NIETO & CABEZUDO (1989) contrastan la "comarcalización" florística de Andalucía Occidental (fig. 16), propuesta por VALDES, TALAVERA & FERBANDEZ-GALIANO (1987), con la distribución de los pteridófitos en este territorio. En la figura 17 se presenta el dendograma de distancias fitogeográficas, elaborado a partir de una MBD de OGU's-especie elaborada con datos multiestados de frecuencia. La aplicación sobre dicho dendograma de las líneas de fenon a distancias de 1,2 lleva al reconocimiento de cuatro OGU's, respectivamente (fig. 18). Los cuatro fénones estarían caracterizados por parámetros ambientales de tipo litológico, bioclimático, edáfico, etc. (Sierra Morena, Depresión del Guadalquivir, Sierras Béticas y Sierras de Algeciras) que satisfacen esta división basada en datos pteridológicos. En las

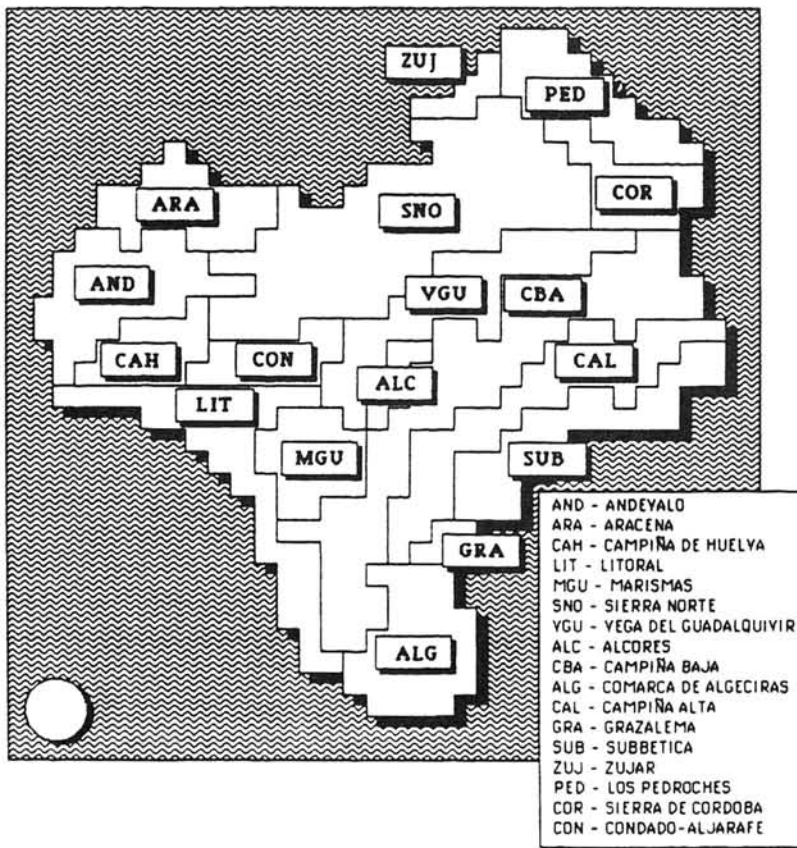


Fig. 16. Comarcalización florística de Andalucía Occidental, según VALDES, TALAVERA & FERNANDEZ-GALIANO (Edit.) (1987).

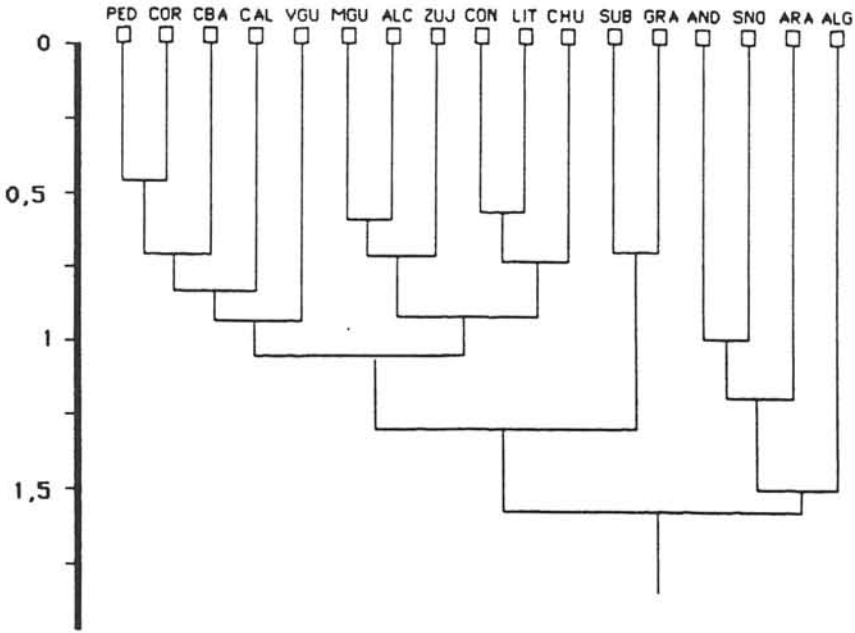


Fig. 17. Dendrograma de distancias fitogeográficas de las comarcas florísticas de Andalucía Occidental.

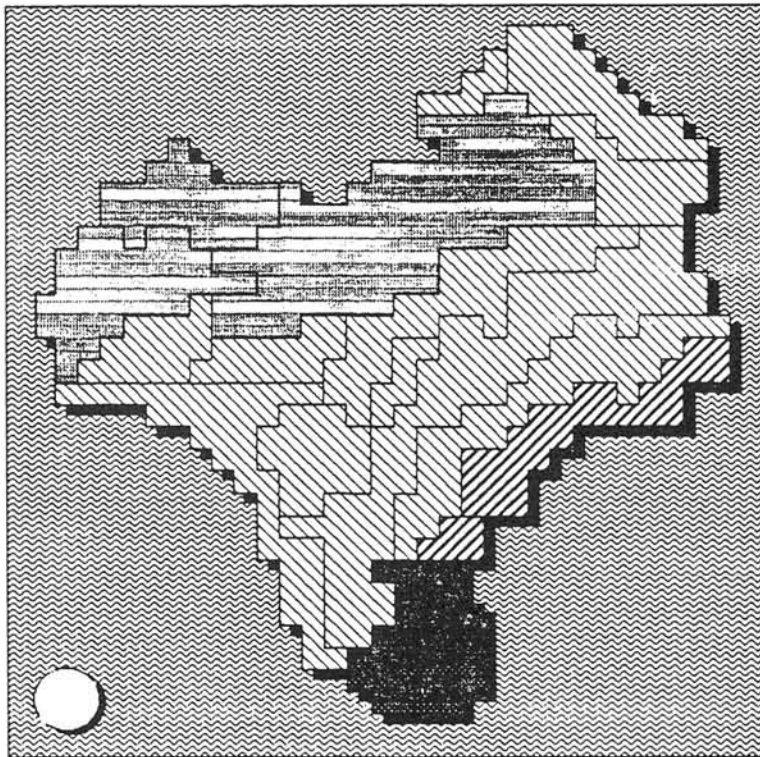


Fig. 18. Unidades fitogeográficas, en base a la peridoflora de las comarcas florísticas de las pteridofloras de Andalucía Occidental, obtenidas a partir de trazado de una línea de fenon, sobre el dendrograma de la fig. 17, a 1,2.

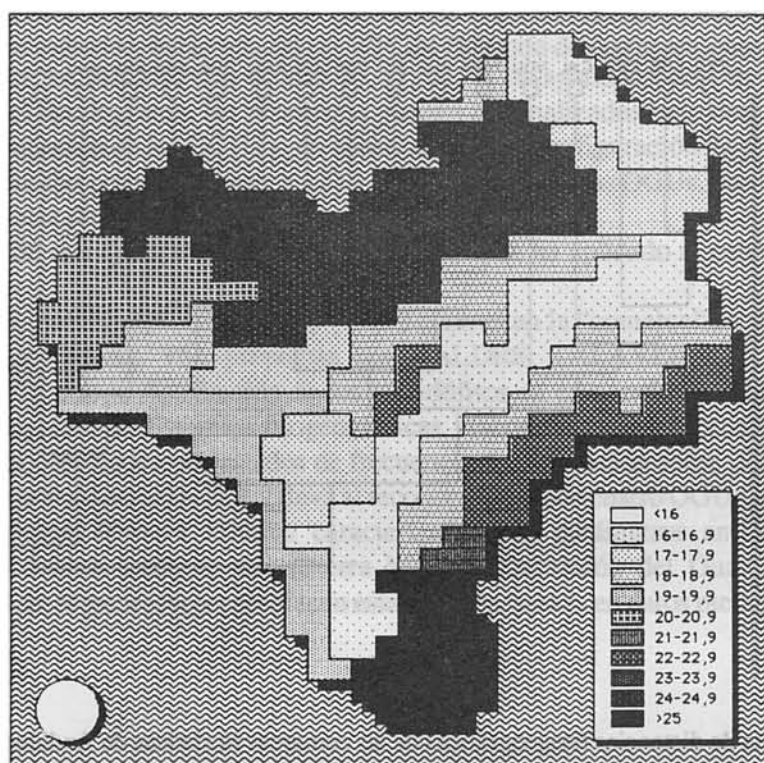


Fig. 19. Valores del Índice de Heterogeneidad de las pteridofloras de las comarcas de Andalucía Occidental.

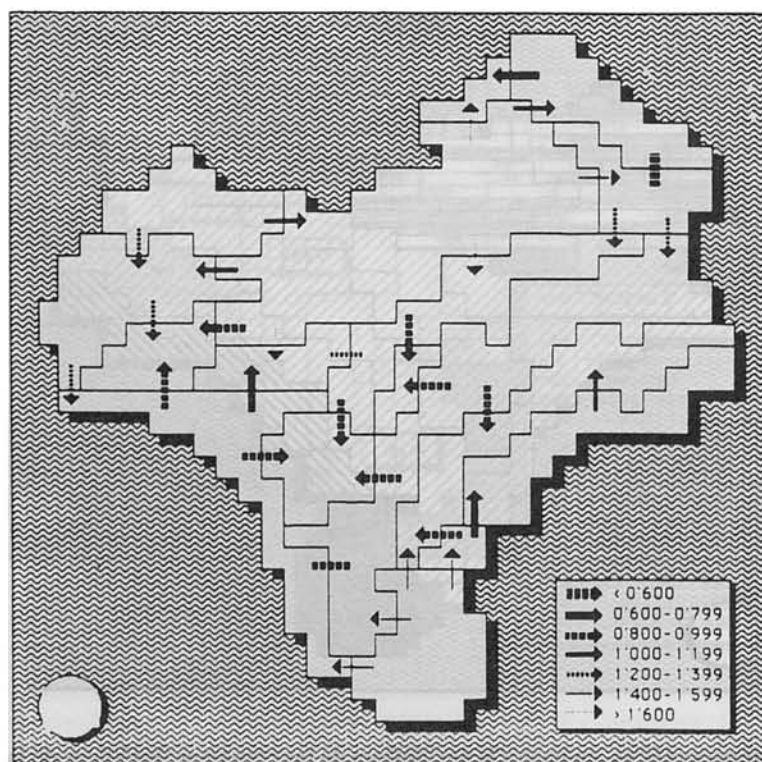


Fig. 20. Valores de las fronteras calculadas a partir de las distancias fitogeográficas entre las comarcas florísticas de Andalucía Occidental.

figuras 19 y 20 representamos los índices de heterogeneidad y las fronteras, respectivamente, por las OGU's estudiadas.

2.- Siempre ha sido de un gran interés el estudio de la biogeografía insular. Así, a partir de la distribución de los pteridófitos en las islas macaronésicas, nos planteamos observar el comportamiento excepcional de estas OGU's (islas). En el cuadro VII se recoge una tabla sintética en la que se expresa la jerarquización deducida a partir del dendograma (fig. 21) obtenido a partir de la MBD, en la que se utilizan datos binarios de ausencia/presencia. La figura 22 corresponde a la representación cartográfica de dichos fenómenos. En dicho mapa se recogen OGU's de similar rango para el Mediterráneo Occidental y NW de Africa. Dichas unidades sirvieron para llevar a cabo el siguiente nivel de estudio de insularidad, con el que se pretende establecer la relación de los archipiélagos con las unidades continentales. En el cuadro VIII se recoge el esquema sistemático de la propuesta elaborada a partir del dendograma (fig. 23) y que también ha sido

GRUPO	UNIDADES	OGU's (islas)
A. AZORES	I. EUAZORICA	2. San Miguel 3. Terceira 5. San Jorge 7. Faial 8. Flores
	II. PICO	6. Pico
	III. SANTA MARIA-GRACIOSA	1. Santa Maria 4. Graciosa
	IV. CORVO	9. Corvo
	B. ISLA MADEIRA	V. MADEIRA
C. CANARIO-MADEIRENSE	VI. CANARIO-MADEIRENSE ORIENTAL	11. Deserta 12. Porto Santo 13. Lanzarote 14. Fuerteventura
	VII. GRAN CANARIO-TINERFEÑA	15. Gran Canaria 16. Tenerife
	VIII. HIERRO	18. Hierro
	IX. GOMERA-PALMA	17. Gomera 19. Palma
	D. CABO VERDE	X. SAN ANTONIO-SAN NICOLAS
XI. EUCABOVERDENSE		21. San Vicente 22. Santa Lucia 24. Sal 25. Boavista 26. Maio 27. Santiago 29. Brava
XII. FOGO		28. Fogo

Cuadro VII. Jerarquización de unidades biogeográficas para las islas macaronésicas.

MACROCORIA	CORIA	Unidad
A. EUROSIBERIANA	I. Sistema Pirenaico (SP)	1. PIRENAICA
	II. Sistema Cantábrico (SC)	2. SISTEMA CANTABRICO
B. SUBMEDITERRANEA	III. Ibero Submediterráneo (IS)	4. IBERO SUBMEDITERRANEA
C. EUMEDITERRANEA	IV. Ibero Eumediterráneo (IE)	5. IBERO EUMEDITERRANEA
D. REFUGIOS PALEOMEDITERRANEOS	V. Cornisa Cantábrica (CC)	3. CORNISA CANTABRICA
	VI. Subatlántica (SA)	6. SIERRAS MAFRA SINTRA 7. SIERRAS ALGECIRAS 9. PENINSULA TINGITANA
E. MAGREBI	VII. Oeste Marroquí (OM)	8. OESTE MARROQUI
	VIII. Eumediterráneo Magrebí (MM)	11. EUMEDITERRANEO MAGREBI
F. AZORES	IX. Azores septentrional (AS)	13. CORVO 14. SANTA MARIA-GRACIOSA
	X. Azores meridional (AM)	15. PICO 16. EUAZORICA
G. MADEIRA	XI. Madeira (MA)	17. MADEIRA
H. CANARIO-MADEIRENSE	XII. Canario-Madeirense oriental (CM)	18. CANARIO-MADEIRENSE ORIENTAL 21. HIERRO
	XIII. Canario occidental (CO)	19. GRAN CANARIO-TINERFEÑA 20. GOMERA-PALMA
I. SAHARO-SINDICA	XIV. Numídica (NU)	10. NUMIDICA
	XV. Cabo Verdense (CV)	22. SAN ANTONIO-SAN NICOLAS 23. FOGO 24. EUCABOVERDENSE
	XVI. Sahara-Síndica occidental (SS)	12. MAURITANICA 25. SAHARO-SINDICA OCCIDENTAL

Cuadro VIII. Jerarquización de unidades biogeográficas para el Mediterráneo occidental, NW de Africa e islas macaronésicas.

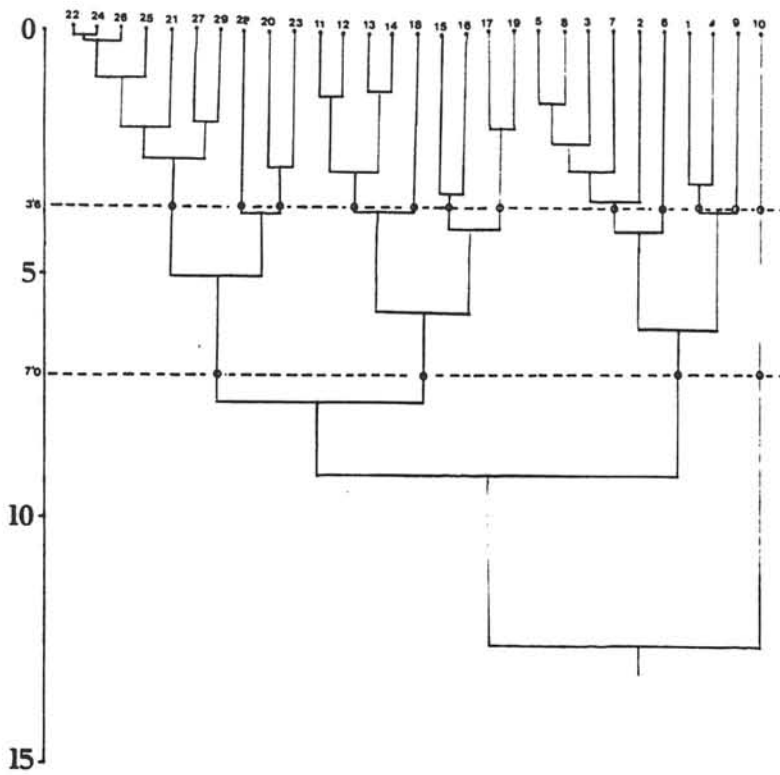


Fig. 21. Dendrograma de distancias fitogeográficas calculado en base a una MBD de especies de pteridófitos: islas macaronésicas (numeración según cuadro VIII). Las líneas de fenon situadas a valores de 3,6 y 7,0 son las responsables de las agrupaciones a sendos niveles recogidos en el cuadro VII.

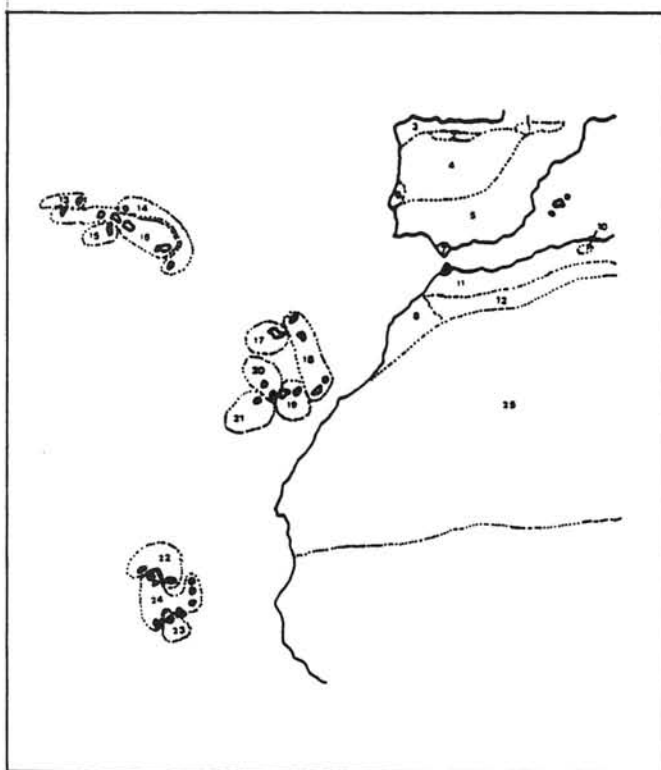


Fig. 22. Representación cartográfica en la que se recoge, además de las unidades pteridoflorísticas de la Península Ibérica (*sensu* PICHI-SERMOLLI, ESPAÑA & SALVO, 1988) y las del NW de Africa, aquellas otras del archipiélago macaronésico deducidas del dendrograma de la fig. 21.

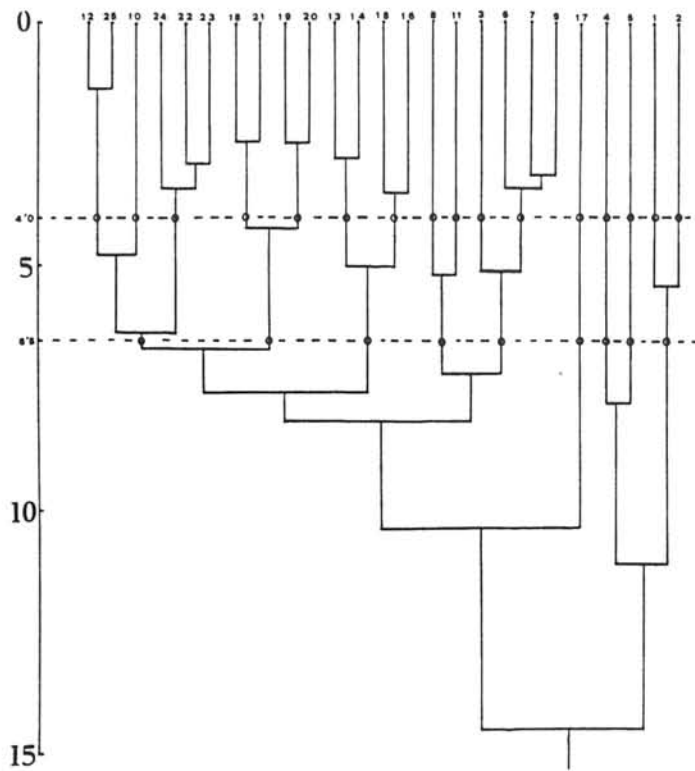


Fig. 23. Dendrograma de distancias fitogeográficas calculado en base a una MBD de especies de pteridófitos: unidades pteridogeográficas del Mediterráneo Occidental, NW de Africa e islas macaronésicas (numeración según cuadro VIII).

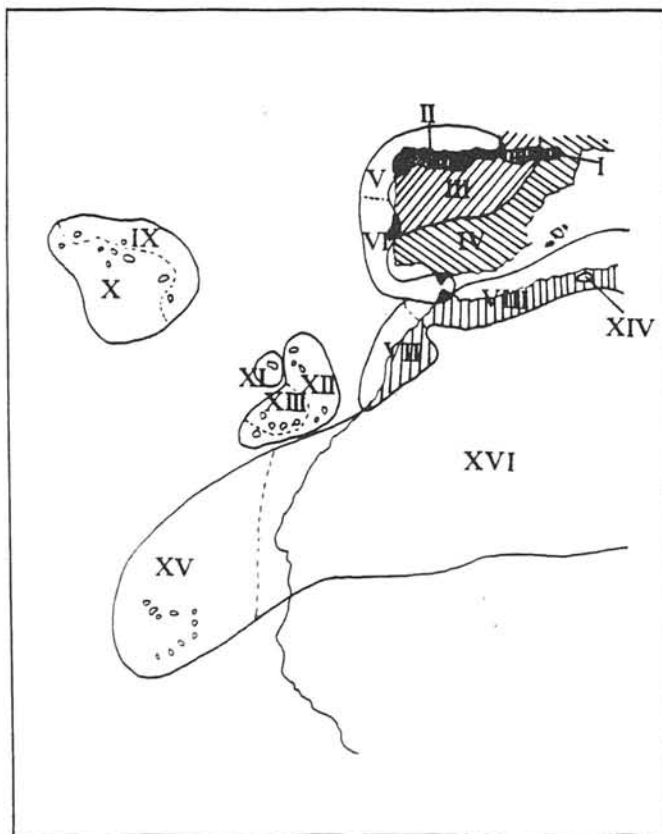


Fig. 24. Sectorización pteridogeográfica del Mediterráneo Occidental, NW de Africa e islas macaronésicas, en virtud de la aplicación de las líneas de fenon a 4,0 en el dendrograma de la fig. 23.

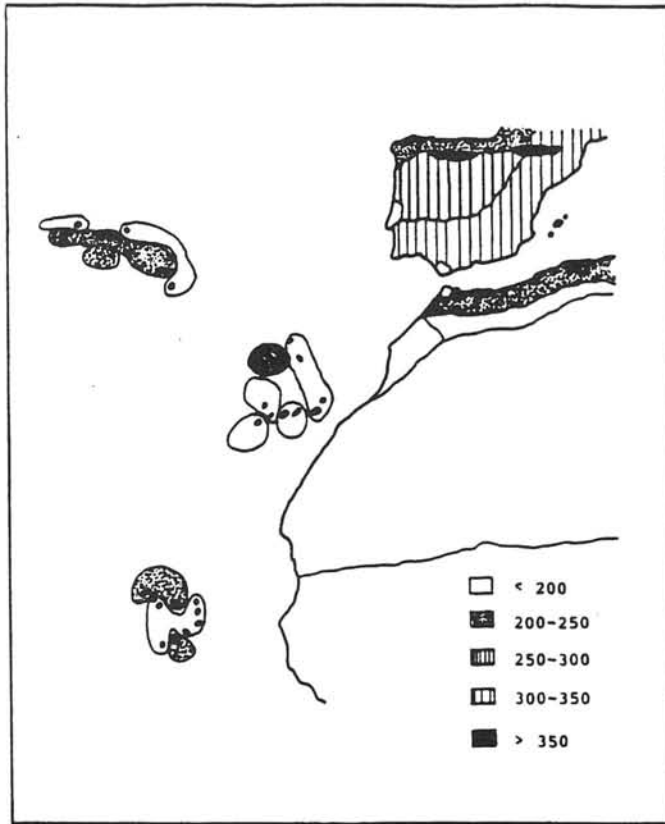


Fig. 25. Distribución de los valores de heterogeneidad para las unidades pteridogeográficas del Mediterráneo Occidental, NW de Africa e islas macaronésicas.

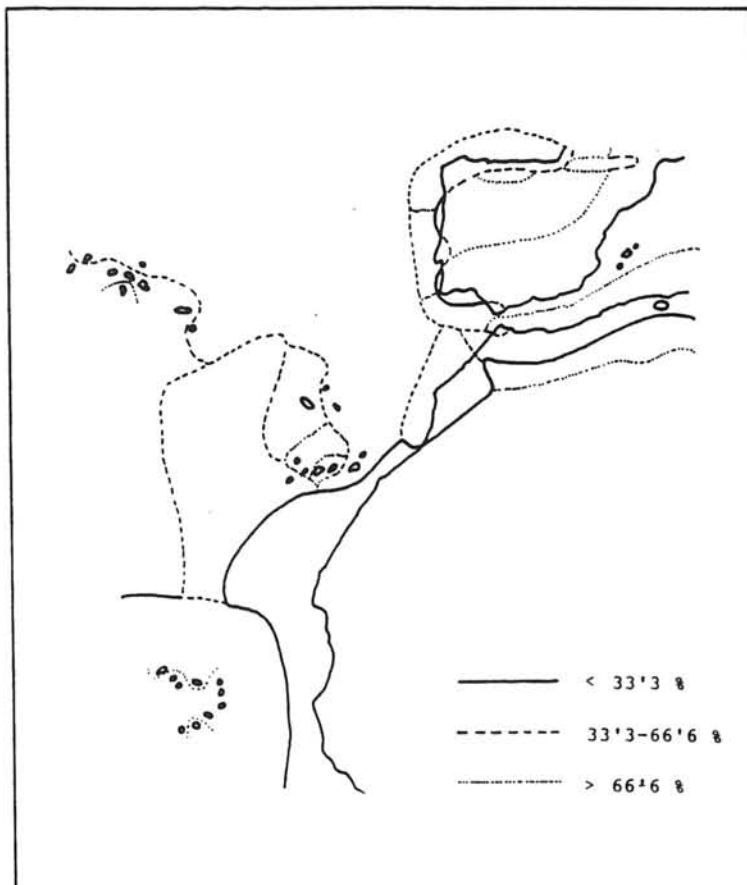


Fig. 26.- Fronteras establecidas a partir de las distancias biogeográficas entre pares de OGUs vecinas.

expresado cartográficamente en la figura 24. Las figuras 25 y 26 corresponden, respectivamente, a la distribución de los valores de heterogeneidad y a los de fronteras.

3) Análisis aplicados a la determinación de modelos distributivos locales.

El análisis de modelos distributivos locales está muy relacionado con el análisis de regiones florísticas. De hecho, se parte de la misma MBD, pero considerando como unidades a agrupar los distintos táxones, en lugar de las OGUs. Así pues, pueden aplicarse los mismos métodos de análisis (Índices de Sorensen, Jaccard, Sokal & Sneath, etc.), que darán como resultado una agrupación de táxones (representable mediante dendograma, diagrama de Bray & Curtis, etc.) que reflejará la similitud de los modelos de distribución de dichos táxones.

Esto está basado en los patrones de distribución que vienen a ser similares o idénticos en algunas especies y que nos permite asociarlas en GRUPOS ELEMENTALES (DZWONKO & KORNAS, 1978), siendo, a su vez, reunidos en GRUPOS SECUNDARIOS más extensos y cuyos miembros poseen una marcada tendencia hacia un tipo de distribución bien definido (se pone de manifiesto lo parecido que resultan estos agrupamientos que efectúan DZWONKO & KORNAS con los tracks generalizados). Con estos grupos se elabora un dendograma donde se ponen de manifiesto las afinidades entre los distintos grupos por la posición que ocupan en el mismo; pues todos los elementos son reunidos de acuerdo con el principio de similaridad. Por ello, las parejas de grupos elementales que contienen grupos distributivos más parecidos, se situarán uno junto a otro.

Así pues, este análisis puede resultar de gran interés para el estudio de tracks generalizados, así como los patrones de expansión de determinados táxones, a un nivel más local.

BASES DE DATOS EN BIOGEOGRAFIA.

Resulta evidente que la obtención de resultados completos, tanto para la caracterización como para la ordenación y jerarquización de OGUs, requiere de un tratamiento estadístico relativamente complejo, que con la utilización de microordenadores y el software apropiados, pueden convertirse en una operación sencilla. En especial las actuales bases de datos, que además proporcionan la posibilidad de integrar operaciones estadísticas, constituyen una herramienta básica hoy para el fitogeógrafo. Dichas bases de datos permiten, una vez organizada, poder buscar una ficha determinada, buscar un grupo de fichas que tengan algo en común, clasificar las fichas por cualquier criterio (orden alfabético, numérico, etc.) y crear e imprimir informes que listen todos o algunos de los datos que ha almacenado. Finalmente, la base de datos puede ser revisada con regularidad lo que permite que la información esté actualizada de manera permanente.

Prueba evidente del gran interés que suscita el uso de la informática y las bases de datos en trabajos botánicos, es la abundancia de programas y proyectos que se han llevado y aún se llevan a cabo en la última década. Desde el trabajo, ya clásico, de SOKAL y SNEATH (1966), hasta los más recientes de CROVELLO (1981); PANKHURST (1983); BAUDOIN, BISCHLER, JOVET-AST y HEBRARD (1984) o PANKHURST (1986, 1988a y 1988b). o aquel más específicamente pteridológico de DERRICK, JERMY & PAUL (1987).

El diseño de una base de datos, con una utilidad en fitogeografía, debe ajustarse a las características que definen FEOLI & GANIS (1984): 1) Los fitogeógrafos deben poder almacenar y recuperar fácilmente muchos datos según lo requiera su trabajo. 2) Los métodos de análisis de datos podrán manejar muchos OGUs al mismo tiempo. 3) Los programas (software) no deben ser entes indescifrables, sino que deben constituir herramientas de los principios biológicos compendidos y respaldados por los científicos. 4) Los métodos deben estar dirigidos al análisis de correlación o asociación entre los distintos datos.

Otras características que deben poseer las bases de datos aplicadas a la fitogeografía son: 1) **Abierta**, es decir permitir la adición de fichas nuevas y la modificación de las ya existentes o la creación de nuevos campos y subficheros, quedando así permanentemente actualizada. 2) **Multirrelacional**, es decir, el programa estructura la lectura del archivo y estructura las informaciones concernientes a caracteres y entidades en una matriz de datos; tal matriz queda lista para que pueda permitirse el cálculo aritmético y estadístico de diferentes variables útiles. 3) **Gráfica**, pues es conveniente que la base de datos permita la representación parcial o total de los resultados obtenidos de dichas operaciones; los gráficos pueden mostrar tendencias y relaciones que podrían no resultar evidentes al analizar los números. Dicho grafismo es igualmente necesario como desarrollo de nuevos campos en la ficha maestra. La ayuda de un digitalizador permite integrar iconografías, mapas o detalles de cada uno de los táxones en las fichas.

Un ejemplo de base de datos aplicada al estudio biogeográfico de pteridófitos es el **Proyecto Axis**.

Proyecto Axis.

AXIS es una base de datos informatizada de los pteridófitos de la cuenca mediterránea occidental e Islas Macaronésicas, que pretende ser un instrumento de documentación básica y actualizada, tanto para los estudios biogeográficos como para los taxonómicos.

AXIS es un proyecto conjunto de diferentes grupos de investigación en pteridología, cuyo desarrollo se ha establecido en varias fases. En la actualidad nos encontramos en aquella primera durante la cual se lleva a cabo el diseño de la base de datos. Durante la misma se desean cubrir los siguientes objetivos:

- 1.- Elección del área que abarcará el estudio.
- 2.- Características del hardware y software que se usará.
- 3.- Diseño de la estructura de la Ficha Maestra y descripción de los campos.
- 4.- Fuentes iniciales de información.
- 5.- Gestión y uso (Red del usuario).

1.- **ELECCION DEL AREA.**- Como ya se ha dicho, el área objeto de estudio en **AXIS** comprende la cuenca mediterránea occidental e islas Macaronésicas, en concreto la Península Ibérica, Marruecos, archipiélago Balear, Azores, Madeira, Salvajes, Canarias e Islas de Cabo Verde (Figura 27). La elección viene determinada por las particulares características de esta región, así como por: a) Existencia de abundante documentación de la gran mayoría de los táxones. b) Diversidad en cuanto al origen de los táxones. c) Presencia de táxones endémicos, relictos y de areales reducidos. d) Relativa fidelidad de los táxones por habitats muy concretos.

2.- **CARACTERISTICAS DEL HARDWARE Y SOFTWARE.**- Se partió de una serie de premisas que trataban de reunir los criterios que se seguirían a la hora de adquirir el material. Tanto el programa (hardware) como el ordenador (software) debían ser de manejo sencillo para facilitar, en la medida de lo posible, su utilización por el usuario. Además, debía ser un sistema de máxima difusión, pues de nada servía elaborar una base de datos en un sistema con una baja difusión en el mercado.

Por otro lado, el programa debía ser lo suficientemente amplio para adaptarlo a nuestras necesidades y permitirnos la elaboración de la Ficha Maestra con los diferentes campos, así como un menú que favorezca la comprensión y utilización de la base de datos por el usuario. Era interesante que este programa tuviera las órdenes necesarias para poder conectar con otros programas que nos completarían aún más nuestra base de datos, por ejemplo con programas de diseño de gráficos, de análisis estadístico, etc.



Fig. 27. Area que comprende el estudio del proyecto AXIS.

3.- ESTRUCTURA DE LA FICHA MAESTRA Y DESCRIPCION DE LOS CAMPOS.-
Cada Ficha Maestra (Fig. 28) está subdividida en seis fichas y estas, a su vez, en varios campos, que a continuación se detallan:

1.- TAXONOMIA

<u>campo</u>	<u>concepto</u>	<u>definición y referencias básicas</u>
1	Nº Referencia	(14)
2	Nombre Taxon	(1) (4)
3	Abreviatura	Se introduce un código abreviado de 3 letras para el género y otras 3 letras para el epíteto de menor rango en que se puede identificar el taxon.
4	Familia	(4)
5	Nº Géneros/Familia	(14)
6	Nº Especies/ Género	(2) (19)
7	Basiónimo	(1) (4)
8	Otros sinónimos	(1) (4) (9)
9	Descripción	Se atenderán a los protólogos originales

10	Pliego Testigo	y, en su caso, a revisiones recientes. Se basa en pliegos de herbarios, en especial al de Málaga (MGC) y a los de centros donde se ubiquen grupos de trabajo en pteridología.
11	Iconografía	(1) (4) (5)
12	Bibliografía	Se usará un código de tres letras y tres números que definen la publicación de referencia (SALVO, ASENSI & RIVAS-MARTINEZ, 1981 y SALVO, ESPAÑA & CABEZUDO, 1986) y ubicada en un fichero especial donde constarán todos los datos bibliográficos.

2.- ESPOROLOGIA

<u>campo</u>	<u>concepto</u>	<u>definición y referencias básicas</u>
13	Morfología esporal	(6)
14	Tamaño esporal	(6)
15	Tipo laesura	(6)
16	Escultura del perisporio	(6)

3.- CITOTAXONOMIA

<u>campo</u>	<u>concepto</u>	<u>definición y referencias básicas</u>
17	Nº Cromosómico Básico	(12) (16)
18	Nº Cromosomas	(12) (16)
19	Grado Ploidía	(12) (16)
20	Origen del Taxon	(12) (16)

4.- ECOLOGIA

<u>campo</u>	<u>concepto</u>	<u>definición y referencias básicas</u>
21	Biotipo	(1) (4) (5) (17)
22	Tamaño planta	(1) (4) (5) (17)
23	Caracter edáfico	(1) (4) (5) (17)
24	Ecosistema preferencial	(5) (10)
25	Cota altitudinal	(1) (4) (17)
26	Durabilidad	(1) (4) (17)
27	Fenología	(1) (4) (17)

5.- COROLOGIA

<u>campo</u>	<u>concepto</u>	<u>definición y referencias básicas</u>
28	Distribución Mundial	(11) (13) (15)
29	Distribución Axis	(11) (13) (15)

6.- CONSERVACION

<u>campo</u>	<u>concepto</u>	<u>definición y referencias básicas</u>
30	Interés Conservacionista	(8)
31	Categoría conservacionista	(8) (18)

4.-FUENTES INICIALES DE INFORMACION

- (1) - CASTROVIEJO, S. et al editores (1986). *Flora Ibérica*. Vol I C.S.I.C. Madrid.
 (2) - COPELAND, E.B. (1947). *Genera Filicum. The genera of ferns*. Waltham (Chronica Botanica. Annales Cryptogamici et Phytopathologici nº 5).
 (3) - COSTE, H. (1937). *Flore descriptive et illustrée de la France*. Vol I. Librarie des sciences

NOMBRE DEL TAXON (2)	Abreviatura (3)	Nº de referencia (1)	
Basónimo (7)	Familia (4)		
Otros sinónimos (8)	Nº géneros (F)	(5)	
	Nº especies (G)	(6)	
Descripción (9)			
Pliego Testigo (10)			
Iconografía (11)			
Bibliografía (12)			
Morfología esporal (13)			
Tamaño esporal (14)		Tipo laesura (15)	
Escultura del perisporio (16)			
Nº crom bas (17)	Nº crom (18)		
Grado ploidía (19)	Origen del taxon (20)		
Biótipo (21)		Cot altitudinal (25)	
Tamaño de la planta (22)		Durabilidad (26)	
Carácter edáfico (23)		Fenología (27)	
Ecosistema preferencial (24)			
Distr Mund (28)			
Distr Axis (29)			
Interés conservacionista (30)			
Categoría conservacionista (31)			

Fig. 28. Ficha maestra.

et des arts. Paris.

- (4) - DERRICK, L.N.; JERMY, A.C. & PAUL, A.M. (1987). Checklist of European Pteridophytes. *Sommerfeltia*, 6: 1-94.
- (5) - FERNANDES, A. & FERNANDES, R.B. (1980-83). *Iconographia selecta florum Azoricae*. Soc. Brot. 1-2. Conimbriga.
- (6) - FERRARINI, E.; CIAMPOLINI, F.; PICHI-SERMOLLI, R. E. G. & MARCHETTI, D. (1986). *Iconographia palynologica Pteridophytorum Italiae*. *Webbia*, 40(1): 1-202.
- (7) - FOURNIER, P. (1977). *Les quatre flores de France*. 2 vol. Lechevalier. Paris.
- (8) - LUCAS, G. & SYNGE, H. (1978). *The IUCN plant red data book*. I.U.C.N.
- (9) - GREUTER, W.; BURDET, H. M. & LONG, G. editores (1981). *Med-checklist*. OPTIMA: 1-22.
- (10) - GUINOCHET, M. & VILMORIN, R. (1973-1984). *Flore de France* Vol I. I.C.N.R.S. Paris.
- (11) - JALAS, J. & SUOMINEN, J. (1972). *Atlas Florae Europaeae*. 1. Pteridophyta. 1-121. Helsinki.
- (12) - LOVE, A., LOVE, D. & PICHI-SERMOLLI, R.E.G. (1977). *Cytotaxonomical atlas of the pteridophyta*. J. Cramer. 1-398. Vaduz.
- (13) - PICHI-SERMOLLI, R.E.G. (1970). Appunti sulla costituzione e genesi della flora pteridologica delle Appi Apuane. *Lavori della Società Italiana de Biogeografia*, 1:88-126.
- (14) - PICHI-SERMOLLI, R.E.G. (1977). Tentamen pteridophytorum genera in taxonomicum ordinem redigendi. *Webbia*, 31(2):313-512.
- (15) - PICHI-SERMOLLI, R.E.G. (1979). A survey of the pteridological flora of the Mediterranean Region. *Webbia*, 34(2):175-242.
- (16) - PICHI-SERMOLLI, R.E.G. (1987). A look at the chromosome numbers in the families of Pteridophyta. *Webbia*, 41(2):305-314.
- (17) - PIGNATI, S. (1982). *Flora d'Italia*. Vol I. Edagricole. Bologna.
- (18) - SALVO, A.E. (1982) *Flora pteridofítica de Andalucía*. Universidad de Málaga.
- (19) - TRYON, R.M. & TRYON, A.F. (1982). *Ferns and allied plants with special reference to tropical America*. Springer-Verlag. New York.

Naturalmente, la información de los distintos táxones se verá completada con trabajos monográficos relacionados con alguno de los campos, que hayan aparecido y aparezcan en el futuro.

5.- GESTION Y USO (RED DEL USUARIO).- La función básica sería la de proporcionar un "camino" mediante el cual el usuario, desde su ámbito de trabajo, pueda acceder a la base de datos. Para ello, el soporte físico necesario para hacer posible la transmisión entre origen y destino deben ser similares. Esta conexión se ve facilitada por el uso de **modems** (unidades moduladoras-demoduladoras) que convierten las señales digitales, propias de los ordenadores, en analógicas para que, de esta manera, mediante las redes telefónicas se pueden establecer las comunicaciones entre los usuarios que estén localizados en áreas geográficas distintas.

Nos hemos inspirado en BISBY (1984) para determinar qué uso se va a destinar a esa información y quién puede hacer uso de ella. Entre los servicios que se podrían establecer están:

- Publicaciones periódicas en las que se haría constar las informaciones y estudios más recientes, lo que incluiría un número cero en el que se editarían las normas del usuario.
- Servicios de encuesta en los que el usuario podría realizar consultas telefónicas o por escrito de datos que solicita.

Naturalmente, estaría la posibilidad de usar esa información desde los propios centros de trabajo, gracias a los terminales de la red informática, lo que agilizaría sobre manera el flujo de información entre los distintos grupos de investigación.

También habría que señalar el problema de la ética profesional: ¿Qué uso se iba a destinar a esa información solicitada? ¿Quién podría hacerlo? ¿Qué requisitos o a qué compromisos se sometería al usuario?

Es necesario instaurar la figura del MASTER que será el único capaz de crear y modificar ficheros ya existentes. Tendrá acceso a la totalidad de la información; es el único que conocerá la clave de todos los demás usuarios; es el que define los campos utilizables y tiene capacidad de imprimir listados.

En cuanto a la red del usuario, cada autor tendrá su clave de entrada y tendrá disposición a la información que él introduzca y acceso a aquellos campos definidos por el Master.

La importancia de estos últimos puntos hacen necesario un debate amplio sobre los mismos, abriéndonos a cuantas sugerencias nazcan desde ahora.

REFERENCIAS.

- BAUDOIN, R., BISCHLER, H., JOVET-AST, S. & HEBRARD, J.P. (1984). Une banque de données phytoécologiques des Hépatiques de la région méditerranéenne (BRYOMED). *Webbia*, 38:358-396.
- BIRKS, H.J.D. (1976). The distribution of European pteridophytes: a numerical analysis. *New Phytol.*, 77(1): 257-287.
- BISBY, F.A. (1984). The viciae database project: products and services. *Webbia*, 38:639-644.
- CASTILLO, A. & SALVO, A.E. (1989). Análisis pteridogeográfico de los pteridófitos de la provincia de Almería. *Acta Bot. Malacitana* (En Prensa).
- CHRIST (1910). *Die Geographie der Farne*. Jena.
- CROVELLO, T.J. (1981). Quantitative biogeography: an overview. *Taxon*, 30: 563-575.
- DE LA SOTA (1973). La distribución geográfica de las pteridófitas en el Cono Sur de América Meridional. *Bol. Soc. Arg. Bot.*, 15(1): 23-24.
- DERRICK, L.N., JERMY, A.C. & PAUL, A.M. (1987). Checklist of European Pteridophytes. *Sommerfeltia*, 6: I-XX, 1-94.
- DIEZ, B. & SALVO, A.E. (1981). Ensayo biogeográfico de los pteridófitos de la sierras de Algeciras. *Anales Jard. Bot. Madrid*, 37: 455-462.
- D'URVILLE, J. (1825). De la distribution des fougères sur la surface du globe terrestre. *Ann. Sci. Nat.*, 6: 51-73.
- DZWONKO, K. (1977). The use of numerical classification in phytosociology. *Fragm. Flor.Geobot.*, 23(3-4): 327-343.
- DZWONKO, Z. & KORNAS, J. (1978). A numerical analysis of the distribution of pteridophytes in Zambia. *Prace Botaniczne*, 6: 39-49.
- ESCAMEZ, A.M. & SALVO, A.E. (1988). Análisis fitogeográfico y ecológico de la Pteridoflora del Macizo del Gurugú. *Anales Jard. Bot. Madrid* (En Prensa).
- ITO, H. (1972). Distribution of monolete and trilete ferns in eastern Asia and Northern Oceania. *Journ. Jap. Bot.*, 37: 455-462.
- ITO, H. (1978). Distribution of two spore patterns in the ferns floras of the world (A preliminary survey). *Journ. Jap. Bot.*, 47: 321-326.
- JARDINE, N. (1972). Computational methods in the study of plant distribution. In: *Taxonomy, phytogeography and evolution* (ed. D.H. VALENTINE). Academic Press. pp 381-393. London.
- JERMY, A.C. (1984). Origin and distribution of Pteridophytes in the Mediterranean area. *Webbia*, 38: 397-416.
- MICHENER, C.D. & SOKAL, R.R. (1957). A quantitative approach to a problem in classification. *Evol.*, 11:130-160.
- NIETO, J.M., CABEZUDO, B. & SALVO, A.E. (1987). Análisis pteridogeográfico de las Sierras Tejeda y Almijara (Málaga-Granada, España). *Acta Bot. Malacitana*, 12: 103-110.
- PANKHURST, R.J. (1983). The construction of a floristic database. *Taxon*, 32(2):193-202.
- PANKHURST, R.J. (1986). A package of computer programs for handling taxonomic databases. In *Computer applications in the Bioscience*, 2(1):33-39.
- PANKHURST, R.J. (1988a). Data base design for monographs and floras. *Taxon*, 37(3):733-746.

- PANKHURST, R.J. (1988b). An interactive program for the construction of identification keys. *Taxon*, 37(3):747-755.
- PICHI-SERMOLLI, R.E.G. (1977). Tentamen pteridophytorum genera in taxonomicum ordinem redigendi. *Webbia*, 31: 313-512.
- PICHI-SERMOLLI, R.E.G. (1979). A survey of pteridological flora of the Mediterranean Region. *Webbia*, 34(1): 175-242.
- PICHI-SERMOLLI, R.E.G., ESPAÑA, L. & SALVO, A.E. (1988). El valor biogeográfico de la pteridoflora ibérica. *Lazaroa*, 10:187-205.
- ROSSELLO, J.A. & SALVO, A.E. (1988). Análisis biogeográfico de la pteridoflora balear. (En Prensa).
- SALVO, A.E. (1982). *Flora Pteridofítica de Andalucía*. Dept. Bot. Univ. Málaga.
- SALVO, A.E., ASENSI, A. & RIVAS-MARTINEZ, S. (1981). Bibliografía pteridológica de España y Portugal (continente e islas) 1802-1980. *Trab. y Monograf. Dep. Bot. Málaga*, 2:59-104.
- SALVO, A.E. & CABEZUDO, B. (1984). Bases para la utilización de los pteridófitos en el establecimiento de unidades corológicas, I. Andalucía. *Anales de Biología (Murcia)*, I: 309-316.
- SALVO, A.E., ESPAÑA, L. & CABEZUDO, B. (1986). Nota pteridológica 8: Bibliografía pteridológica Ibérica (1980-1985). *Acta Bot. Malacitana*, 11:309-320.
- SALVO, A.E., NIETO, J.M. & CABEZUDO, B. (1989). El valor de los pteridófitos en la caracterización de los pisos bioclimáticos. (En Prensa).
- SALVO, A.E. & cols. (ined) Aplicación de análisis numérico de semejanza a la pteridoflora del Mediterráneo Occidental y archipiélago macaronésico (En Prensa).
- SOKAL, R.R. & SNEATH, P.H.A. (1963). *Principles of numerical taxonomy*. W.H. Freeman, San Francisco.
- SOKAL, R. & SNEATH, P. (1966). Efficiency in taxonomy. *Taxon*. 15(1):1-21.
- SORESEN, T. (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Biol. Skr.*, 5 (4): 1-34.
- TRYON, R. (1986). The biogeography of Species, with Special Reference to Ferns. *The Botanical Review*, 52(2): 117-156.
- VALDES, B., TALAVERA, S. & FERNANDEZ-GALIANO, E. [Eds.] (1987). *Flora de Andalucía Occidental*. Ed. Ketres. Barcelona.
- VARO, J. & SALVO, A.E. (1982). Ensayo biogeográfico sobre los pteridófitos de Sierra Nevada (Granada, España). *Acta Bot. Malacitana*, 7: 203-210.