

# APLICACION DE TECNICAS ESTADISTICAS MULTIVARIANTES A LAS POBLACIONES DEL *LACERTIDO* *PODARCIS PITYUSENSIS* (BOSCA, 1883)

A. M. CIRER \*

RESUMEN: Se presentan los resultados obtenidos con el estudio estadístico de 45 poblaciones de *Podarcis pityusensis*. En el cual se han aplicado diversas técnicas multivariantes: análisis discriminante, taxonomía numérica y análisis canónico de poblaciones. El conjunto de poblaciones estudiado se presenta con variación gradual en todas las variables consideradas, a la vez que con una alta variabilidad intrapoblacional, con lo que no se han hallado métodos estadísticos válidos para discriminarlas.

En los distintos análisis se aprecia la formación de pequeños grupos de poblaciones muy relacionadas entre sí, que presentan rangos de variabilidad comunes, y sugieren deben constituirse en una misma subespecie, desde el punto de vista taxonómico actual. Estos grupos se sitúan en islas que presentan una edad de separación semejante, y sugieren que es preciso acompañar este estudio con otras consideraciones biológicas que aquí no se presentan.

SUMMARY: In this paper are presented the results obtained with 45 populations of *Podarcis pityusensis*. Several multivariate techniques are performed: discriminant analysis, cluster analysis and canonic analysis of populations. These populations present gradual change in all their biometric characteristics, and also a great intrapopulation variability, that invalidate the statistical methods to discriminate between all them.

In different analysis very related population groups are found, that suggests they can constitute the same subspecies, in the actual taxonomic sense. These groups always inhabit islands with the same geological age, it is therefore necessary to complet the study with other biological reflections, all of which are getting ready.

Palabras clave (Key words): Análisis multivariante, *Podarcis*, Baleares, Sistemática, Subespecies.

\* C/ Córcega, 111-117, D, 60.1a. 08029 BARCELONA

## INTRODUCCION

Las islas Pitiusas, situadas al sur del Archipiélago Balear, constituyen un conjunto de pequeñas islas e islotes con un mar poco profundo que las separa entre sí. Por ello durante el Cuaternario las sucesivas oscilaciones del nivel del mar, facilitaron que alternativamente se reunieran en una única isla emergida durante las glaciaciones, para volver a separarse en distintos islotes durante los interglaciares. El último interglaciar ha conformado un archipiélago con pequeñas islas que presentan una gradación en sus edades de aislamiento, las cuales pueden estimarse al correlacionar los datos de la batimetría actual, con las oscilaciones del nivel del mar en el Mediterráneo (LUMLEY, 1976). Si bien en algunas zonas la sedimentación fluvio-marina puede ocultar la edad real de separación, como en el caso de la zona norte de Formentera o de las islas situadas en la bahía de Scs Figueretes (Rates y Malvins).

Las especies terrestres se configuraron así en distintas poblaciones reproductivamente separadas, que podían experimentar cambios evolutivos independientes. Esta situación ha favorecido que diversas especies iniciaran una radiación evolutiva con pequeñas modificaciones de sus características biológicas, tanto más acusadas cuanto mayor es el tiempo de separación reproductiva, o separación de la isla que habitan. Como por ejemplo los tenebriónidos *Alphasida ibicensis*, *Asida ludovici* y *Asida mater* (ESPAÑOL, 1954, 1984); o los gasterópodos *Trochoidea ebusitana* y *T. caroli* (SCHRÖDER, 1978, 1984) y *Pachychila acuminata* (COLOM, 1978).

La fauna vertebrada también presenta un interesante ejemplo de radiación evolutiva, el lacértido *Podarcis pityusensis*. Esta lagartija se distribuye en todas las islas mayores del archipiélago y en la mayoría de pequeños islotes, en un total de 40 islas. Además de una población introducida en Palma de Mallorca, presumiblemente procedente de la población de Eivissa. El hecho de presentar esta distribución y que en cada isla las poblaciones presenten ligeras diferencias frente a sus vecinas, ha propiciado que se describiera un gran número de subespecies de este lacértido, computándose 43 trinomios hasta el momento. Algunas de ellas no se distribuyen en islas propiamente dichas, sino en prolongaciones (Puntas) de las islas mayores de Eivissa y Formentera (figura 1).

Una situación tal entra en contradicción con el concepto actual de subespecie (BARROWCLOUGH, 1982; MONDE, 1982; O'NEILL, 1982; etc.), ya que en la mayoría de los casos no existen criterios claros para diferenciarlas entre sí (si exceptuamos el conocer el lugar de recolección), o bien varias subespecies se configuran en una serie que varía clinalmente sus características. Diversos autores han realizado ya estudios taxonómicos que apuntan hacia la reducción del número de buenas subespecies, RODRIGUEZ-RUIZ (1975) y LILGE (1975) las realizaron parcialmente, con un reducido número de poblaciones; y posteriormente SALVADOR (1984) presenta una revisión taxonómica de todas las subespecies. Esta última con técnicas estadísticas univariantes, que proporcionan un poder de decisión relativamente bajo frente al que se obtiene con los métodos multivariantes presentados en este estudio. Pero el análisis estadístico no es suficiente para conocer la taxonomía de una especie y debe acompañarse de estudios ecológicos y genéticos entre otros (STORER, 1982); por lo tanto éste es el primer estudio encaminado a revisar la taxonomía de

la especie, pero se hallan en preparación otros artículos que conducen a una revisión de todas las subespecies de *Podarcis pityusensis* (Véase CIRER, 1987).

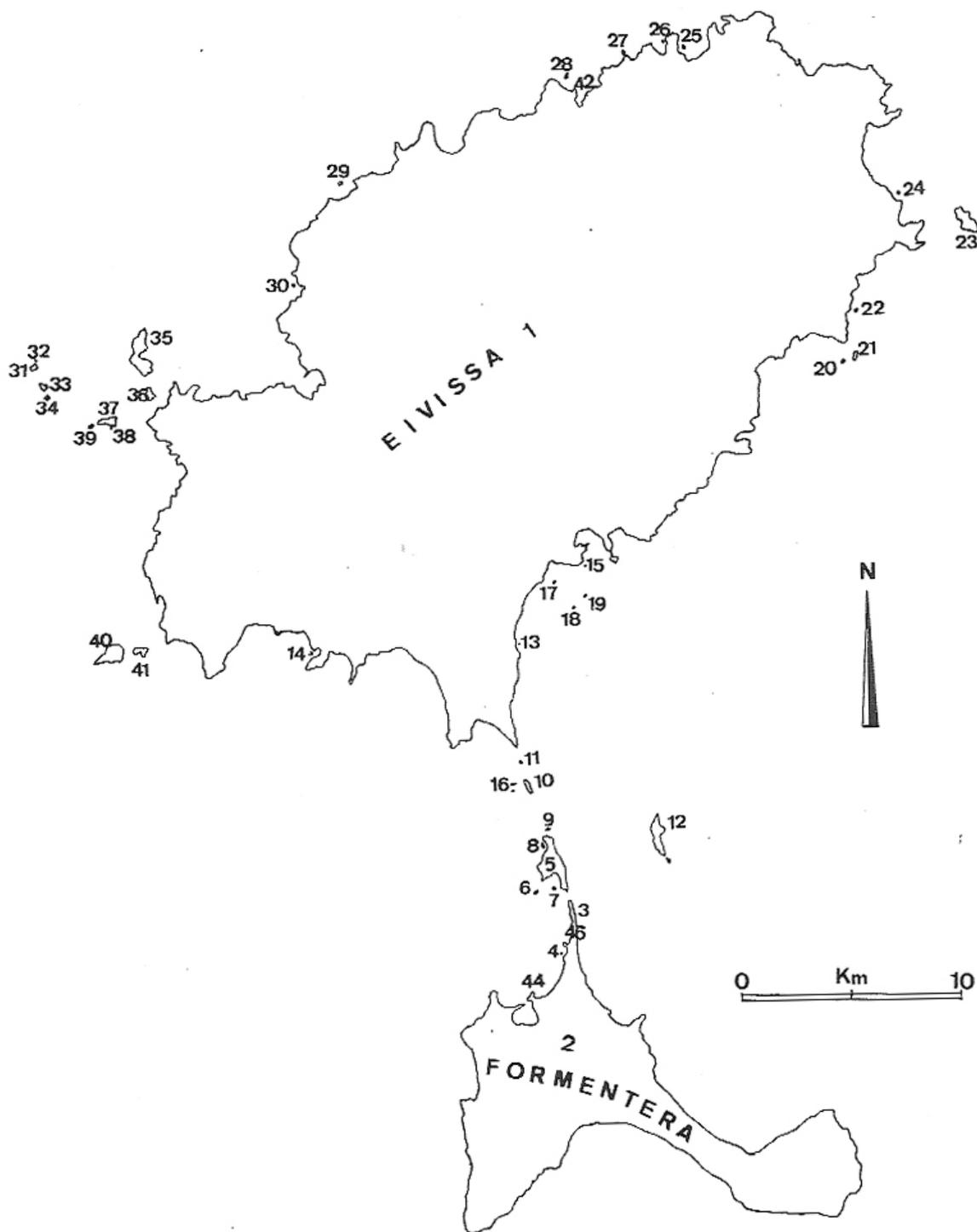


FIGURA 1. Distribución de *Podarcis pityusensis*. Se indica cada población con el número utilizado en los análisis estadísticos realizados.

Número	Población	Muestra utilizada Machos Hembras		Edad de separación respecto a:		AÑOS
				isla más cercana	resto archipiélago	
				AÑOS	ISLA	AÑOS
1	Eivissa	39	51			
2	Formentera	49	41	< 5.000	Espalmador, Alga, Pou.	500
3	Trucadors	12	13		Punta de Formentera	6.500
4	Rodona Illetes	3	8	< 5.000	Formentera	6.500
5	Espalmador	15	32	< 5.000	Formentera	6.500
6	Gastabí	16	66	6.500	Espalmador	6.500
7	Alga	7	3	< 5.000	Espalmador	6.500
8	Torretes	20	17	< 5.000	Espalmador	6.500
9	Pou o Porcs	33	22	< 5.000	Espalmador	6.500
10	Penjats	30	22	6.000	Negra Nord, Caragoler	6.500
11	Caragoler	12	5	6.000	Penjats, Negra Nord	6.500
12	Espardell	23	32	8.000	Espalmador, Alga, Pou	8.500
13	Sal Rosa		4	< 5.000	Eivissa	< 5.000
14	Purroig	26	1	< 5.000	Eivissa	< 5.000
15	Negra Llevant	3	3	6.000	Eivissa	6.000
16	Negra Nord	13	17	6.000	Penjats, Caragoler	6.500
17	Rates	13	13	< 5.000	Eivissa	< 5.000
18	Malví Nord	12	13	7.000	Malví Sud	8.000
19	Malví Sud	11	11	7.000	Malví Nord	8.000
20	Rodona Sta. Eulalia	14	14	7.000	Grossa Sta. Eulalia	7.500
21	Grossa Sta. Eulalia	23	23	7.000	Rodona Sta. Eulalia	7.000
22	Es Canar	22	10	7.000	Eivissa	7.000
23	Tagomago	23	35	9.000	Eivissa	9.000
24	Hort	14	16	6.000	Eivissa	6.000
25	Sa Mesquida	10	6	6.000	Eivissa	6.000
26	Canaret	6	5	< 5.000	Eivissa	< 5.000
27	Caldés	24	13	< 5.000	Eivissa	< 5.000
28	Murada	26	36	9.000	Eivissa	9.000
29	Margalida	2	18	12.000	Eivissa	12.000
30	Escull Cala Salada	16	8	6.000	Eivissa	6.000
31	Bleda Na Plana	21	34	8.500	Escull Vermell	18.000
32	Escull Vermell	9	7	8.500	Bleda Na Plana	8.000
33	Bleda Na Bosc	11	14	8.500	Bleda Na Gorra	18.000
34	Bleda Na Gorra	19	15	8.500	Bleda Na Bosc	18.000
35	Conillera	23	26	6.000	Bosc de Conillera	6.000
36	Bosc de Conillera	15	10	6.000	Conillera	6.000
37	Espartar	36	21	6.000	Frare, Escull Espartar	9.000
38	Escull Espartar	7	10	6.000	Espartar, Frare	9.000
39	Frare	18	18	6.000	Espartar, Esc. Espartar	9.000
40	Vedrá	29	26	8.500	Vedranell	12.000
41	Vedranell	15	13	8.500	Vedrá	12.000
42	Bosc de S. Miquel	4	3		Puntade Eivissa	12.000
43	Palma	4	2		introducida recientemente	—
44	Sabina	3	—		unida a Formentera	—
45	Conejo	5	2		unida a Formentera	—

TABLA 1. *Tamaños muestrales de las distintas poblaciones analizadas. Se incluye una estimación del tiempo que permanece aislada la isla que habita cada una de ellas, respecto a la isla más próxima y frente al resto del archipiélago*

## MATERIAL Y METODOS

Se han utilizado un total de 1.441 individuos, repartidos entre 45 poblaciones, entre las cuales se incluyen todas las subespecies hasta el momento (inclusive las presumiblemente extinguidas); así como todas las poblaciones que habitan en islas actuales, ostente o no el rango de subespecie. El número de individuos considerados en las distintas poblaciones es muy desigual (tabla I), debido a la falta de efectivos que presentan muchas de ellas MARTINEZ-RICA & CIRER, 1982). Esta circunstancia se ha paliado con la posibilidad de incluir el material depositado en diversas colecciones: Instituto Pirenaico de Ecología, Senckenbergmuseum de Frankfurt, Museum A. Koenig de Bonn y Zoologische Staatssammlung de Munich.

La selección del material se ha realizado con fines taxonómicos, y por tanto, para las poblaciones de islas con gran superficie se incluyen muestras de diversas localidades; en caso de existir varias subespecies descritas sobre una misma isla (Formentera) se consideran sólo las poblaciones que habitan en puntos extremos de la distribución de la subespecie, a fin de evitar las poblaciones híbridas. Así la muestra de Eivissa se recolectó en diferentes puntos de la isla: Puig des Mòlins, Ses Salines, Port des Torrent, Portinatx, Ses Feixes de Talamanca, Sant Carles y Sant Vicent. La de Formentera en La Mola, Cap de Berberia y Sant Francesc, aunque también se prospectó minuciosamente en Ses Salines de Marroig y Ses Illetes, pero sin incluir los individuos de estas zonas en los análisis biométricos, ya que se hallan contiguas a Punta de Trucadors, *Terra typica* de la subespecie *Podarcis pityusensis grueni* (subespecie en el sentido clásico, aunque actualmente no admitida como buena subespecie RODRIGUEZ-RUIZ, 1975; SALVADOR, 1984).

Sobre cada individuo se han aplicado 17 variables biométricas, medidas siempre por la misma persona y desechando cualquier medida realizada previamente por otros autores, a fin de eliminar el error debido a "diferente investigador". Las variables utilizadas son:

1. Longitud corporal, desde la cloaca hasta la punta del hocico.
2. Anchura de la cabeza, por su parte más ancha.
3. Longitud del píleo.
4. Anchura del píleo.
5. Longitud de la pata anterior derecha, en caso de estar amputada se considera la izquierda.
6. Longitud de la pata posterior derecha, o bien izquierda en caso de amputación.
7. Longitud gular, desde el collar, inclusive, a la punta del hocico.
8. Número de escamas del collar.
9. Número de escamas supralabiales.
10. Número de escamas infralabiales.
11. Número de escamas ventrales longitudinales.
12. Número de escamas dorsales longitudinales.
13. Número de escamas dorsales transversales.
14. Número de lamelas bajo el cuarto dedo de la pata posterior.
15. Número de poros femorales de ambos lados.
16. Número de escamas gulares, excluyendo el collar.
17. Peso.

Con estos datos se ha realizado una serie de pruebas estadísticas multivariantes con fines taxonómicos. Los análisis realizados con técnicas multivariantes son más potentes que cuando se consideran las variables biométricas independientemente, o bien alguna combinación lineal resultante de ellas (p.e. longitudes relativas), ya que

el método considera a cada variable estocásticamente independiente de las otras, y por tanto también todas las posibles combinaciones lineales.

Existen diversos métodos estadísticos aplicables al problema que nos ocupa y entre ellos se ha elegido el análisis discriminante, taxonomía numérica y análisis canónico de poblaciones.

Todo el procesado de datos se ha llevado a cabo en el Centro de Cálculo de la Universidad de Barcelona, utilizando el sistema VM/CMS.

#### ANÁLISIS DISCRIMINANTE

Este análisis requiere que exista una clasificación inicial de los  $m$  individuos utilizados, en  $k$  OTUs (Operational Taxonomic Unit), lo cual generalmente restringe su utilización ya que no puede aplicarse cuando no se tiene la certeza en la clasificación preliminar de los individuos. Pero éste no es el caso en *Podarcis pityusensis* ya que cada población habita una isla y por tanto no existen zonas de distribución solapadas en las distintas subespecies (excepto en el caso de la zona norte de Formentera, cuyas poblaciones no se incluyen en la muestra) y no es posible realizar clasificaciones apriorísticas erróneas.

El análisis discriminante realiza una subdivisión del espacio canónico definido por tantas dimensiones como variables entren a formar parte de las funciones discriminantes ( $d$ ). Para ello se parte de la información obtenida en los  $m$  individuos de los  $k$  OTUs o poblaciones y se construye un espacio  $d$ -dimensional dividido en  $k$  regiones disjuntas correspondientes a los  $k$  OTUs. Cada espacio viene definido por una función discriminante que es una combinación lineal de las  $d$  variables (CUADRAS, 1974, 1981). El poder discriminante de las funciones halladas puede testarse mediante el estadístico Lambda de Wilks, que varía de 0 a 1, siendo los valores próximos a 0 indicativos de un elevado poder discriminante de las funciones.

En una segunda fase se calcula la distancia  $D$  de Mahalanobis de cada individuo a cada una de las  $k$  regiones y se clasifica en aquella cuya distancia es menor. Esta reclasificación puede resultar en algunos individuos correcta, o bien incorrecta en aquellos perteneciendo a una población A se asemejan en mayor medida a los individuos de una población B. Obteniéndose finalmente una matriz de clasificación de todos los individuos.

Se considera que el grupo goza de una buena clasificación taxonómica, si el porcentaje de reclasificación correcta es elevado; en caso contrario se aprecia la necesidad de obtener una nueva taxonomía, según se realicen las reclasificaciones de los individuos.

Se han realizado tres análisis discriminantes: para los machos, para las hembras y para todos los individuos conjuntamente.

#### TAXONOMÍA NUMÉRICA

Se ha realizado análisis de taxonomía numérica (Cluster Analysis) utilizando matrices de distancias euclídeas. Para la construcción de las clases (Clusters) se han considerado diversos algoritmos de clasificación: método del mínimo y del máximo (JOHNSON, 1967), método de UPGMA (Unweighted Pair Group Method Using Arithmetic Average) (SOKAL & MICHENER, 1958), método de la mediana (GOWER, 1967) y método del centroide (LANCE & WILLIAMS, 1967).

Cada uno de estos algoritmos se ha aplicado a la matriz de los machos y a la correspondiente a las hembras; obteniéndose sendos dendrogramas, uno para cada sexo.

## ANÁLISIS CANÓNICO DE POBLACIONES

El análisis canónico de poblaciones proporciona la representación de  $k$  poblaciones mediante un elipsoide  $v$ -dimensional que engloba el porcentaje de individuos especificado en el nivel de confianza (95% en este caso) y cuyo centroide corresponde a las coordenadas de las medias poblacionales en las  $v$  variables. El radio del elipsoide de una población  $k_i$ , está en función del tamaño muestral de  $k_i$  ( $n_i$ ), número de variables consideradas ( $v$ ), número de poblaciones contrastadas ( $k$ ) y del número total de individuos de todas las  $k$  poblaciones ( $N$ ).

Esta representación ofrece interpretaciones muy sencillas, ya que el espacio canónico se construye de tal modo que la discriminación entre los elipsoides es máxima; así la presencia de regiones solapadas indica superposición de los rangos de variabilidad y existencia de individuos con características biométricas que permiten clasificarlos en ambas poblaciones simultáneamente. Ahora bien, al realizarse dos análisis para cada población: machos y hembras, en algunas ocasiones pueden obtenerse resultados distintos según el sexo; esta situación no es resoluble estadísticamente aunque se recomienda respetar las semejanzas detectadas en alguno de los análisis (Véase CUADRAS, 1973, 1980, 1981; PETITPIERRE & CUADRAS, 1977).

Se han realizado diversos análisis para machos y hembras, por separado, de todas las poblaciones, sin lograr resultados satisfactorios. Por ello se realizaron posteriormente otros parciales, que afectan sólo a pequeños grupos de poblaciones (se observó que eran precisas menos de 10 poblaciones en un mismo contraste), para así llegar a resultados que ofrecieran un mayor poder de decisión.

## RESULTADOS

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DISCRIMINANTE

En los tres análisis realizados el porcentaje de clasificación correcta es notablemente bajo para el conjunto de poblaciones (tabla 2). Si se consideran los porcentajes obtenidos en cada población en particular, la mayoría de ellas obtienen valores comprendidos entre el 75%-25%, que resultan inferiores al límite propuesto para considerarlas buenas subespecies (MAYR, 1969; SIMPSON, 1961).

Población	% CLASIFICACIONES CORRECTAS OBTENIDAS CON ANÁLISIS DISCRIMINANTE		
	MACHOS	HEMBRAS	SIN SEPARACION DE SEXOS
Isla que habita y Número poblacional			
Eivissa-1	33.3	62.7	60.0
Formentera-2	51.1	41.5	47.8
Punta Trucadors-3	33.3	69.2	80.0
Rodona Illetes-4	100.0	62.5	81.8
Espalmador-5	26.7	37.5	40.4

Isla que habita y Número poblacional	MACHOS	HEMBRAS	SIN SEPARACION DE SEXOS
Gastabí-6	62.5	83.3	77.3
Alga-7	71.4	100.0	80.0
Torretes-8	30.0	64.	59.5
Pou o Porc-9	27.3	54.5	50.9
Penjats-10	20.0	45.5	50.0
Caragoler-11	83.3	100.0	94.1
Espardell-12	52.2	21.9	38.2
Sal Rosa-13	50.0	50.0	30.0
Purroig-14	30.8	100.0	37.0
Negra Llevant-15	66.7	66.7	100.0
Negra Nord-16	30.8	52.9	63.3
Rates-17	7.7	61.5	53.8
Malví Nord-18	8.3	23.1	16.0
Malví Sud-19	36.4	18.2	40.9
Rodona S. Eul.-20	28.6	35.7	50.0
Grossa S. Eul.-21	21.7	21.7	26.1
Es Canar-22	13.5	0.0	25.0
Tagomago-23	17.4	22.9	36.2
Hort-24	21.4	62.5	40.0
Sa Mesquida-25	30.0	66.7	62.5
Canaret-26	50.0	80.0	81.8
Caldés-27	16.7	53.8	45.9
Murada-28	38.5	47.2	41.9
Margalida-29	100.0	38.9	65.0
Esc. Cala Salada-30	18.8	50.0	29.2
Bleda Na Plana-31	57.1	67.6	69.1
Escull Vermell-32	67.7	100.0	81.3
Bleda Na Bosc-33	81.8	78.6	64.0
Bleda Na Gorra-34	57.9	40.0	50.0
Conillera-35	13.0	26.9	18.4
Bosc Conillera-36	26.7	30.0	12.0
Espartar-37	47.2	38.1	38.6
Escull Espartar-38	85.7	60.0	76.5
Frare-39	27.8	44.4	52.8
Vedrá-40	17.2	30.8	38.2
Vedranell-41	66.7	46.2	64.3
Bosc S. Miquel-42	25.0	100.0	85.7
Palma Mallorca-43	75.0	100.0	83.3
Sabina-44	100.0	No hay muestra	100.0
Conejo-45	80.0	100.0	71.4
TOTALES	37.0	47.4	48.9
LAMBDA DE WILKS	0.031	0.022	0.016

TABLA 2. Resultados de los análisis discriminantes obtenidos para machos, hembras y análisis conjunto sin separación de sexos. Los valores de Lambda de Wilks indican un alto poder discriminatorio de las funciones halladas; pero al obtener un porcentaje bajo de clasificación correcta, se constata la necesidad de revisar la taxonomía de la especie.

En las matrices de reclasificación se ha apreciado que algunas poblaciones forman grupos entre ellas, de tal forma que los individuos incorrectamente clasificados recaen en otras poblaciones del mismo grupo, lo cual sugiere que probablemente todas ellas deban considerarse como un mismo OTU, una misma subespecie. De este modo se constituyen grupos muy relevantes como el formado por todas las poblaciones de Es Freus: Espalmador, Torretes, Pou, Penjats, Espardell y Negra Nord; las que habitan islas situadas al este del archipiélago: Rates, Malví Nord, Malví Sud, Ródon de Santa Eulalia, Grossa de Santa Eulalia, Es Canars, Tagomago y Hort; las poblaciones melánicas: Bleda Na Plana, Escull Vermell, Bleda Na Bosc, Bleda Na Gorra y Frare; entre otros. Las poblaciones integrantes de cada uno de estos grupos habitan en islas separadas del resto del archipiélago durante un mismo período (deben exceptuarse Rates y Hort del grupo del este, islas que se hallan en una zona de intensa sedimentación fluvio-marina y cuya edad de separación no puede apreciarse con la técnica usada para construir la tabla 1).

Otras poblaciones presentan resultados especialmente desfavorables, con porcentajes de clasificación correcta inferiores al 50% y cuyos individuos se reparten en diversas poblaciones, sin establecer similitudes. Entre ellas pueden señalarse a Murada, Margalida, Cala Salada, Conillera, Bosc de Conillera y Espartar, cuyos porcentajes son especialmente bajos en todos los análisis realizados. Algunas poblaciones presentan resultados que pueden parecer muy favorables, pero el tamaño muestral utilizado es notablemente bajo y no puede considerarse significativo; como por ejemplo Rodona de Illetes, hembras de Purroig, machos de Margalida, Escull de s'Espartar, Palma de Mallorca, Sabina y Conejo.

Estos resultados no pueden pues considerarse satisfactorios y deben ir acompañados de los obtenidos en otros análisis, a fin de obtener una mayor fiabilidad en su interpretación.

#### RESULTADOS OBTENIDOS CON EL METODO DE TOXONOMIA NUMERICA

Los coeficientes de correlación cofenética obtenidos son muy bajos en todos los análisis realizados (tabla 3), lo cual indica que el conjunto de poblaciones analizadas no se hallan jerarquizadas entre sí y que la representación gráfica (el dendrograma) presenta alta distorsión respecto a la matriz de distancias originales. La solución gráfica sólo es una aproximación de la realidad y las distancias que refleja entre las distintas poblaciones no deben considerarse como distancias taxonómicas, ya que las únicas válidas son las que se ofrece la matriz de distancias (SNEATH & SOKAL, 1973). El método que ha deparado mejores resultados en todos los análisis realizados es el UPGMA; tal y como cabría esperar, al ser el método que suele ofrecer mejores resultados en la clasificación de los seres vivos (CUADRAS, 1981). En las figuras 2 y 3 se ofrecen los dendrogramas obtenidos con este algoritmo cuyos resultados se comentan a continuación.

Para ambos sexos y a una distancia de 2.40, las poblaciones se fusionan en dos grandes grupos, cuya composición coincide ampliamente en los dos análisis, si bien existe un pequeño grupo de poblaciones que se relacionan con el primer grupo en el análisis de los machos, mientras que se fusionan en el segundo en el de las hembras. Las poblaciones integrantes de estos grupos se relacionan en la tabla 4.

COEFICIENTE CORRELACION COFENETICA

METODO	MACHOS	HEMBRAS
MINIMO	0.382	0.431
MAXIMO	0.489	0.533
UPGMA	0.536	0.538
MEDIANA	0.487	0.499
CENTROIDE	0.531	0.570

TABLA 3. Valores de los coeficientes de correlación cofenética obtenidos con los cinco algoritmos de clasificación aplicados a los análisis de taxonomía numérica; los bajos valores obtenidos en todos ellos indican ausencia de jerarquización entre las poblaciones.

Primer grupo	Segundo grupo	Sin relación clara
1 Eivissa	17 Rates	2 Formentera
3 Trucadors	18 Malví Nord	12 Espardell
4 Rodona de Illetes	19 Malví Sud	24 Hort
5 Espalmador	20 Rodona de Sta. Eulalia	25 Sa Mesquida
6 Gastabí	21 Grossa de Sta. Eulalia	28 Murada
7 Alga	22 Es Canar	29 Margalida
8 Torretes	23 Tagomago	35 Conillera
9 Pou	31 Bleda Na Plana	36 Bosc de Conillera
10 Penjats	32 Escull Vermel	37 Espartar
11 Caragoler	33 Bleda Na Bosc	39 Frare
13 Sal Rosa	34 Bleda Na Gorra	
14 Purroig	38 Escull de s'Espartall	
15 Negra de Llevant	40 Vedrá	
16 Negra Nord	41 Vedranell	
26 Canaret		
27 Caldés		
30 Escull Cala Salada		
42 Bosc Sant Miquel		
43 Palma de Mallorca		
44 Sabina		
45 Conejo		

TABLA 4. Grupos de poblaciones obtenidos en los dendrogramas mediante el método UPGMA. Véase texto.

En el primer grupo se reúnen poblaciones con individuos de talla corporal pequeña, constitución corporal poco robusta y valores de foliodosis dorsal bajos, mientras que presentan tendencia a una alta escamación en el collar y zona labial; y todas ellas ocupan islas que se separaron recientemente en Eivissa. Por el contrario el segundo grupo lo constituyen las poblaciones con individuos robustos, gran talla en todos sus miembros y elevada foliodosis dorsal; habitando islas de edad antigua.



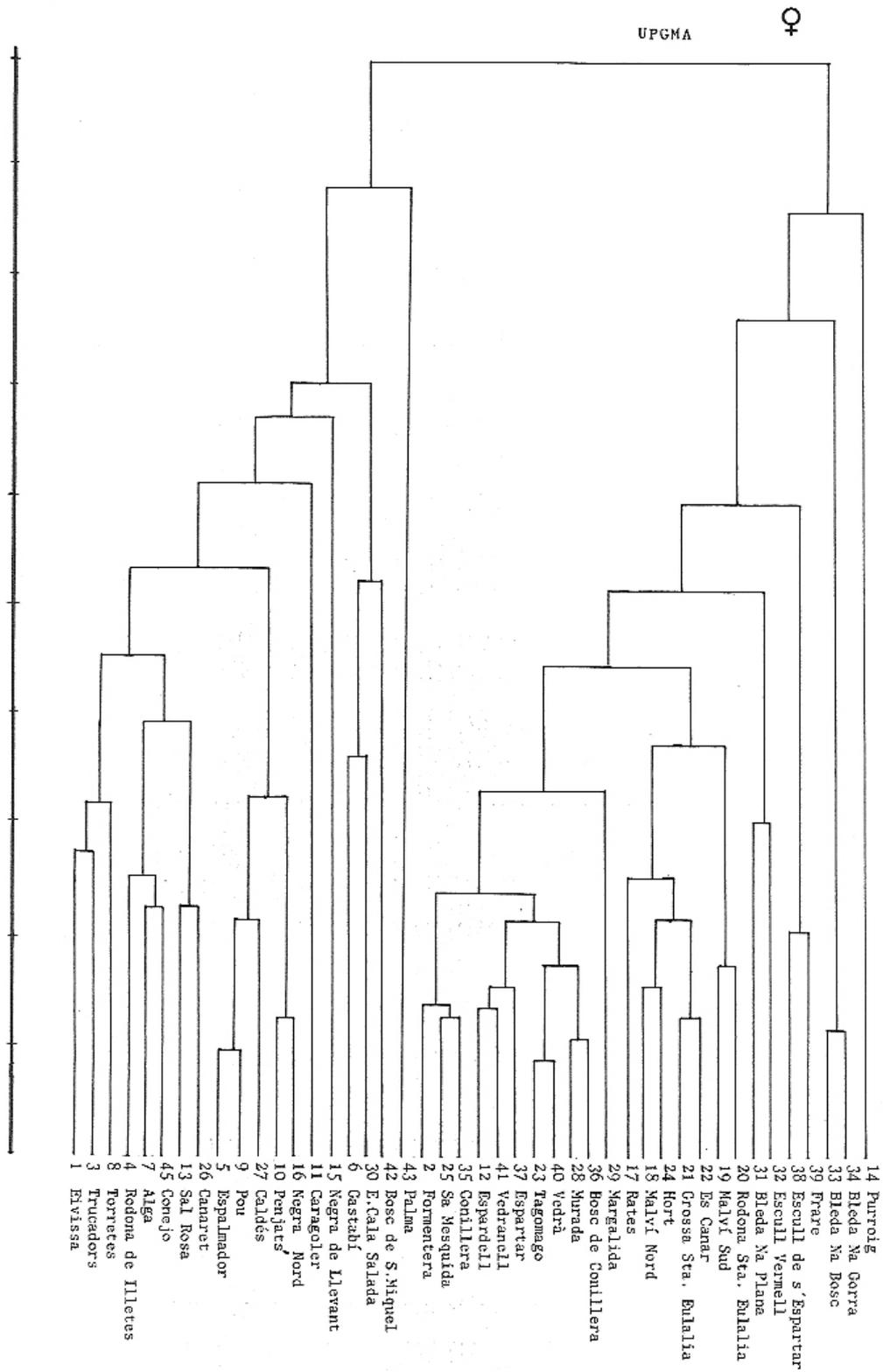


FIGURA 3. Dendrograma obtenido con el método UPGMA correspondiente a las hembras.

Las poblaciones sin relaciones claras, deben analizarse a partir de las matrices de distancias ya que sus afinidades no se aprecian con los dendrogramas obtenidos, al presentar éstos una distorsión elevada, debido a la falta de jerarquía entre las poblaciones, o bien a los valores intermedios, dentro del rango de variabilidad de la especie que presentan las poblaciones, o a su reducido tamaño muestral. Las hembras de Formentera, Espardell y Sa Mesquida presentan entre sí distancias euclídeas muy bajas; al igual que frente a algunas poblaciones del segundo grupo. Pero frente a todas las poblaciones del primer grupo sus distancias no alcanzan valores elevados, mientras que sí lo hacen frente a algunas poblaciones integrantes del segundo (p.e. frente a las poblaciones de Ses Bledes), por lo que puede asumirse que se sitúan más cerca del primer grupo que del segundo. Hort, Murada, Espartar y Frare presentan distancias generalmente elevadas con las poblaciones del primer grupo y generalmante menores frente a las del segundo grupo, pero siempre con alguna distancia muy elevada con alguna población, que distorsiona sus relaciones globales de afinidad. En el caso de Margalida sólo pueden considerarse los análisis de las hembras, ya que sólo se dispone de 2 machos, muestra insuficiente a todas luces. Conillera y Bosc de Conillera no presentan distancias excesivamente elevadas frente a ninguna población. Ambas poseen valores biométricos intermedios dentro del rango de variabilidad de toda la especie, para todas las variables; por lo que se sitúan en un grado intermedio de afinidad con la mayoría de poblaciones analizadas; y por tanto, al igual que acontece con los análisis discriminantes, sus relaciones no pueden precisarse estadísticamente.

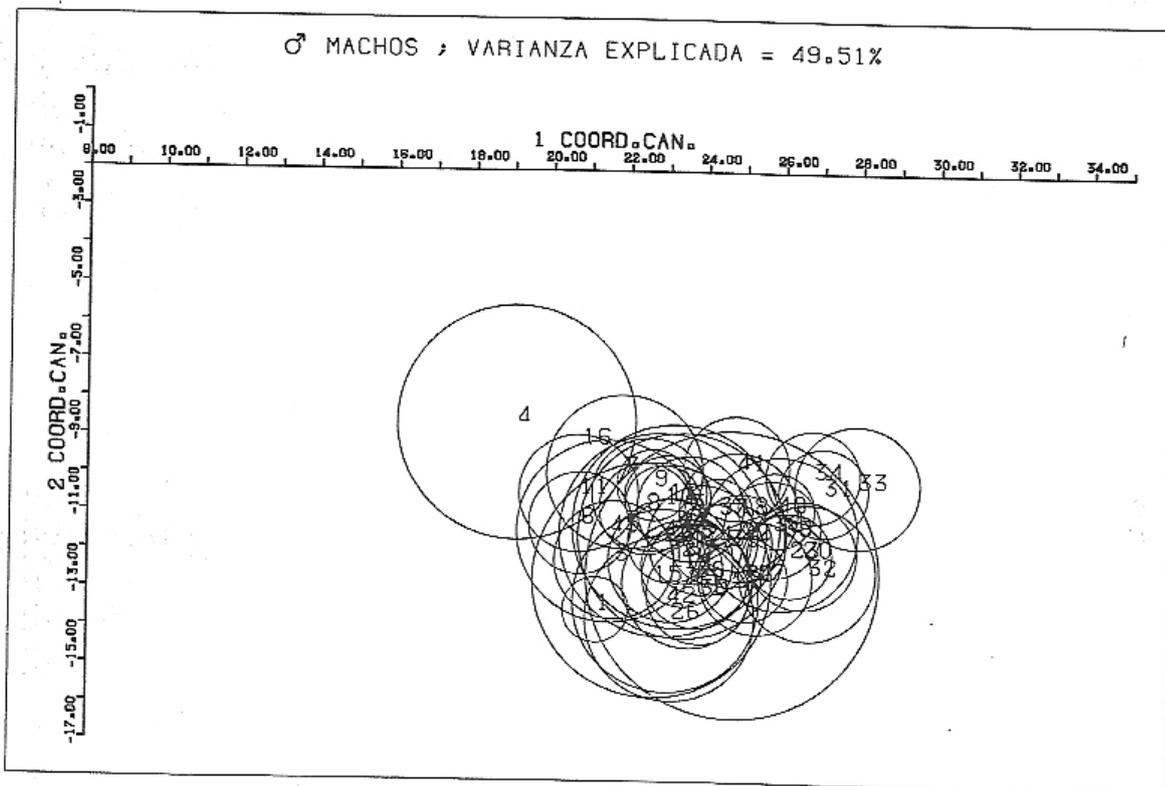


FIGURA 4. Representación canónica de los machos para las 45 poblaciones. Se aprecia el notable solapamiento de las regiones de confianza que indican variación biométrica gradual entre las poblaciones, con amplios rangos de variabilidad comunes.

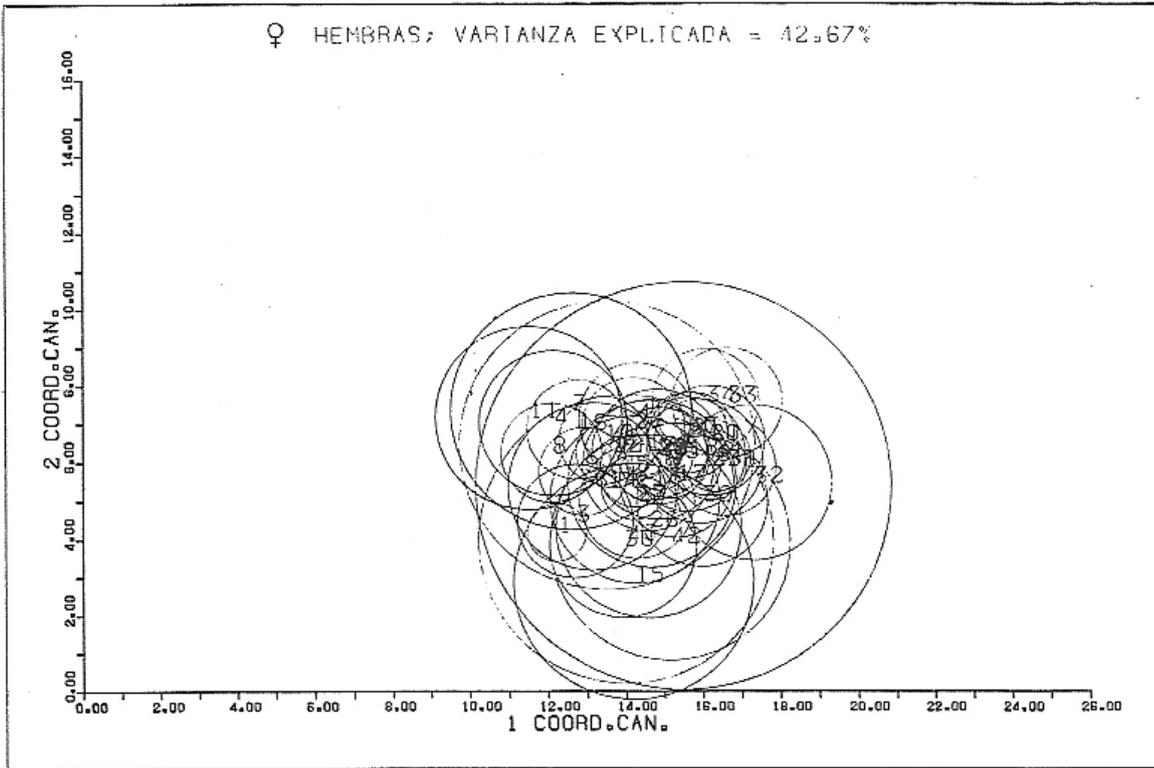


FIGURA 5. Representación canónica correspondiente al análisis de las hembras. En ningún caso se obtiene un espacio confidencial propio, al igual que en el análisis de los machos.

Estos resultados pueden concretarse en mayor medida con diversos análisis canónicos de poblaciones que se consideran a continuación.

#### RESULTADOS DE LOS ANALISIS CANONICOS DE POBLACIONES

En el contraste de todas las poblaciones simultáneamente, tanto en machos como en hembras se ha obtenido una proyección canónica sin ninguna población que presente una región canónica propia (figuras 4 y 5); ya que todas las poblaciones varían gradualmente sus características biométricas. Ahora bien existen pares de poblaciones que se diferencian perfectamente entre sí, situando sus regiones sin solapamiento en polos opuestos de la representación. Ello ha inducido a la realización de sucesivos análisis canónicos en los cuales se contrasta un número menor de poblaciones. En la tabla 5 se resumen los resultados obtenidos en distintos contrastes, cuyas representaciones pueden consultarse en CIRER (1987).

Las relaciones de Formentera y Espardell, que no quedan claras en los análisis de taxonomía numérica, pueden establecerse mediante los análisis número 4, 8 y 9 de la tabla 5, en donde se observa la falta de discriminación de Espardell frente a las poblaciones de Es Freus, mientras que Formentera se discrimina de este grupo en los machos, aunque no en las hembras ni frente al grupo de poblaciones del norte de Formentera. En los resultados

obtenidos con Formentera debe considerarse siempre el efecto muestreo, que distorsiona en cierto modo sus parentescos, al haberse considerado sólo los individuos del sur de la isla. La población de Hort es biométricamente muy semejante a sus poblaciones vecinas del este de las Pitiusas, tal y como se aprecia en el análisis número 10; todas ellas integrantes del segundo grupo obtenido en el análisis de taxonomía numérica. En el primer análisis de la tabla 5 se presentan los contrastes realizados con la población de Sa Mesquida, en los cuales no se ha obtenido discriminación frente a Eivissa, Canaret y Caldés. Las poblaciones melánicas se asemejan biométricamente entre sí, si bien Murada se sitúa en un extremo de la variabilidad que presentan, junto con Margalida; aspecto que se refleja en el análisis canónico número 15. Los machos de Murada constituyen una región propia, pero no así las hembras que ocupan una posición parcialmente solapada con otras poblaciones melánicas. Los contrastes de Conillera, Bosc de Conillera y Cala Salada (análisis número 20) reflejan su gran semejanza biométrica, las tres poblaciones se separan de Eivissa, si bien no en gran medida, manteniéndose las cuatro poblaciones dentro de la misma zona del espacio canónico. Conillera y Bosc de Conillera son las poblaciones con peores resultados estadísticos obtenidos en todo el estudio, mientras que Cala Salada parece relacionarse con Eivissa en los otros análisis estadísticos aplicados.

Nº	Contraste	Poblaciones que se discriminan	
		MACHOS	HEMBRAS
1	Eivissa-Mesquida-Canaret-Caldés	ninguna	ninguna
2	Eivissa-Sal Rosa-Purroig-Negra Llevant-Palma	ninguna	ninguna
3	Eivissa-Sal Rosa-Negra Llevant-Canaret-Caldés	ninguna	ninguna
4	Eivissa-Formentera-Espalmador-Pou-Penjats-Espardell-Negra Nord	Eivissa y Formentera	Eivissa
5	Trucadors-Espalmador-Gastabí-Alga-Torretes-Pou-Caragoler	ninguna	ninguna
6	Espalmador-Gastabí-Alga-Torretes-Pou-Penjats	Gastabí	ninguna
7	Espalmador-Gastabí-Alga-Torretes-Pou	Gastabí	ninguna
8	Gastabí-Penjats-Espardell-Negra Nord	Gastabí	Gastabí
9	Formentera-Rodona Illetes-Sabina-Conejo	ninguna	ninguna
10	Rates-Malví Nord-M. Sud-Rodona S.E.-Grossa S.E.-Canar-Tagomago-Hort	ninguna	ninguna
11	Rates-Malví Nord-Malví Sud-Rodona S.E.-Grossa S.E.-Canar	ninguna	ninguna
12	Rates-Malví Nord-Malví Sud	ninguna	ninguna
13	Rodona Sta. Eulalia-Grossa Sta. Eulalia-Canar	ninguna	ninguna
14	Eivissa-Tagomago-Hort	Eivissa	Eivissa
15	Murada-Margalida-Bleda Plana-Es. Vermell-Bleda Bosc-Bleda Gorra-Frarc	Murada	ninguna
16	Bleda Plana-Escull Vermell-Bleda Bosc-Bleda Gorra	ninguna	ninguna
17	Espartar-Es. Espartar-Frarc-Vedrá-Vedranell	ninguna	ninguna
18	Espartar-Escull Espartar-Frarc	Espartar	ninguna
19	Vedrá-Vedranell	ninguna	ninguna
20	Eivissa-Es. Cala Salada-Conillera-Bosc Conillera	Eivissa	Eivissa

TABLA 5. Resultados de los análisis canónicos aplicados a los distintos grupos de poblaciones. En la columna "contraste" se especifican las poblaciones utilizadas en cada uno de los análisis parciales.

Espartar también es una población que presenta características biométricas dentro de la variabilidad de la especie y su comportamiento en los distintos contrastes es oscilante. En el análisis 17 se contrasta frente a las poblaciones vecinas de Frare y Escull de s'Espartar y frente a Vedrá y Vedranell, apreciándose la afinidad biométrica que ostenta con estas poblaciones; aunque en el análisis 18 de los machos se individualiza de Frare y Escull de s'Espartar. La población de Frare tampoco se discrimina de este grupo ni del grupo de poblaciones melánicas (análisis 15), todas ellas del segundo grupo obtenido en los análisis de taxonomía numérica.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las poblaciones de *Podarcis pityusensis* manifiestan una elevada variabilidad biométrica intrapoblacional e interpoblacional; igual o superior a la detectada en otras especies del mismo género como *Podarcis sicula* y *P. melisellensis* (CLOVER, 1975) y *P. hispanica* (PEREZ-MELLADO & GALINDO-VILLARDON, 1986).

Todas las poblaciones presentan ligeras tendencias a variar algún parámetro biométrico de tal forma que en cualquier caso pueden hallarse diferencias interpoblacionales someras, ya que todas las características varían gradualmente; el problema radica en definir el punto de diferenciación válido para otorgar el rango de subespecie a una población o grupo de ellas. PARENTI (comunicación oral) afirma que "entre varias muestras de una misma especie el biólogo siempre podrá detectar diferencias entre ellas, y por lo tanto utilizar una nomenclatura trinomial distinta para cada muestra, lo cual no implica que sea ésta la forma adecuada, desde el punto de vista evolutivo, taxonómico y biológico en general, de resolver el problema".

Esta incertidumbre no sólo afecta a grupos de poblaciones situadas geográficamente cerca, con relativa facilidad de integración de sus individuos; sino que también se comprueba al analizar poblaciones situadas en puntos extremos del archipiélago (similitud biométrica entre las poblaciones del este y del oeste de las Pitiusas; entre Mesquida, Caldés, Canaret en el norte del archipiélago y Sal Rosa, Purroig, Negra de Llevant al sur de Eivissa). Con los que no ha sido posible apreciar ninguna relación de similitud biométrica con lejanía geográfica. Pero sí que puede observarse que los grupos de poblaciones más similares entre sí, habitan islas de edad semejante; siendo esta similitud función del tiempo que permanecen aisladas las poblaciones y no exclusivamente de la distancia geográfica.

Las variables biométricas utilizadas, así como cualquier combinación lineal posible entre ellas, no sirve como característica taxonómica, si se mantiene la taxonomía de la especie configurada en múltiples subespecies. La variación de estas variables interpoblacionales transcurre de forma gradual y si se analizan con métodos univariantes, sólo puede discernirse entre las poblaciones con valores extremos. Al utilizar análisis multivariantes no se han conseguido mejores resultados, ya que la alta variabilidad intrapoblacional resta capacidad de discriminación entre las distintas poblaciones; PEREZ-MELLADO & GALINDO-VILLARDON (1986) también han obtenido resultados parecidos al aplicar técnicas estadísticas multivariantes a las subespecies de *Podarcis* ibéricas. Esta falta de discriminación no parece que radique en el método utilizado, sino que parece ser intrínseco

a la especie, ya que con los distintos métodos aplicados se han obtenido siempre resultados redundantes.

El análisis discriminante ha puesto de manifiesto un alto grado de incertidumbre en la mayoría de poblaciones, no alcanzándose el 75% de clasificación correcta, porcentaje mínimo recomendable (MAYR, 1969), a pesar del elevado tamaño muestral utilizado en algunos casos. Los grupos de poblaciones que se "intercambian" los individuos mal clasificados, se fusionan en un mismo grupo durante la construcción de dendrogramas y presentan una mayor región de confianza compartida en las representaciones canónicas. Todo ello apunta a que las subespecies de *Podarcis pityusensis* pueden agruparse en unas pocas listas de sinonimias.

Esta modificación taxonómica de la especie requiere que se contemplen no sólo las características biométricas, sino también su coloración, variabilidad génica, así como la historia y biogeografía de toda la especie. Por esta causa este problema no se discute aquí, aunque se está trabajando en ello.

Pero sí que puede presentarse un resumen de las semejanzas biométricas detectadas a lo largo de estos análisis para facilitar la futura discusión taxonómica. Independientemente de cualquier otro tipo de características o consideraciones biológicas y atendiendo exclusivamente a los análisis estadísticos aplicados, puede observarse que existen grupos de poblaciones que siempre se resuelven con alta similitud entre ellas. Las ocho poblaciones de este archipiélago: Rates, Malví Nord, Malví Sud, Rodona de Santa Eulalia, Grossa de Santa Eulalia, Es Canar, Tagomago y Hort, se intercambian entre sí la mayoría de los individuos en los análisis discriminantes aplicados; aunque la población de Hort participa en menor medida. En los análisis canónicos no se logra separar a estas poblaciones y en los dendrogramas siempre se fusionan juntas, a excepción de Hort, que parece ser una población "puente" entre este grupo y el resto de las poblaciones; o bien, el primer término de una serie de poblaciones que siguen una misma línea evolutiva de diferenciación. A su vez todas ellas presentan gran semejanza biométrica con el grupo de Ses Bledes y Vedrà-Vedranell.

Otro grupo de poblaciones íntimamente relacionadas es el formado por Eşpalmador, Torretes, Pou, Penjats, Espardell y Negra Nord; que presentan distancias euclídeas entre ellas muy bajas, gran porcentaje del espacio canónico común y un gran número de individuos reclasificados entre ellas, en los análisis discriminantes. Con este grupo se relacionan, aunque no tan estrechamente, las poblaciones de Trucadors, Alga, Caragoler y Gastabí. Formentera parece separarse de este grupo en algunos análisis, debido al efecto de muestreo; las poblaciones de Formentera varían clinalmente sur-norte, con individuos mayores y más robustos al sur; y no se han incluido los individuos que habitan al norte de la isla, a fin de evitar las poblaciones híbridas entre la población de Punta de Trucadors y la de Formentera propiamente dicha; poblaciones muy semejantes en todas sus características a las que habitan en las islas de Es Freus.

Durante la recolección se constató que la población de Eivissa presenta una gran variabilidad según la zona, tanto en el tamaño y forma de los individuos como en su coloración (CIRER, 1987). Al recolectar la muestra poblacional utilizada en este estudio biométrico en un gran número de localidades, pueden quedar enmascaradas las similitudes entre las poblaciones que habitan en pequeñas islas cercanas a Eivissa y la población adyacente de dicha isla. Sin embargo a pesar de este posible efecto de muestreo se aprecia un

alto grado de identidad entre la población de Eivissa y las de Sal Rosa, Purroig, Negra de Llevant, Mesquida, Canaret, Caldés y Bosc de Sant Miquel.

Las poblaciones de Cala Salada, Conillera y Bosc de Conillera se relacionan entre sí, pero no parecen presentar relaciones claras frente al resto; ya que presentan similitudes con un gran número de poblaciones de todos los grupos considerados, si bien la de Cala Salada presenta las distancias euclídeas menores frente a las poblaciones relacionadas con Eivissa.

#### AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que han facilitado con sus indicaciones o colaboración que pudiera realizarse este estudio, al Dr. J. P. Martínez-Rica, que ha dirigido todas las facetas de mi formación científica; a los Drs. C. Cuadras, K. Klemmer, W. Böhme y E. Grüber; a los centros que me han permitido utilizar sus instalaciones y consultar el material depositado en ellos: Centro Pirenaico de Ecología de Jaca, Centro de Cálculo de la Universidad de Barcelona, Senckenbergmuseum de Frankfurt, Museo A. Koenig de Bonn y Zoologische Staatssammlung de Munich; así como al Consejo Superior de Investigaciones Científicas que financió la estancia en dichas instituciones

#### BIBLIOGRAFIA

- BARROWCLOUGH, G. F. (1982): Geographic variation, Predictiveness, and subspecies. *The Auk*, 99 (3); 601-603
- CIRER, A. M. (1987): *Revisión taxonómica de las subespecies del lacértido Podarcis pityusensis*, BOSCA, 1883. Tesis. Universidad de Barcelona.
- CLOVER, R. CH. (1975): *Morphological variations in populations of Lacerta from islans in the Adriatic sea*. Thesis. Oregon State University.
- COLOM, G. (1978): *Biogeografía de Baleares. I y II*. (2a. Ed. aumentada). Diputación Provincial de Baleares. Palma de Mallorca.
- CUADRAS, C. M. (1973): *Análisis estadístico multivariante y representación canónica de funciones estimables*. Tesis. Universidad de Barcelona.
- CUADRAS, C. M. (1974): Análisis discriminante de funciones paramétricas estimables. *Trab.Estad.Inv.Oper.*, 25 (3); 3-31.
- CUADRAS, C. M. (1980): Métodes de representació de dades i la seva aplicació en Biología. *Col.Soc.Cat. de Biol.*, 13: 95-133.
- CUADRAS, C. M. (1981): *Métodos de análisis multivariante*. Ed. Eunibar. Barcelona.
- ESPAÑOL, F. (1954): Los tenebriónidos de las Baleares. *Trab.Mus.Cien.Nat. de Barcelona*, 1 (5): 3-96.
- ESPAÑOL, F. (1984): Tenebrionidae of the Pityusic Islands (Coleoptera; Heteromera). in *Biogeography and Ecology of the Pityusic Islands* (Ed. Kühbier, Alcover & Guerau d'Arellano): 265-285.
- GOWER, J. C. (1967): A comparison of some methods of cluster analysis. *Biometric*, 23: 623-637.
- JOHNSON, S. C. (1967): Hierarchical clustering scheme. *Psychometrika*, 32: 241-254.
- LANCE, G. N. & WILLIAMS, W. T. (1967): A general theory of classificatory sorting strategies. I. Hierarchical systems. *Computer J.*, 9: 373-380.

- LILGE, D. (1975): Systematisch-biometrische Untersuchungen an *Lacerta pityusensis* (Sauria, Lacertidae). *Salamandra*, 11 (3/4): 145-178.
- LUMLEY, H. (1976): Les lignes de rivage quaternaire. in: *La Préhistoire Française*, T. 1: 311-325. C.N.R.S. Paris.
- MARTINEZ-RICA, J. P. & CIRER, A. M. (1982): Notes on some endangered species of Spanish herpetofauna: I. *Podarcis pityusensis* BOSCA. *Biological Conservation*, 22: 295-314.
- MAYR, E. (1969): *Principles of Systematic Zoology*. McGraw-Hill. New York.
- MONROE, B. L. (1982): A modern concept of the subspecies. *The Auk*, 99 (3): 608-609.
- O'NEILL, J. P. (1982): The subspecies concept in the 1980's. *The Auk*, 99 (3): 609-612.
- PEREZ-MELLADO, V. & GALINDO-VILLARDON, M. P. (1986): *Sistemática de Podarcis (Sauria, Lacertidae) ibéricas y norteafricanas mediante técnicas multivariantes*. Ed. Univ. de Salamanca.
- PETITPIERRE, E & CUADRAS, C. M. (1977): The canonical analysis applied to the taxonomy and evolution of the genus *Timarcha* Latr. (Coleoptera, Chrysomelidae). *Mediterranea*, 2: 13-28.
- RODRIGUEZ-RUIZ, F. J. (1975): Datos sobre la sistemática de los lacértidos de la isla de Formentera e islotes adyacentes. *Bol.Soc.Hist.Nat. Baleares*, XXI: 47-75.
- SALVADOR, A. (1984): A taxonomic study of the Eivissa wall lizard, *Podarcis pityusensis* Boscá 1883. in: *Biogeography and Ecology of the Pityusic Islands* (Ed. Kuhbier, Alcover & Guerau d'Arellano): 393-427.
- SCHRÖDER, F. (1978): *Trochoidea (Xerocrassa) ebusitana* (HIDALGO, 1869) und ihre Rassen auf den Pityusen / Spanien. *Veröff. Überseemuseum Bremen*, A 5: 83-120.
- SCHRÖDER, F. (1984): *Trochoidea (Xerocrassa) caroli* (DOHRN & HEYNEMANN, 1862) and its races on the Pityusic Islands (Balears). Spain - Gasteropoda: Helicidae. in: *Biogeography and Ecology of the Pityusic Islands* (Ed. Kühbier, Alcover & Guerau d'Arellano): 243-264.
- SIMPSON, G. G. (1961): *Principles of Animal Taxonomy*. Columbia University Press. New York.
- SNEATH, P. H. A. & SOKAL, R. R. (1973): *Numerical Taxonomy. The principles and Practice of Numerical Classification*. W. H. Freeman & Co. San Francisco.
- SOKAL, R. R. & MICHENER, C. D. (1958): A statistical method for evaluating systematic relationships. *Univ. Kansas Sci.Bull.*, 38: 1409-1438.
- STORER, R. W. (1982): Subspecies and the study of geographic variation. *The Auk*, 99(3): 599-601.