

ZOOGEOGRAFÍA DE LAS MARIPOSAS DIURNAS (LEPIDOPTERA: PAPILIONOIDEA Y HESPERIOIDEA) DE CHILE

DOREL RUSTI¹ y SEBASTIÁN TEILLIER²

1 Museo Nacional de Historia Natural Grigore Antipa; Bucarest, Rumanía. E-mail: dmr@antipa.ro.

2 Escuela de Arquitectura del Paisaje, Universidad Central de Santiago de Chile.

E-mail: steillier@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se analiza y presentan resultados sobre la distribución geográfica de 172 taxones de mariposas diurnas de Chile en las 13 regiones administrativas. Estas se analizaron con base en dos métodos estadísticos complementarios, a saber, un análisis factorial de correspondencias y un análisis de "clusters", ambos con resultados concordantes. Se obtuvo que la fauna de mariposas diurnas presenta un patrón de variación latitudinal norte-sur muy evidente en su distribución. Las regiones más boreales, Tarapacá y Antofagasta, forman una unidad de rango superior, de grado equivalente con el agrupamiento del resto de las regiones de Chile (III-XII). La primera unidad corresponde al areal de las especies de mariposas tropicales y la segunda a las de distribución en el territorio de los climas mediterráneo y oceánico; el grupo se puede dividir en dos en entidades de rango subordinado a la primera dispuestas también de norte a sur: la primera formada por las Regiones III-VII, que reúne a las mariposas que viven en las áreas de clima mediterráneo desde su variante per-árida hasta la sub-húmeda (III-VII); la segunda, a las del límite sur del clima mediterráneo con sus variantes húmeda y per-húmeda que incluye, además, las áreas bajo tendencia climática oceánica. Finalmente, se agrupan las dos regiones del extremo sur: XI-XII con el área occidental de clima templado, frío y húmedo y la oriental trans-cordillera con clima frío y seco. Ulteriores análisis de zoogeografía de mariposas diurnas de Chile deben incluir estudios de distribución de especies por altitud y estudiar la fauna de las zonas fronterizas y de países vecinos como Perú, Bolivia y Argentina con el fin de establecer su grado de endemismo y generar medidas para su conservación.

Palabras clave: Zoogeografía, Lepidoptera (Papilionoidea y Hesperioidea), Chile

ABSTRACT

Zoogeography of the diurnal butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) from Chile.

The paper presents a zoogeographical analysis of the 172 taxa of butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea) from the 13 administrative regions of Chile. The two complementary statistical analyses performed (correspondence analysis and cluster analysis) yield concordant results. The fauna show a strong north-south latitudinal gradient. The northernmost regions, Tarapacá and Antofagasta, cluster in a zoogeographic unit equivalent to the other regions of Chile (III-XII). The first zoogeographical unit is concordant with the range of tropical butterflies, and the second unit is concordant with the Mediterranean and oceanic ranges; the second zoogeographical unit can be further divided in three subordinate subunits on the north-south gradient: the first in Regions III-VII, based on a arid and sub humid Mediterranean fauna (Regions III-VII), and the second based on humid Mediterranean and oceanic areas (Regions VII-X); the regions from the extreme south (XI-XII) belong to a third subunit, with a cold climate, humid in the western sector and arid in the eastern sector. The future zoogeographical analyses of the butterflies of Chile must include the altitudinal species distribution, corroborated with the species range in the neighboring countries - Perú, Bolivia and Argentina - in order to establish the endmicity level and to generate conservation measures.

Key words: Zoogeography, Butterflies, Lepidoptera (Papilionoidea and Hesperioidea), Chile.

INTRODUCCIÓN

Los lepidópteros, mariposas diurnas y nocturnas, son considerados como uno de los grupos más conocidos entre los animales invertebrados; su riqueza de especies aún no se conoce con exactitud. Laithwaite *et al.* (1975) estimaron que se han descrito unas 165 000 especies, mientras que Gaston

(1991) da una cifra de 500 000 como límite superior de las especies que podrían encontrarse. Aun aceptando como límite inferior la cifra de 146 000 consideradas como válidas por Heppner (1998), los lepidópteros constituyen un grupo dominante en la fauna terrestre y representan un 10 % de las especies de animales hasta ahora descritas. Las mariposas diurnas, o sea los representantes de las super-familias Hesperioidea y Papilionoidea, representan cerca de la décima parte del total de lepidópteros y un uno por ciento de la fauna descrita.

Los lepidópteros presentan una ecología muy diversa. A pesar de que desde el punto de vista de su posición en la dinámica trófica de los ecosistemas la gran mayoría de ellos son consumidores primarios (fitófagos); excepcionalmente unos pocos son detritofagos e incluso, carnívoros. A pesar de la uniformidad trófica, existe entre ellos una interesante diversidad en las estrategias de explotación y repartición de los recursos.

Las larvas de las mariposas diurnas se alimentan de vegetales. Las plantas sintetizan diversas sustancias químicas para protegerse de los animales herbívoros, y las larvas, a su vez, utilizan variadas estrategias para sobrepasar esas „barreras químicas”. Entre los lepidópteros se constata la presencia de varios tipos de especializaciones alimentarias. Existen especies monófagas, que consumen sólo una especie de planta; oligófagas, que consumen unas pocas plantas emparentadas desde el punto de vista de su equipamiento químico y polífagas, que se alimentan de numerosas especies de plantas, incluso no emparentadas entre ellas. Los adultos juegan un rol importante en la polinización de las plantas con flores, se alimentan con su néctar y transfieren el polen entre las plantas.

Los lepidópteros son, además, un importante eslabón de las cadenas tróficas, el aspecto más relevante en la etapa de larva cuando son presa de los animales insectívoros.

Además de la importancia ecológica, las mariposas presentan importancia utilitaria, siendo eficientes bioindicadores del estado del medio ambiente. Estando relacionadas íntimamente con las plantas de las que se alimentan, y al tener un ciclo de vida corto- al menos una generación por año- las mariposas se pueden usar como indicadores de los estados de degradación de las comunidades terrestres o de la intensidad de las presiones antrópicas sobre ellas (Scoble 1992). Los bioindicadores son especies o grupos de organismos capaces de reflejar el estado de conservación de un área, además de dar indicios sobre su riqueza de especies, su diversidad, su riqueza de endemismos y de la intensidad del impacto antrópico (Coddington *et al.* 1991, Brown 1991, Colwell 1994, Colwell y Coddington 1996, Pearson 1994).

Los lepidópteros han demostrado ser especies muy útiles tanto para los inventarios de biodiversidad (Kremen *et al.*, 1993; Kremen 1994), como para el monitoreo de los impactos ambientales (Holloway 1985). En un estudio sobre la distribución espacial de la riqueza de especies de mariposas en Canadá, Kerr (2001) constató que ella estaba fuertemente relacionada con el clima- por lo que se muestra que son sensibles a los cambios globales del clima- y con la heterogeneidad de los habitats, por lo que muestran ser vulnerables también a los impactos ambientales de origen antrópicos, especialmente aquellos que tienden a homogenizar las condiciones naturales. Por ejemplo el areal de 40 especies de mariposas diurnas boreales de Europa se ha expandido hacia el norte, extensión de rango que se puede relacionar con el calentamiento global del planeta (Kukal *et al.* 1991, Parmesan 1996, Parmesan *et al.* 1999).

Las modificaciones en los patrones de distribución de los taxones han sido, por lo general, atribuidas a la pérdida de hábitats apropiados o a su fragmentación (Swengel 1998; Kerr *et al.* 2000, Cane 2001). Las modificaciones cada vez más evidentes del clima están siendo consideradas como una de las responsables de las alteraciones en la distribución espacial de los organismos vivos (Pollard *et al.* 1996, Mikkola 1997, TARRIER y Leestmans 1997, Fleishman *et al.* 1998). Existe, al menos, evidencia empírica que sugiere que la variabilidad regional de la riqueza de especies esta fuertemente relacionada con la variación de la energía „climática” (Wright 1983, Currie 1991, Wright *et al.* 1993), estas variaciones explicarían entre 69 y 90 % de las variaciones de la riqueza de especies que se obtiene al comparar ecosistemas „cálidos” con „fríos”, a éstas se sumarían otras influencias relacionadas con la

heterogeneidad de los hábitats (Kerr y Packer 1997, Fraser 1998). Las particularidades observadas en relación con la distribución de las mariposas en Canadá, tienen un correlato en estudios relacionados con organismos como los coleópteros-Cicindelidae (Kerr y Currie, 1999), los mamíferos (Kerr y Packer 1997) y los pájaros (Currie 1991).

Los lepidópteros diurnos, especialmente aquellos de mayor tamaño y particularmente aquellos incluidos entre los Rhopalocera, son buenos ejemplos de especies bioindicadoras ya que alcanzan buenos resultados de acuerdo con los parámetros enunciados por Pearson (1994):

1. Su biología y taxonomía están bien estudiadas.
2. Son especies relativamente fáciles de identificar y manipular, tanto en terreno, como en laboratorio.
3. Las poblaciones son regularmente abundantes, estables y generalmente sedentarias en la escala de los estudios de ecosistemas.
4. Presentan una amplia diversidad ecológica.
5. Poseen un ciclo de vida corto. Muchas especies son polivoltinas, otras son anuales y sólo unas pocas tienen ciclos más largos.
6. Tienen una importante sensibilidad a los cambios ambientales y, al mismo tiempo, gran fidelidad a sus hábitats.

En conclusión, los lepidópteros en general y los Rhopaloceros, en particular, son buenos candidatos para seleccionarlos en trabajos relacionados con estudios de caracterización y monitoreo de la biodiversidad de un sitio o ambiente.

El objetivo de este trabajo es analizar desde el punto de vista de la zoogeografía la fauna de lepidópteros diurnos de Chile (Lepidoptera: Papilionoidea y Hesperioidea). Se busca determinar la existencia de patrones de distribución de especies que permitan caracterizar su distribución regional.

METODOLOGÍA

Información base

La información utilizada en los análisis tiene como base la presentada por Peña y Ugarte (1996). Estos realizan una revisión taxonómica de los lepidópteros diurnos del país, y acompañan para cada especie, información sobre su distribución en las regiones administrativas del país. Para efectos del análisis es importante señalar que éstas siguen un patrón latitudinal N-S. Para este análisis se conservó la división antigua del país en 12 Regiones más la Región Metropolitana.

También se estudiaron las colecciones de lepidópteros del Museo Nacional de Historia Natural de Santiago y se realizaron algunas observaciones en terreno.

En el análisis no se consideró a las subespecies salvo que en Chile exista una subespecie distinta a la típica, o a que existan subespecies no simpátricas, cuya existencia resulta relevante para el análisis zoogeográfico.

Análisis de los datos

El análisis de los datos se hizo con la ayuda del paquete de programas ADE4 (Thioulouse *et al.*, 1997), cuya documentación se puede consultar en el sitio URL: <http://biomserv.univ-lyon1.fr/sitelabo/index.php>. Se han utilizado dos acercamientos complementarios: una ordenación en espacio reducido (usando el método del análisis de correspondencias) y una clasificación automática (“clustering”). El análisis de correspondencia (CoA) es un método de ordenación de datos en un espacio reducido: las entidades que se analizan se ordenan sobre los ejes de mayor variabilidad y permiten la estructuración de una nube inicial de datos en un espacio con menos dimensiones y más sencillo de interpretar. Los métodos de clasificación automáticos generan representaciones gráficas con forma de árbol (dendrogramas) que agrupan en “clusters” objetos en función de su grado de similitud. Los

módulos de software utilizados y los procedimientos de cálculo se detallan en la sección resultados y la discusión.

RESULTADOS

Peña y Ugarte (1996) señalan la presencia de 169 especies de mariposas diurnas para Chile distribuidas en las 13 regiones administrativas en las que está dividido el país. Si se agregan algunas de las subespecies cuyo areal presenta claras diferencias respecto del de la subespecie típica, se obtiene un cuadro con las mariposas diurnas de Chile (Cuadro 1 y Figura 1). El cuadro que comprende 172 filas, que representan a los taxones, y 13 columnas, que representan a las regiones administrativas, fue transformado en un cuadro con datos binarios donde la presencia en una región se anotó como 1 y la ausencia, como 0. El análisis posterior con el paquete ADE4 se realizó a partir de este cuadro. Desde un punto de vista matemático este tipo de análisis corresponde a la de una “tabla de contingencia”. El análisis multivariado aplicado a esta matriz de datos es de tipo exploratorio y tiene como objeto poner en evidencia ciertas estructuras de la fauna codificadas en la matriz. La interpretación de dichas estructuras queda a juicio del especialista.

CUADRO 1. Distribución de las especies de mariposas diurnas en Chile (Peña y Ugarte 1996). Las regiones administrativas se indican mediante cifras (1-5, 6-9), o letras (M – Región Metropolitana; A, X Región, B, XI y C, XII).

N° asignado a la especie	Sub-especie	Género/ Familia	Especie/ Subfamilia	Subespecie	12345M6789ABC
		Hesperiidae	Pyrginae		
1		<i>Urbanus</i>	<i>dorantes</i>		1-----
2			<i>proteus</i>		1-----
3		<i>Polythrix</i>	<i>octomaculatus</i>		1-----
4		<i>Pyrgus</i>	<i>barrosi</i>		-2-----
5			<i>bochoris</i>	<i>tresignatus</i>	12345M678---
6			<i>communis</i>	<i>chloe</i>	1-----
7			<i>fides</i>		12345M-----
8			<i>limbata</i>	<i>limbata</i>	12-----
9	b		<i>notatus</i>	<i>valdivianus</i>	-----8-A--
9	a		<i>notatus</i>	<i>notatus</i>	-----M678---
10			<i>oileus</i>	<i>oreus</i>	1---M-----
11		<i>Heliopyrgus</i>	<i>americanus</i>		--345M678---
12		<i>Erynnis</i>	<i>funeralis</i>		--345M6789---
			Hesperiinae		
13		<i>Butleria</i>	<i>flavomaculata</i>		---45M6789AB-
14			<i>panisoides</i>		---45M6789AB-
15			<i>elwesi</i>		-----M6789A--
16			<i>quilla</i>		-----M6789AB-
17			<i>fruticolens</i>		-----5M6789A--
18			<i>sotoi</i>		-----5M678---
19			<i>philippi</i>		-----89A--

20			<i>bisexguttata</i>		---5M6789A--
21		<i>Argopteron</i>	<i>aureipennis</i>		-----89A--
22			<i>aureum</i>		-----7----
23			<i>puelmae</i>		-----789AB-
24		<i>Hylephila</i>	<i>ancora</i>		1-----
25			<i>boulleti</i>		12-----
26			<i>fasciolata</i>		--345M6789ABC
27			<i>isonira</i>	<i>mima</i>	1-4-----
28			<i>phyleus</i>	<i>basistrigata</i>	1-----
29			<i>signata</i>		--345M6789ABC
30	a		<i>venusta</i>	<i>venusta</i>	--34-----
30	b		<i>venusta</i>	<i>haywardi</i>	-----89AB-
31		<i>Lerodea</i>	<i>euphala</i>	<i>conceptionis</i>	--345M6789A--
32			<i>gracia</i>		1-----
33		<i>Quinta</i>	<i>cannae</i>		1-----
34		<i>Calpodes</i>	<i>ethlius</i>		----M-----
35		<i>Nyctelius</i>	<i>nyctelius</i>		1-----
		Pieridae	Coliadinae		
36		<i>Colias</i>	<i>flaveola</i>		---45M6-----
37			<i>mendozae</i>		---5-----
38			<i>blameyi</i>		-2-----
39			<i>weberbaueri</i>		1-----
40			<i>lesbia</i>		-2-----8-A-C
41			<i>vauthierii</i>		--345M6789A--
42		<i>Zerene</i>	<i>caesonia</i>	<i>caesonides</i>	1-----
43		<i>Phoebis</i>	<i>sennae</i>	<i>amphitrite</i>	--345M6789A--
44		<i>Terias</i>	<i>deva</i>	<i>chilensis</i>	--345M-----
45		<i>Tericolias</i>	<i>zelia</i>	<i>kuscheli</i>	1-----
			Pierinae		
46		<i>Eroessa</i>	<i>chilensis</i>		-----789AB-
47		<i>Mathania</i>	<i>leucothea</i>		---45M6789A--
48		<i>Pieris</i>	<i>brassicae</i>		---4-----
49		<i>Tatochila</i>	<i>distincta</i>	<i>fieldi</i>	-2-----
50			<i>mariae</i>		-2-----
51			<i>inversa</i>	<i>razmiliei</i>	-2-----
52			<i>autodice</i>		12345M6789A--
53			<i>mercedis</i>		--345M6789A--
54			<i>theodice</i>		----M6789ABC
55		<i>Hypsochila</i>	<i>galactodice</i>		-----89---
56			<i>huemul</i>		-----9-B-
57			<i>penai</i>		-2-----

58			<i>argyrodice</i>		-----C
59			<i>wagenknechti</i>		12345M67----
60			<i>microdice</i>		-----C
61		<i>Phulia</i>	<i>nymphula</i>		12345M-----
62	a	<i>Pierphulia</i>	<i>rosea</i>	<i>rosea</i>	-2-----
62	b		<i>rosea</i>	<i>maria</i>	1-----
63			<i>isabella</i>		--3-----
64		<i>Infraphulia</i>	<i>ilyodes</i>		1-----
		Papilionidae			
65		<i>Battus</i>	<i>polydamas</i>	<i>archidamas</i>	--345M678----
		Lycaenidae		Theclinae	
66		<i>Strymon</i>	<i>eurytulus</i>		--345M6789A--
67			<i>davara</i>	<i>joannisi</i>	1-----
68			<i>sapota</i>		1-----
69			<i>crambusa</i>		1-----
70			<i>peristictos</i>		--3--M-----
71			<i>daraba</i>		1-----
72		<i>Ministrymon</i>	<i>azia</i>		--3-----
73			<i>quebradivaga</i>		1-----
74		<i>Chlorostrymon</i>	<i>kuscheli</i>		1-----
75			<i>larancagua</i>		1-----
76			<i>chileana</i>		----M-----
77		<i>Thergissima</i>	<i>shargeli</i>		----M-----
78		<i>Calycopis</i>	<i>valparaiso</i>		---5-----
79		<i>Eiseliana</i>	<i>flavaria</i>		12-----
80			<i>rojasi</i>		-2-----
81			<i>bicolor</i>		--345M678----
82			<i>probabila</i>		---5M6-----
83		<i>Heoda</i>	<i>wagenknechti</i>		--34-----
84			<i>suprema</i>		-----B-
85			<i>shapirooi</i>		-----7-----
86			<i>atacama</i>		---4-----
87			<i>nivea</i>		--4--7--B-
88			<i>erani</i>		1-----
89		<i>Abloxurina</i>	<i>muela</i>	<i>putreensis</i>	1-----
90		<i>Pontirama</i>	<i>coquimbensis</i>		---4-----
91		<i>Ramma</i>	<i>chilensis</i>		1-----
92		<i>Shapiroana</i>	<i>herrerae</i>		--3-----
93		<i>Rekoa</i>	<i>palegon</i>	<i>cyrriana</i>	1-----
94		<i>Panaincisalia</i>	<i>oribata</i>		1-----
95			<i>patagonaevaga</i>		-----B-

			Polyommatainae		
96		<i>Itylos</i>	<i>titicaca</i>		12-----
97		<i>Hemiargus</i>	<i>ramona</i>		12-----
98		<i>Nabokovia</i>	<i>faga</i>		1-----
99			<i>ada</i>		--3-----
100		<i>Leptotes</i>	<i>trigemmatius</i>		12345M-----
101		<i>Pseudolucia</i>	<i>collina</i>		--45M678---
102			<i>charlotte</i>		-----6-----
103			<i>benyamini</i>		---45-----
104			<i>lyrnessa</i>		--45M678---
105			<i>hazeorum</i>		--45M678---
106			<i>clarea</i>		---4-----
107			<i>plumbea</i>		----M678----
108			<i>annamaria</i>		--345M67-----
109			<i>scintilla</i>		---4-----
110			<i>vera</i>		-----9---
111			<i>chilensis</i>		--345M6-----
112			<i>lanin</i>		-----A--
113			<i>andina</i>		---45M6789AB-
114			<i>avishai</i>		---4-----
115			<i>asafi</i>		---4-----
116			<i>magellana</i>		-----C
117			<i>sibylla</i>		--4-----
118			<i>penai</i>		--4-----
119			<i>aureliana</i>		--3-----
120			<i>oligocyanea</i>		-2-----
121			<i>argentina</i>		----M-----
122		<i>Madeleinea</i>	<i>ludrica</i>		1-----
123			<i>pelorias</i>		-2-4-----
124			<i>sigal</i>		1-----
		Nymphalidae	Danainae		-2-4-----
125		<i>Danaus</i>	<i>plexippus</i>	<i>erippus</i>	1--4-M-7--A--
			Satyrinae		1--4-M-7--A--
126		<i>Argyrophorus</i>	<i>argenteus</i>		---45M6789AB-
127			<i>monticolens</i>		-----8----
128			<i>williamsianus</i>		-----C
129			<i>penai</i>		-2-----
130			<i>gustavi</i>		12---6-----
131		<i>Cosmosatyrus</i>	<i>chilensis</i>		--345M6789ABC
132			<i>leptoneuroides</i>		---45M6789ABC
133		<i>Faunula</i>	<i>leucoglene</i>		12345M678----

134			<i>patagonica</i>		-----AB-
135		<i>Tetraphlebia</i>	<i>germaini</i>		----M678----
136			<i>stelligera</i>		--45M6789A--
137		<i>Neosatyrus</i>	<i>ambiornix</i>		-----A--
138		<i>Homeonympha</i>	<i>vesagus</i>		----5M678----
139			<i>boisduvali</i>		---45M6789ABC
140			<i>humilis</i>		-----89A--
141		<i>Neomaenas</i>	<i>caenonymphina</i>		---5-6-----
142			<i>edmondsi</i>		-----89A--
143			<i>fractifascia</i>		-----89A--
144			<i>inornatus</i>		----5M6789A--
145			<i>janiroides</i>		--45M6789A--
146			<i>monachus</i>		-----89AB-
147			<i>poliozona</i>		-----9A--
148			<i>servilia</i>		----5M678----
149			<i>simplex</i>		-----789---
150			<i>wallengreni</i>		-----89A--
151		<i>Pamperis</i>	<i>poaeneis</i>		-----8-A--
152		<i>Auca</i>	<i>coctei</i>		---45M6789AB-
153			<i>delessei</i>		--45M-----
154			<i>pales</i>		----5M6789A--
155		<i>Spinanthena</i>	<i>tristis</i>		-----789A--
156		<i>Elina</i>	<i>montroli</i>		----5M6789A--
157			<i>vanessoides</i>		-----89A--
158		<i>Nelia</i>	<i>calvertii</i>		-----78----
159			<i>nemyroides</i>		----M6789A--
			Heliconiinae		
160		<i>Dione</i>	<i>glycera</i>		1-----
161		<i>Agraulis</i>	<i>vanillae</i>		1-----
162		<i>Yramea</i>	<i>cytheris</i>		----M6789ABC
163			<i>lathonoides</i>		--345M6789ABC
164			<i>modesta</i>		---45M6789A--
165		<i>Euptoieta</i>	<i>claudina</i>	<i>hortensia</i>	--45M6789A--
			Nymphalinae		
166		<i>Junonia</i>	<i>vestina</i>	<i>livia</i>	1-----
167		<i>Vanessa</i>	<i>carye</i>		12345M6789ABC
			Libytheinae		
168		<i>Lybitheana</i>	<i>terpsichore</i>		---45M6789ABC
169			<i>carineta</i>	<i>carineta</i>	-----8----

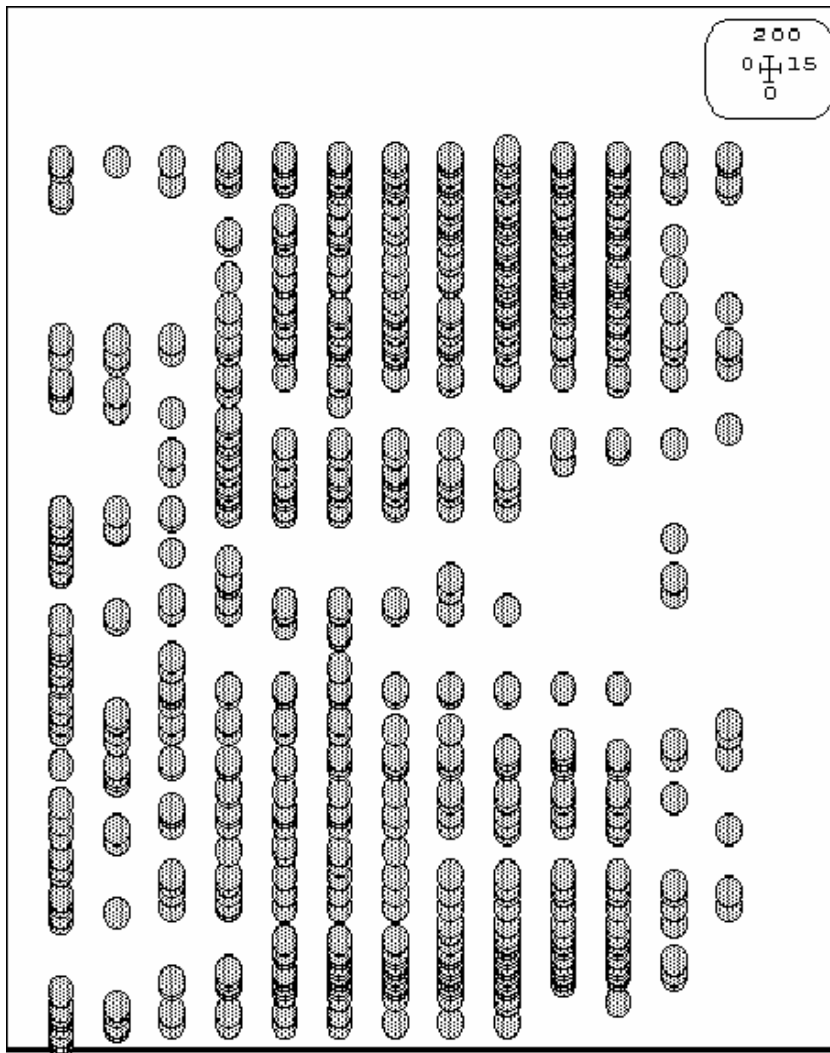


FIGURA 1. Representación gráfica de la tabla de contingencia.

Cada punto muestra la presencia de un taxon en una región administrativa; las ausencias se indican con los espacios en blanco. La matriz de 172 filas (taxones – especies o subespecies Cuadro 1) y 13 columnas que representan las 13 regiones administrativas de Chile. La representación gráfica que se muestra se obtuvo mediante el módulo *Tables: values* del paquete de programas ADE4 (Thioulouse *et al.* 1997).

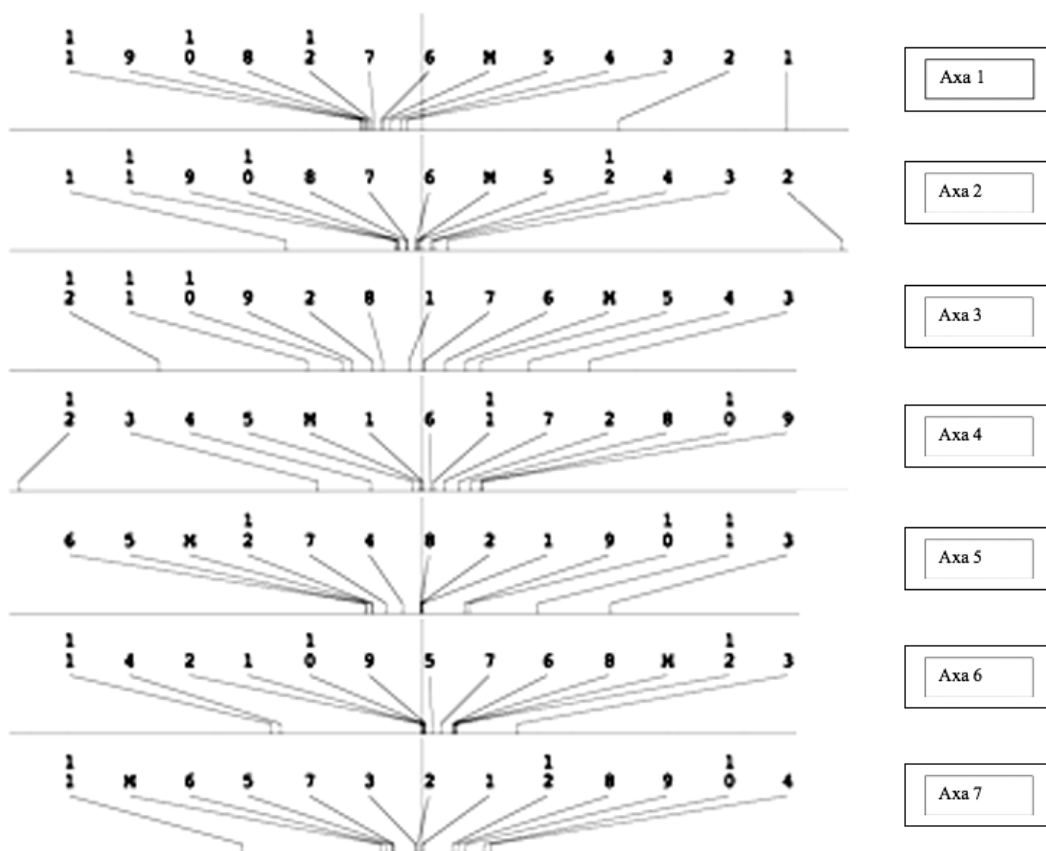


FIGURA 3. Posicionamiento de las regiones chilenas en función de los resultados obtenidos en los primeros 7 ejes del análisis de correspondencias aplicado al Cuadro de la fauna

La Figura 3 fue obtenida luego de aplicar la opción COA: correspondence analysis sobre la tabla de presencia-ausencia; el *score* de los areales sobre los primeros siete ejes se representa en el gráfico con la ayuda de la opción Graph 1D: *labels*. Sobre el primer eje (arriba) se observa que las Regiones I y II se encuentran aisladas del resto de las regiones del país y, además, entre ellas; el segundo muestra la misma relación; el tercero, una clara sucesión latitudinal N-S para las Regiones desde la III a la XII, mientras las I y II quedan de nuevo aisladas; el cuarto segrega netamente a la XII Región (distanciada también en el tercer eje), mientras que el resto de las Regiones se ordenan en un gradiente de latitud, excepto la I y II, a las que se agrega esta vez la XI, que no se alinea con ninguna de sus vecinas; resulta interesante, además, que los resultados obtenidos del análisis COA posicionan a las regiones del norte en la vecindad de la XII en lugar de relacionar a ésta con sus vecinas del sur. Los ejes siguientes del quinto al séptimo, presentan mayores dificultades de interpretación aunque dejan observar una agrupación de las regiones centrales (V-VIII y Metropolitana) mientras que el resto mantiene sus posiciones de los ejes anteriores.

Los gráficos de las figuras 4-5 se obtuvieron mediante la aplicación de la opción Scatters: labels a los resultados obtenidos mediante el análisis de correspondencia. En la figura 4-A se observa que sobre los ejes factoriales 1 y 2 se distinguen claramente tres patrones de distribución, las Regiones I y II están aisladas entre ellas y en relación con las demás. En la Figura 4-B se muestra más en detalle la situación, allí se representan solamente las últimas once regiones. Se observa que en las Regiones entre la III y la IX el gradiente de similitud norte-sur es muy evidente y que las Regiones X-XI y XII presentan una posición algo discordante y forman dos subgrupos: X-XI y XII. Los ejes 2 y 3, mostrados en las figuras 5 y 6 segregan de forma aún más clara las Regiones I y II y disponen a las demás en un grupo donde el gradiente latitudinal es evidente.

Los dendrogramas obtenidos a partir del análisis de cluster se muestran en las figuras 7 y 8. Ellos confirman y matizan los resultados del análisis de correspondencias.

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante la aplicación del índice de Jaccard, obtenido del programa en el módulo *Distances: binary dissimilarity*, el que se aplicó a la tabla binaria; después se calculó y graficó la distancia euclidiana (el coeficiente S3 en Gower & Legendre, 1986):

$$s = a/(a+b+c) \quad d = \sqrt{1 - s}$$

donde s = similitud entre las composiciones de la fauna de las dos áreas a comparar, a = el número de especies de la primera área, b = el número de especies de la segunda, c = el número de especies presente en ambas áreas, d = la distancia entre las composiciones de la fauna entre las dos áreas, $\sqrt{\quad}$ = la raíz cuadrada. Las distancias euclidianas se calcularon con la opción *Distances: to clusters*. El coeficiente de Jaccard es el más adecuado para datos binarios dado que no introduce distorsiones (ponderaciones apriorísticas) en los resultados y no considera las ausencias dobles que no son interpretables en el contexto del estudio. El paso siguiente consta en calcular la jerarquía con la opción *Clusters: compute hierarchy*. Se ensayaron las cuatro opciones del módulo: encadenamiento simple, encadenamiento promedio, encadenamiento completo y el momento de segundo orden de Ward. Sólo la primera y la última de las opciones presentaron buenos resultados. Estos se muestran en gráficos realizados por el módulo *dendrograms*.

La jerarquía obtenida mediante la opción de encadenamiento simple (Figura 7) valida los resultados del análisis de correspondencias (COA): las Regiones I y II se oponen netamente al resto entre las que se obtienen subgrupos basados en su proximidad geográfica. El gradiente norte-sur queda claramente en evidencia en el cladograma. El análisis con el método de Ward (Figura 8) sugiere la existencia de 4 tipos de agrupación: dos formados por las Regiones extremas: I-II y XI-XII, respectivamente y otros dos formados por las regiones centrales ordenadas netamente en un gradiente N-S, con un sub-grupo formado por las Regiones VIII a X, y otro por las Regiones III-VII. Estos grupos pueden considerarse como subdivisiones de los dos grupos mayores obtenidos en el análisis de correspondencias: los formados por las Regiones I-II y III-XII.

FIGURA 4. Mapa factorial con el ordenamiento de los areales de distribución (Regiones de Chile I a XII) que figuran en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias (A); detalle de la zona R3-12 (B).

Los gráficos se obtuvieron aplicando la opción “*Scatters: labels*” a los resultados obtenidos del análisis de correspondencias (COA: *Correspondence analysis*). En A se distinguen claramente tres grupos de tipos de distribución (areales): Las Regiones I y II están aisladas entre ellas y también en relación con las demás regiones. En el mapa factorial que se muestra en el detalle (B) están representadas solamente las últimas once regiones. Para las Regiones III a IX el gradiente N-S es muy evidente, las últimas tres regiones (X-XII) se ubican en una posición algo discordante por lo que forman eventualmente dos sub-grupos donde la X y la XI se separan de la XII.

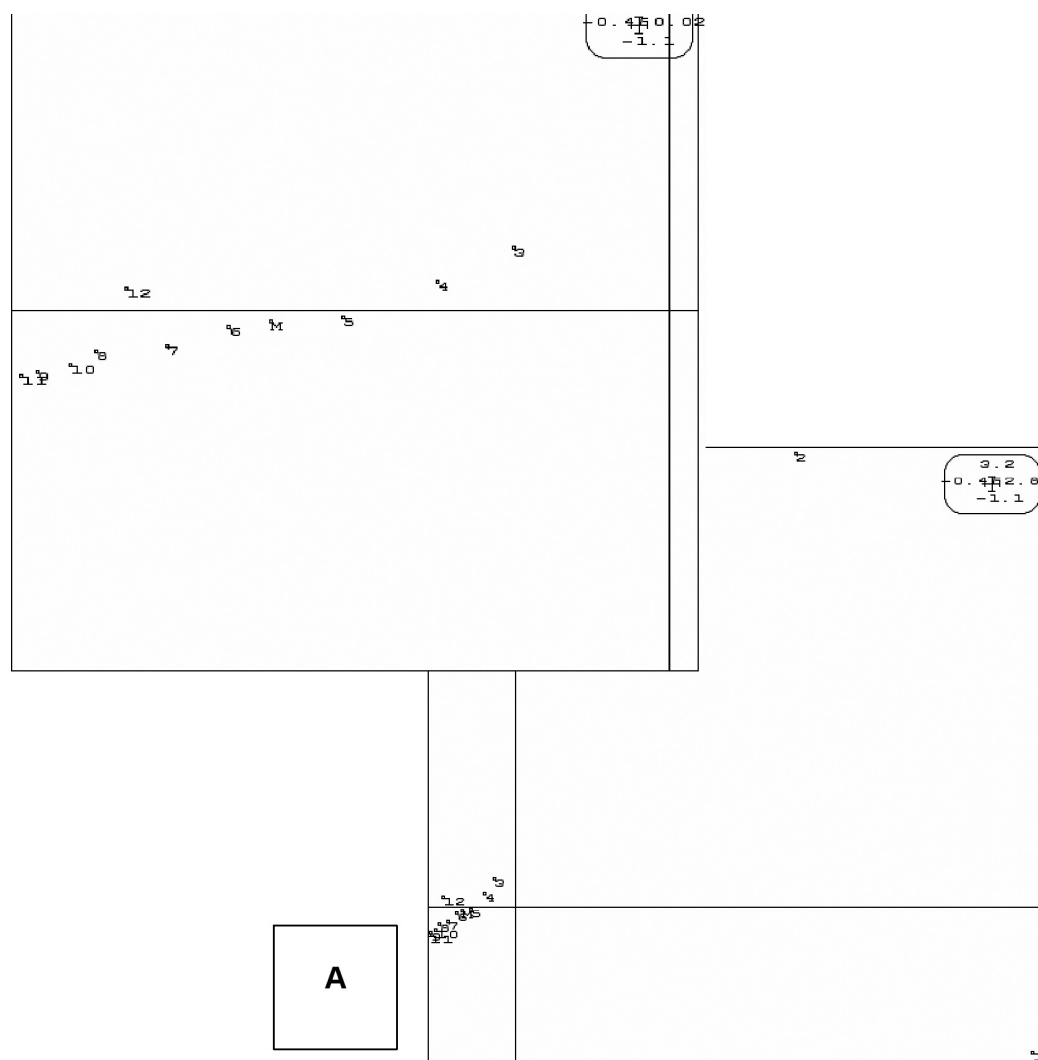


FIGURA 5. Resultados de la ordenación de las Regiones (I-XII) en los ejes 1 y 2 del análisis de correspondencias (COA).

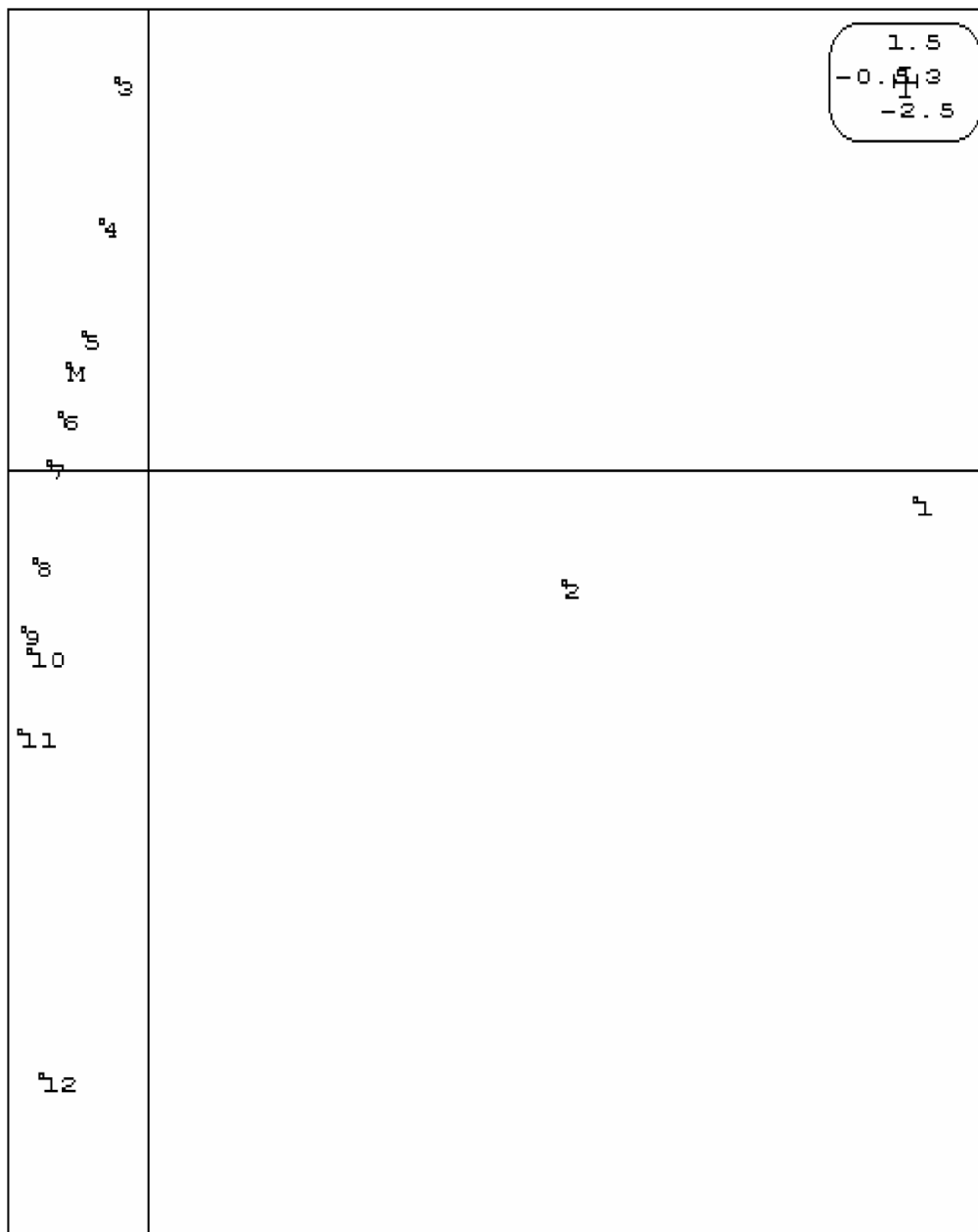


FIGURA 6. Resultados del factorial con la ordenación de las regiones en los ejes 2-3 del análisis de correspondencias (COA).

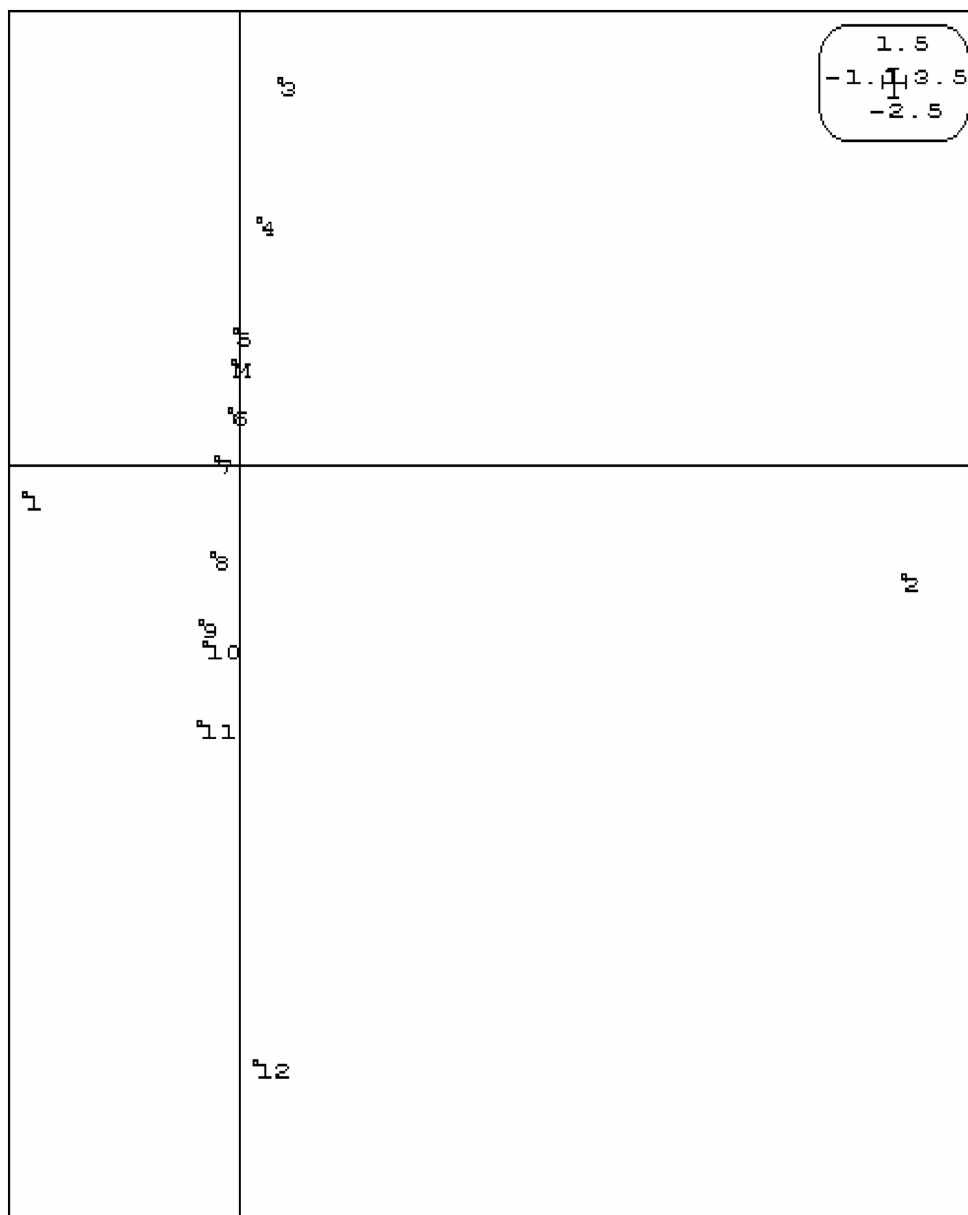


FIGURA 7. Dendrograma de las regiones administrativas de Chile agrupadas en función de la fauna de mariposas diurnas sobre la base de un ordenamiento jerárquico obtenido por el método del "encadenamiento simple" aplicado a las distancias euclidianas resultadas de la aplicación del índice de similitud de Jaccard.

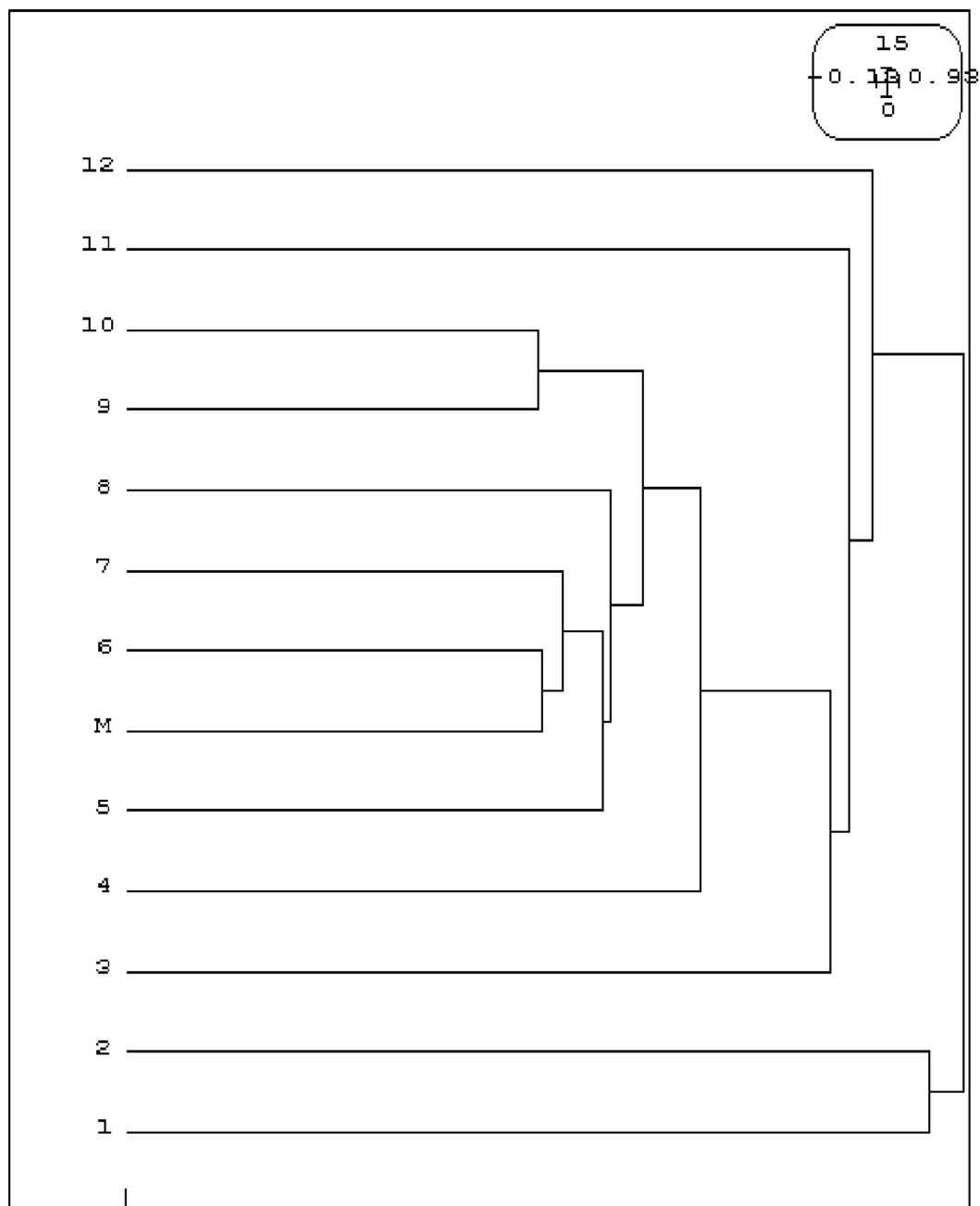
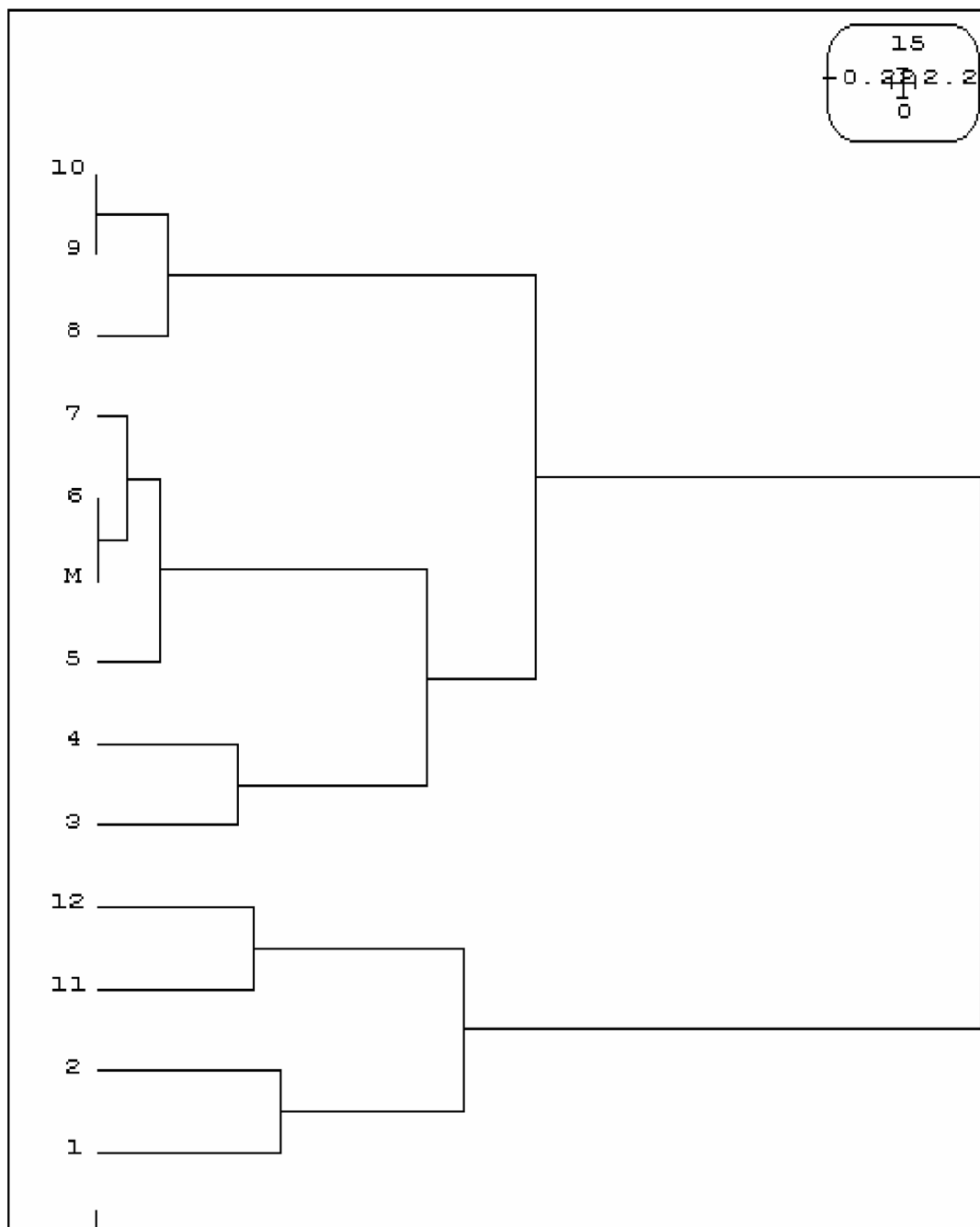


FIGURA 8. Dendrograma de las regiones administrativas de Chile agrupadas con base en una jerarquía obtenida mediante el método de Ward (momento de orden 2) aplicado a las distancias euclidianas obtenidas mediante la aplicación del índice de similitud de Jaccard.



DISCUSIÓN

El análisis de la distribución geográfica de la fauna de lepidópteros diurnos de Chile, por regiones administrativas muestra la formación de cuatro grupos de regiones dispuestos en un gradiente de latitud. Una primera diferenciación separa a las Regiones I y II de las demás; una segunda, agrupa desde la III hasta la VII Región y, finalmente, una tercera reúne a las regiones más australes: la XI y la XII.

La primera agrupación zoogeográfica de especies, la de las Regiones I y II, coincide con la distribución territorial del bioclima tropical (Di Castri y Hayek 1976). En términos de la vegetación, su correlato corresponde a la presencia en la precordillera y en los valles de la I Región de tipos de vegetación similares a los del sur del Perú y ausentes al sur de la II Región (Galán de Mera 2005; Luebert y Plissock 2006). Los resultados muestran que ambas Regiones, a pesar de su similitud respecto de las demás, no representan un grupo homogéneo en cuanto a su composición de especies (Figuras 4 y 5); quizás ello sea consecuencia de la aparición, en la costa de la Región de Antofagasta (II), del clima per-árido, con precipitaciones invernales; lo que en términos de la vegetación se refleja en el establecimiento gradual de un tipo de vegetación más xerofítico, muy diferente a los del interior. Para establecer con mayor precisión el límite del territorio de la fauna tropical de altura respecto de la del desierto deberá contarse con buenos catastros regionales.

La siguiente agrupación corresponde a las Regiones III a VII, las que presentan un régimen de clima con tendencia mediterránea, con sus variantes desde per-árido hasta semi-húmedo (Di Castri y Hajek 1976). Para el caso del objeto del estudio, esta gradiente de aridez norte-sur, no implica un recambio brusco en la composición de especies. Será, entonces de particular interés, estudiar con mayor atención la expansión y retracción de los rangos de distribución de las especies hacia las Regiones de Atacama y Coquimbo en condiciones de presencia-ausencia del fenómeno de El Niño (ENSO), que se ha demostrado en otros grupos de animales que produce cambios intensos en la distribución y la abundancia de las especies. Al respecto, se podría postular que la Región de Coquimbo (IV), adyacente al límite sur del desierto, puede constituirse en “reservorio” de especies en los años de nula o muy baja pluviometría en el desierto. En términos de la vegetación, la fauna de mariposas en el área está claramente asociada con los matorrales y los bosques esclerofilos de Chile central (*sensu* Gajardo 1994).

Las Regiones de la VIII a la X se encuentran bajo un régimen mediterráneo húmedo-a per-húmedo y bajo tendencia oceánica, templado-húmeda (Hayek y Di Castri 1976). El correlato en términos de vegetación corresponde a la irrupción gradual de los bosques caducifolios y los siempreverdes de *Nothofagus* en esas regiones (Gajardo 1994; Luebert y Plissock 2006). La fauna de lepidópteros diurnos es posible que se haya diversificado y evolucionado fuertemente asociada a los bosques que existieron en forma predominante y con cobertura casi continua en ellas. Respecto de este grupo de especies, resultará interesante estudiar el efecto de la fragmentación de los bosques en la conservación de las especies y asociar, además, el efecto del uso masivo de insecticidas en la agricultura a partir de la década del 60.

Finalmente, el cuarto grupo asocia la fauna de mariposas de las regiones del extremo sur, XI y XII, ambas con un doble carácter bioclimático: árido en la vertiente oriental de los Andes y húmedo en la occidental. La vertiente occidental se encuentra bajo un clima temperado y alberga formaciones de bosques siempreverdes o caducifolios de *Nothofagus*, relacionados con los de la X Región; la oriental, presenta un clima árido, de “sombra de lluvia”, donde la vegetación corresponde a matorrales y praderas (Gajardo 1994; Luebert y Plissock 2006). Queda por analizar con más detalle las diferencias que se registran en la composición de la fauna de lepidópteros diurnos al interior de ambas regiones. Es posible que ella de cuenta de las diferencias bioclimáticas que se reflejan en la vegetación.

Resulta interesante destacar que recientemente Contreras y Torres-Mura (en prensa), en un trabajo sobre la distribución de los mamíferos no voladores en Chile, encontraron la misma separación de primer nivel jerárquico entre los mamíferos de la Región de Tarapacá y los del resto del país. El análisis coincide asimismo en que las especies del área del mediterráneo se relacionan en primer lugar con un clado de especies de los bosques temperados del sur del país; finalmente se destaca también la singularidad de la fauna de la estepa patagónica.

Para mejorar esta clasificación se sugiere abordar en adelante dos aspectos que no han sido considerados hasta ahora:

1. La variación en altitud de la fauna de lepidópteros diurnos.
2. El estudio de la diversidad de la fauna de mariposas diurnas en las regiones limítrofes como Perú y Bolivia y Argentina con el fin de determinar de mejor manera su grado de endemismo en Chile.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M.G.
1998 Utilización de las mariposas como bioindicadoras del tipo de hábitat y su biodiversidad en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, XXII (84): 407-421.
- BROWN, K. S. Jr.
1991 Conservation of neotropical environments: Insects as Indicators, p. 349-404. In: Collins, N.M., J.A. Thomas. (Eds.) *The Conservation of Insects and their habitats*. Academic Press. New York.
- CANE, J. H.
2001 Habitat fragmentation and native bees: a premature verdict? *Conservation Ecology* 5(1): 3 URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art3>.
- CODDINGTON, J. A., GRISWOLD, CH. E. , SILVA, D., PENARANDA, E. y SCOTT, S.
1991 Designing and testing samplings protocols to estimate biodiversity in tropical ecosystems, p. 44-60. In Duddley, E. C. (Ed.) *The unity of evolutionary Biology: Proceedings of the fourth International Congress of Systematic and Evolutionary Biology*. Dioscorides Press. Portland Or., 2 vols. 1048 p.
- COLWELL, R. K.
1994 Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. In Hawksworth, D. L. (Ed.): *The quantification and estimation of organismal biodiversity*. Special volume, Phil. Trans. R. Soc. London.
- COLWELL, R. K. y CODDINGTON, J.A.
1996 Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. 101-118. In Hawksworth, D. L.(Ed.): *The quantification and estimation of organismal biodiversity*. Special volume, Phil. Trans. R. Soc. London 140 p.
- CONTRERAS, L. y TORRES-MURA, J.C.
Mamíferos de Chile. *Biogeografía*. En prensa: 255-265.
- CURRIE, D. J.
1991 Energy and large-scale patterns of animal and plant species richness. *American Naturalist* 137: 27-49.
- DI CASTRI, F. y HAYEK, E.
1976 *Bioclimatología de Chile*. Ediciones de la Universidad Católica de Chile. 128 p.
- FLEISHMAN, E. G., AUSTIN, T. y WEISS, A. D.
1998 An empirical test of Rapoport's rule: elevational gradients in montane butterfly communities. *Ecology* 79: 2482-2493.
- FRASER, R. H.
1998 Vertebrate species richness at the mesoscale: relative roles of energy and heterogeneity. *Global Ecology and Biogeography* 7: 215-220.
- GAJARDO, R.
1994 *La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución geográfica*. CONAF-Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 165 p.
- GALAN DE MERA, A.
2005 *Clasificación fitosociológica de la vegetación de la región del Caribe y América del Sur*.

- Arnaldoa 12 (1-2): 86-111.
- GASTON, K. J.
1991 The magnitude of global insect species richness. *Conservation Biology* 5: 283-296.
- GOWER J.C. y LEGENDRE P.
1986 Metric and Euclidean properties of dissimilarity coefficients. *Journal of Classification* 3: 5-48.
- HEPPNER, J. B.
1998 Classification of Lepidoptera. Part 1. Introduction. - Holarctic Lepidoptera, 5 (Suppl. 1): 1-148.
- HOLLOWAY, J. D.
1985 Moths as indicator organism for categorising rain forest and monitoring change and regeneration process, : 235-242. In: A. Chadwick, A. & Sutton, S. (Eds.) *Tropical rain forest. Leeds Philosophical and literary.*
- KERR, J. T.
2001 Butterfly species richness patterns in Canada: energy, heterogeneity, and the potential consequences of climate change. *Conservation Ecology* 5(1): 10. URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art10>.
- KERR, J. T. y CURRIE, D. J.
1999 The relative importance of evolutionary and environmental controls on broad scale patterns of species richness in North America. *Ecoscience* 6: 329-337.
- KERR, J. T. y PACKER, L.
1997 Habitat heterogeneity as a determinant of mammal species richness in high energy regions. *Nature* 385: 252-254.
- KERR, J. T., SUGAR, A. y PACKER, L.
2000 Indicator taxa, rapid biodiversity assessment, and nestedness in an endangered ecosystem. *Conservation Biology* 14: 1726-1734.
- KREMEN, C., COWELL, R. K., ERWIN, T. L., MURPHY, D. D., NOSS, R. F. y SANJKAYAN, M. A.
1993 Terrestrial arthropod assemblages: Their use in conservation planning. *Conservation Biology* 7 (4): 796-808.
- KREMEN, C.
1994 Biological Inventory using target taxa. A case study of butterflies of Madagascar. *Ecological applications* 4 (3): 407-422.
- KUKAL, O., AYRES, M. P. y SCRIBER., J. M.
1991 Cold tolerance of the pupae in relation to the distribution of swallowtail butterflies. *Canadian Journal of Zoology* 69: 3028-3037.
- LAITHWAITE, E., WATSON, A. y WHALEY, P. E. S.
1975 *The Dictionary of butterflies and moths in colour*. London: Michael Joseph.
- LUEBERT, F. y PLISCOFF, P.
2006 *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile*. Editorial Universitaria.
- MIKKOLA, K.
1997 Population trends of Finnish lepidoptera during 1961-1996. *Entomologica Fennica* 8: 121-143.
- PARMESAN, C.
1996 Climate and species' range. *Nature* 382: 765-766.
- PARMESAN, C., RYRHOLM, N., STEGANESCU, C., HILL, J. K., THOMAS, C. D., DESCIMON, H., HUNTLEY, B., KAILA, L., KULLBERG, J., TAMMARU, T., TENNENT, W. J., THOMAS, J. A. y WARREN, M.
1999 Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579-583
- PEARSON, D.
1994 Selection indicator taxa for the quantitative assessment of biodiversity. 75-80. In : Hawksworth, D.L. (Ed.): *The quantification and estimation of organismal biodiversity*. Special volume, Phil. Trans R. Soc. London 140 p.
- PEÑA, L. E. y UGARTE A. J.
1996 *Las mariposas de Chile / The Butterflies of Chile*. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. 359 p.
- POLLARD, E., ROTHERY, P. y YATES, T. J.
1996 Annual growth rates in newly established populations of the butterfly *Pararge aegeria*. *Ecological Entomology* 21: 365-369.

SCOBLE, M. J.

1992 The Lepidoptera. Form, function and diversity. Oxford University Press. 409 p.

SWENGEL, A. B.

1998 Effects of management on butterfly abundance in tallgrass prairie and pine barrens. *Biological Conservation* 83: 77-89.

TARRIER, M. y LEESTMANS, R.

1997 Losses and acquisitions probably linked to the effects of global climatic warming on western Mediterranean lepidopteran fauna (Lepidoptera, Papilionoidea). *Linneana Belgica* 16: 23-36.

THIOULOUSE J., CHESSEL, D., DOLÉDEC, S. y OLIVIER, J. M.

1997 ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software, *Statistics and Computing* 7: 75-83 (Documentación disponible en URL: <http://biomserv.univ-lyon1.fr/ADE-4.html>).

WRIGHT, D. H.

1983 Species-energy theory: an extension of species-area theory. *Oikos* 41: 496-506.

WRIGHT, D. H., CURRIE, D. J. y MAURER, B. A.

1993 Energy supply and patterns of species richness on local and regional scales, 66-74 p. In R. E. Ricklefs and D. Schluter, editors. *Species diversity in ecological communities*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.

Contribución recibida: 20.04.07; aceptada: 21.08.07.