

DINÁMICA ESTACIONAL Y CARACTERÍSTICAS DE LAS COMUNIDADES DE COLLEMBOLA EN PLAYAS DE LA COSTA BRAVA (GIRONA, ESPAÑA)

Javier I. Arbea¹ & Eduard Ariza²

¹ C/ Ría de Solía 3, Ch. 39, 39610 El Astillero (Cantabria) – jarbeapo@gmail.com

² Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC), Camí de Santa Bàrbara s/n, 1730 Blanes (Girona)

Resumen: Se estudiaron las comunidades de colémbolos (Hexapoda: Collembola) de seis playas de la comarca de La Selva, Costa Brava (Girona, España), seleccionadas en función del tipo de asentamiento humano de cada una de ellas. Se han identificado un total de 16 especies, estando las comunidades de colémbolos dominadas por sólo tres especies del género *Archisotoma* que representan el 82% del total de ejemplares. La composición de especies y la abundancia total de las comunidades de colémbolos variaban en función del tipo de asentamiento humano (urbano o urbanizado) y de los distintos factores ambientales de las playas, especialmente la presencia de vegetación. Se observó una disminución de la abundancia de colémbolos en las playas urbanas respecto a las urbanizadas y a las que tienen una vegetación densa. El estudio muestra que las comunidades de colémbolos son útiles para caracterizar las distintas playas analizadas, por lo que en futuros muestreos, que se realicen de una forma más sistemática, los colémbolos podrían ser utilizados como bioindicadores de la calidad de las playas.

Palabras clave: Collembola, diversidad, distribución espacial, playas, asentamientos humanos, costa mediterránea, Girona, Península Ibérica.

Seasonal dynamics and population characteristics of Collembola communities on beaches of the Costa Brava (Girona, Spain)

Abstract: The Collembola communities (Hexapoda: Collembola) of six beaches from the La Selva district, on the Costa Brava (Girona, Spain) were studied. The beaches were selected according to the type of human settlement. A total of 16 species have been identified; the collembolan communities were dominated by only three species of the genus *Archisotoma* that represent 82% of the total of specimens. The species composition and the total abundance of the collembolan communities changed depending on the type of human settlement (urban or urbanized) and environmental factors of the beaches, particularly the presence of vegetation. A decrease in collembolan abundance was observed on urban beaches with regard to urbanized ones and to those with dense vegetation. The study shows that collembolan communities are useful to characterize beaches, so that in future samplings, carried out in a more systematic way, the Collembola might be used as bioindicators of the quality of beaches.

Key words: Collembola, diversity, spatial distribution, beaches, human settlements, Mediterranean coast, Girona, Iberian Peninsula.

Introducción

La ecología de las playas depende del clima, oleaje, vientos y mareas, exposición, dinámica supralitoral, tipo de rocas y de sedimentos, entre otras características (Brown & McLachlan, 1990). Las playas se diferencian por estas características y por consiguiente tienen diferentes elementos y procesos ecológicos. Aunque ya se han realizado estudios importantes, todavía quedan muchos aspectos sin descubrir en áreas como la zona costera mediterránea. Estudios de las comunidades de playas arenosas han considerado la influencia de la exposición y la latitud sobre la estructura faunística de las playas (Dexter, 1992). Algunos estudios han reconocido una zonación en diferentes áreas biológicas dependiendo de condiciones microclimáticas y procesos de competición, especialmente por el modo de nutrición (McLachlan & Jaramillo, 1995; Colombini *et al.*, 2002; Dugan *et al.*, 2004; Janssen & Mulder, 2005). Otros estudios han analizado la composición de la macrofauna (Brown & McLachlan, 1990) y el desarrollo de varios tipos de artrópodos bajo diferentes condiciones ambientales (Jaramillo *et al.*, 2003; Marchetti & Scapini, 2003 y Nardi *et al.*, 2003). Se ha visto que la actividad locomotora de los artrópodos depende de condiciones locales y es afectada por ciclos periódicos (fases lunares y periodos circadianos y circatidales). También se han evaluado las consecuencias del pisoteo humano sobre la macrofauna de las playas, encontrándose que un pisoteo ligero apenas afecta, pero cuan-

do el pisoteo es intenso se produce un daño sustancial en la macrofauna (Moffet *et al.*, 1998). Numerosos trabajos se han centrado en la acumulación de algas, estudiándose su influencia en la sucesión de organismos de las comunidades de las playas (Polis & Hurd, 1996; Colombini *et al.*, 2002, 2003; Dugan *et al.*, 2003 y Orr *et al.*, 2005).

Algunas investigaciones se han centrado en el valor de algunas especies como indicadores de la calidad de las playas. La pulga de arena *Talitrus saltator* se ha considerado un buen indicador de la presión turística (Fanini *et al.*, 2005) y Ketmaier *et al.* (2003) concluyen que la genética de las poblaciones de talitridos también se ve afectada por el impacto humano. En un estudio de la composición y zonación de la meiofauna de playas, Gheskiere *et al.* (2005) remarcan el valor de las comunidades de nematodos como indicadores del impacto ambiental. Algunas de las investigaciones ecológicas de las playas se han dirigido a los artrópodos del área supralitoral. Estos estudios han analizado la diversidad y la zonación de los hexápodos en áreas costeras. Entre los organismos excavadores se ha encontrado una distribución espacial (Jaramillo *et al.*, 2003) y se ha determinado que esta distribución depende de condiciones microclimáticas y de nutrición (Colombini *et al.*, 2002). En un estudio en Portugal, Abrantes *et al.* (2002) encuentran que la diversidad y equitatividad de los microartrópodos del suelo se ven afectadas tanto por factores ambientales como antropogénicos.

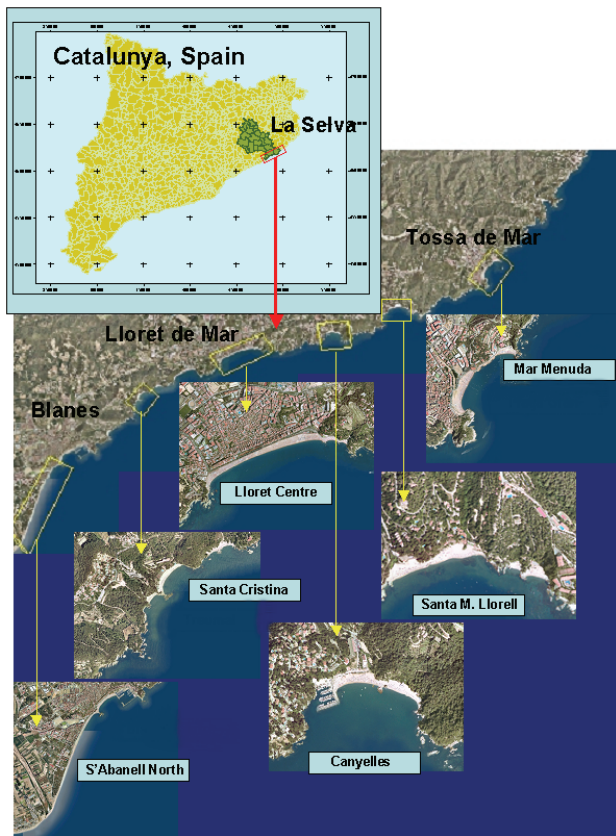


Fig. 1. Municipios y playas estudiadas en la comarca de La Selva (Girona) / **Fig. 1.** Municipalities in Selva Marítima (Girona) and selected beaches for study.

Aunque algunas especies de colémbolos encontradas en el litoral son accidentales, otras están especialmente adaptadas y pueden ser encontradas sobre las rocas de la costa o en el subsuelo litoral (Ward, 1992). No se dispone de mucha información sobre sus hábitos alimenticios, sus exigencias de hábitat o los factores que determinan su distribución (Joosse, 1976) y las poblaciones muestran considerables fluctuaciones en tamaño sin que se conozca su causa. Los estudios disponibles son principalmente taxonómicos o análisis cualitativos de las especies de colémbolos (Delamare Debutteville, 1954a, b, 1960; Fernandes & Mendonça, 2007) y análisis descriptivos de abundancia (Koehler *et al.*, 1995). También se ha considerado la influencia de la vegetación supralitoral (Romanuk & Levings, 2003), encontrándose que la abundancia de artrópodos, tanto acuáticos como terrestres, es mayor en los lugares con vegetación supralitoral, aunque es controvertido el que la composición de plantas afecte a las comunidades de colémbolos. Las causas se han asociado a una combinación de factores (diversidad y riqueza de presas, aumento de entradas alóctonas, microclima más atemperado, aumento de la complejidad del hábitat...). Otros factores que tienen influencia en la densidad de colémbolos litorales son la materia orgánica (Sterzynska & Ehrnsberger, 2000), contenido en agua y salinidad (Witteveen & Joosse, 1987). En playas arenosas se han realizado muy pocos estudios ecológicos sobre colémbolos. Varios estudios demuestran que *Archisotoma* es el género dominante en muchas zonas litorales (Christiansen & Bellinger, 1988, Sterzynska & Ehrnsberger, 2000) y se ha llegado a establecer la capacidad de dispersión por el mar (Coulson *et al.*, 2002). Los estudios de estacionalidad son

muy escasos. Maeda & Tanaka (1982) encuentran una notable variación estacional en la distribución vertical, debido principalmente a los cambios de temperatura. La influencia de la presión humana en los colémbolos litorales es desconocida, aunque se ha visto que el pisoteo afecta a su densidad (Koehler *et al.*, 1996). Aún no se ha determinado el papel de los colémbolos en los procesos de descomposición en las playas, aunque se considera que es importante en otros ecosistemas (Hopkin, 1997). Algunos autores han analizado la fauna de playas mediterráneas y concluyen que la diversidad es muy baja (Deidun *et al.*, 2002). Debido a la presión turística, muchas playas son excesivamente frecuentadas y solo quedan unas pocas con comunidades naturales típicas. Sin embargo, en estas depauperadas playas los colémbolos constituyen una parte importante de la fauna en algunos periodos del año (observación personal). Su sistemática, diversidad, interacciones ecológicas, zonación y valor como indicadores no han sido exploradas.

El propósito de este trabajo es describir las principales características de las comunidades de colémbolos en playas del norte de la costa mediterránea ibérica. Para ello se estudia la composición, diversidad, estacionalidad y las interrelaciones con el medio circundante en playas con diferentes características. Este es un primer paso en el estudio del papel ecológico de los colémbolos en playas con una fuerte presión turística, y pretende establecer su posible valor como índice de calidad de las playas.

Material y métodos

Descripción del área de estudio

Las playas estudiadas se localizan en tres municipios: Blanes, Lloret de Mar y Tossa de Mar. Son los tres municipios costeros de la comarca de La Selva (Girona), que se sitúa en el sur de la Costa Brava, en el noreste de España. Las playas tienen una típica comunidad de *Crithmo-Limonium* localizada sobre las rocas del fondo de playa. Las playas urbanas están constituidas por arena con muy poca vegetación y una diversidad faunística baja. El régimen climático es típicamente mediterráneo, con un invierno frío caracterizado por una escasa precipitación y un verano caluroso que coincide con el período seco. La precipitación típica del área ronda los 700 mm.

Se han seleccionado y estudiado seis playas (Fig. 1). En el municipio de Blanes, la primera playa es S'Abanell. La frontera entre los municipios de Blanes y Lloret de Mar es el límite sur de la playa de Santa Cristina. Hacia el norte está la playa del Centro de Lloret, localizada en el núcleo urbano de Lloret de Mar. A continuación hay una serie de construcciones recientes, como el Puerto recreativo de Canyelles, donde se encuentra la playa de Canyelles. Hacia el norte se encuentra un área rocosa y la playa de Santa María de Llorell, con campings y urbanizaciones. Más al norte está el núcleo urbano de Tossa de Mar, al norte del cual se sitúa la playa de Mar Menuda.

El área está sometida a una intensa presión turística y los gestores locales proveen a las playas de los servicios necesarios para satisfacer las expectativas de los usuarios. Las playas seleccionadas han sido clasificadas como urbanas o urbanizadas según el tipo de establecimientos humanos en los alrededores (Ariza *et al.*, 2008). Las playas urbanas son aquellas localizadas delante de núcleos urbanos. Las playas urbanizadas son las localizadas delante de áreas urbanizadas, pero

Tabla I / Table I. Principales características de las playas estudiadas; o.m.=materia orgánica, gran.=granulometría; Ucav = Urbanización con algo de vegetación. / Main features of studied beaches; o.m.=organic matter, gran.=granulometry.

Playa	Sectores	Tipo	Fondo de la playa	Exposición	Limpieza del fondo	Limpieza de la orilla	o.m.	gran.
S'Abanell	Delta	Urbana	Delta	Alta	No	No	0,54	0,90
	Serveis		Área urbana	Alta	No	No	0,72	1,50
	Creu Roja		Área urbana	Alta	No	No	0,19	1,60
Sta. Cristina	Treumal	Urbanizada	Vegetación densa	Moderada	No	No	0,20	1,10
	Sta. Cristina 1		Ucav	Moderada	No	No	0,48	0,95
	Sta. Cristina 2		Ucav	Moderada	No	No	0,14	1,50
Lloret	Lloret 1	Urbana	Urbana	Alta	Mecánica	Manual	0,08	1,95
	Lloret 2		Urbana	Alta	Mecánica	Manual	0,04	2,10
	Lloret 3		Urbana	Alta	Mecánica	Manual		
Canyelles	Canyelles 1	Urbanizada	Ucav	Moderada	No	No	0,29	0,73
	Canyelles 2		Ucav	Moderada	No	No	0,40	2,10
	Canyelles 3		Vegetación densa	Moderada	No	No	0,23	2,02
Llorell	Llorell 1	Urbanizada	Ucav	Moderada	No	No		
	Llorell 2		Ucav	Moderada	No	No		
	Llorell 3		Vegetación densa	Moderada	No	No		
Mar Menuda	Mar Menuda 1	Urbana	Urbana	Moderada	Mecánica	Manual	0,49	1,40
	Mar Menuda 2		Urbana	Moderada	Mecánica	Manual	0,49	2,00
	Mar Menuda 3		Ucav	Moderada	Mecánica	Manual	0,33	1,80

fuera de núcleos urbanos. Ambos tipos de playas son utilizados de manera intensiva para la recreación, aunque existen diferencias en cuanto al uso y prácticas de gestión.

Los sedimentos de las playas están compuestos de arena con un tamaño de grano generalmente mayor de 0,7 mm. Algunas playas urbanizadas tienen vegetación en sectores específicos del fondo de playa. Durante la temporada de baño, todas las playas son limpiadas diariamente. Por lo general, la limpieza se hace mecánicamente en el fondo de la playa y a mano en la orilla. La exposición a la acción de las olas en las playas seleccionadas es de moderada a alta. La Tabla I muestra las principales características de las playas estudiadas.

Muestreo

El estudio se centra en dos aspectos diferentes. Por un lado la estacionalidad de las comunidades de colémbolos en playas. Por otro, las diferencias de las comunidades de colémbolos en playas con distintas características ambientales.

Con el fin de detectar las variaciones estacionales en las comunidades de colémbolos, se han seleccionado dos playas: una urbana, S'Abanell, y otra urbanizada, Santa Cristina; estas dos playas se han muestreado mensualmente desde diciembre de 2003 hasta diciembre de 2004. En cada playa se han establecido tres puntos de muestreo, tomando en cada uno de ellos una muestra en el fondo de la playa y otra muestra en la orilla (a un metro de la línea de agua).

Para estudiar las características de las comunidades de colémbolos en diferentes playas, se realizó otro muestreo en seis playas durante la primavera de 2005. Se seleccionaron tres playas urbanas (S'Abanell, Lloret de Mar y Mar Menuda) y tres playas urbanizadas (Santa Cristina, Canyelles y Santa Maria de Llorell). Debido a que el fondo de la playa no es homogéneo en toda su longitud, se definieron sectores con características similares (Tabla I). En cada playa se seleccionaron tres puntos de muestreo, que también incluyen subpuntos en el fondo de la playa y en la orilla.

Los colémbolos se muestrearon de dos modos: trampas adhesivas y trampas de caída (pitfall). Las trampas permanecieron en las playas desde las 20:00 h a las 8:00 h, en los puntos seleccionados. La eficacia de esta clase de trampas para el muestreo de colémbolos ya ha sido aceptada en trabajos anteriores (Schenker & Block, 1986).

Análisis estadístico

Las densidades de las diferentes especies de colémbolos se han analizado mediante un análisis factorial de correspondencias, un método estadístico que utiliza la distancia chi-cuadrado (Ponge *et al.*, 2003). Las variables activas (principales) son las especies, cuantificadas por el número de individuos. Las variables pasivas (adicionales) son proyectadas como si hubieran sido utilizadas en el análisis, pero no influyen en modo alguno en la formación de los ejes factoriales. En el presente estudio, las variables adicionales son el tipo de playa: urbana o urbanizada (cada una codificada como uno o cero), vegetación del fondo de playa (presente=1, ausente=0), exposición (alta=1, moderada=0), limpieza de la playa: no, mecánica o manual (cada una codificada como uno o cero), materia orgánica, granulometría, abundancia total y riqueza de especies de colémbolos (valor cuantitativo).

Con el fin de dar el mismo peso a todos los parámetros, todas las variables (discretas y continuas) se transforman en $X = (x - m)/s + 20$, donde x es el valor original, m es la media de una determinada variable, y s es la desviación estándar. La adición de un factor constante de 20 a cada una de las variables estandarizadas hace que todos los valores sean positivos, ya que el análisis factorial de correspondencias trabaja sólo con valores positivos (normalmente cantidades). Como consecuencia de esta transformación, las coordenadas factoriales de las variables pueden ser interpretadas directamente en términos de su contribución a los ejes factoriales. Las variables son duplicadas para tener en cuenta la naturaleza dual de la mayor parte de los parámetros (la ausencia de una especie dada es tan importante como su presencia, los valores bajos son tan importantes como los altos para datos de medidas). Según esto, a cada variable X se asocia otra X' que varía en sentido opuesto ($X' = 40 - X$).

Resultados

Abundancia y composición de especies

La identificación de todos los organismos encontrados en las playas estudiadas nos permite distinguir 16 especies de colémbolos en el área. De ellas, tres corresponden a nuevas especies; el ya descrito *Lepidocyrtus selvaticus* Arbea & Ariza, 2007 y otras dos especies incluidas en el género

Tabla II / Table II. Abundancia media mensual de las especies de colémbolos (individuos/297 cm²) durante los períodos trimestrales del año 2004 –enero(J) a diciembre(D)– en las playas Santa Cristina y S’Abanell. Agrupamientos ecológicos (EG): M, especie restringida al litoral marino y hábitats costeros; MT, especie abundante tanto en hábitats marinos como terrestres; T, especie fundamentalmente terrestre. / *Average monthly abundance of different species of Collembola (Ind/297 cm²) for three months period during 2004 –January(J) to December(D)– in beaches of Santa Cristina and S’Abanell. Ecological grouping (EG): M, restricted to the marine littoral zone and strictly coastal habitats; MT, abundant in both marine and terrestrial habitats; T, predominantly terrestrial species.*

Código	Especie	EG	Playa S’Abanell								Playa Santa Cristina									
			Orilla				Fondo de playa				Orilla				Fondo de playa					
			J-M	A-J	J-S	0-D	J-M	A-J	J-S	0-D	J-M	A-J	J-S	0-D	J-M	A-J	J-S	0-D		
cen	<i>Ceratophysella engadinensis</i>	T					1								1139		4	123	574	70
haf	<i>Hypogastrura affinis</i>	T				1														
aca	<i>Anuridella calcarata</i>	M	1																	
bau	<i>Bilobella aurantiaca</i>	T											8							
hth	<i>Hemisotoma thermophila</i>	T											119							
hbo	<i>Halisotoma boneti</i>	M		115	6	3		29			508	458	150	16	26	931			14	
bsc	<i>Ballistura schoetti</i>	MT		2																
ar1	<i>Archisotoma sp1 gr. interstitialis</i>	M		29	2			56			945	1640	134	2						
ar2	<i>Archisotoma sp2 gr. besselsi</i>	M	243	2108		793	385	61		7	1934									
ain	<i>Archisotoma interstitialis</i>	M		616	73	35		13		5	926	4027	2808	151	779	1765	27	11		
lse	<i>Lepidocyrtus selvaticus</i>	MT						1		5						2				
sfe	<i>Seira ferrarii</i>	T		1		1														
oqu	<i>Orchesella quinquefasciata</i>	T										8			9					
eni	<i>Entomobrya nigrocincta</i>	T		1																
esc	<i>Entomobrya schoetti</i>	T				3		2				7								
ABU			244	2872	81	836	385	163	10	7	4320	7399	3092	173	937	3272	27	95		
R			2	7	3	6	1	7	2	1	5	7	3	4	4	4	1	3		
Código			(F1)	(F2)	(F3)	(F4)	(B1)	(B2)	(B3)	(B4)	(F1)	(F2)	(F3)	(F4)	(B1)	(B2)	(B3)	(B4)		

Archisotoma que serán descritas en otro trabajo. Además, *Anuridella calcarata* Denis, 1925 se ha encontrado por primera vez en España y en el Mediterráneo.

Las especies se han clasificado en tres grupos: las que aparecen exclusivamente en la zona litoral; las que se distribuyen por igual tanto en la zona litoral como en la terrestre; y las que tienen una distribución predominantemente terrestre (Tabla II). De las 16 especies encontradas, nueve son predominantemente terrestres, cinco están restringidas a la zona litoral, y dos son comunes en ambos medios.

Nueve especies están representadas por menos de 10 ejemplares. De ellas, siete son predominantemente terrestres y no están relacionadas con las comunidades marítimas: *Hypogastrura affinis* (Lucas, 1846), *Bilobella aurantiaca* (Caroli, 1910), *Orchesella quinquefasciata* (Bourlet, 1842), *Entomobrya schoetti* Stach, 1922, *Entomobrya nigrocincta* Denis, 1923, *Entomobrya multifasciata* (Tullberg, 1871) y *Seira ferrarii* Parona, 1888, y las otras dos son especies litorales raras: *Ballistura schoetti* (Dalla Torre, 1895) y *Anuridella calcarata*. De las otras siete especies, cuatro muestran preferencia por las playas arenosas: *Halisotoma boneti* (Delamare Deboutteville, 1954), *Archisotoma interstitialis* Delamare Deboutteville, 1953, *Archisotoma sp1* y *Archisotoma sp2*. Las otras tres especies, *Ceratophysella engadinensis* Gisin, 1949, *Hemisotoma thermophila* (Axelson, 1900) y *Lepidocyrtus selvaticus*, aparecen esporádicamente, y se han encontrado en gran número en lugares ricos en materia orgánica y con una vegetación densa.

Con mucha diferencia, el género más abundante en las playas arenosas es *Archisotoma*, con tres especies que representan el 82% del total de ejemplares. *Halisotoma* y *Ceratophysella* son los siguientes géneros en abundancia, con 9% y 8% del total de ejemplares respectivamente, estando cada género representado por una especie.

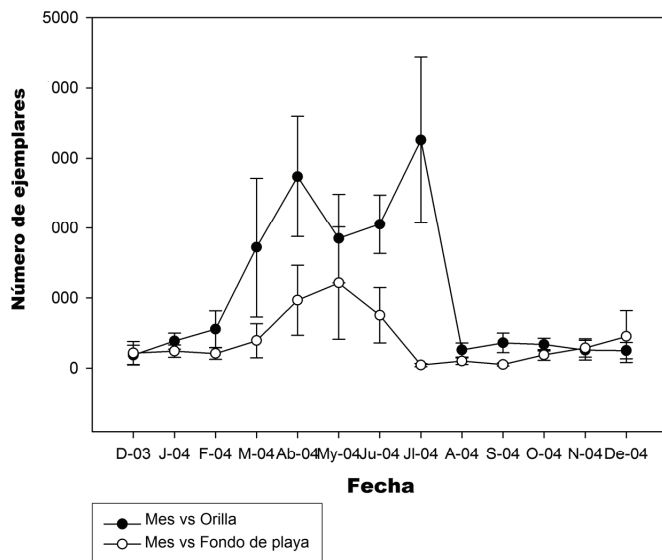
Estudio de la estacionalidad de las comunidades de colémbolos

Las diferencias estacionales en la abundancia de los colémbolos son evidentes durante el muestreo del 2004 (Fig. 2). El

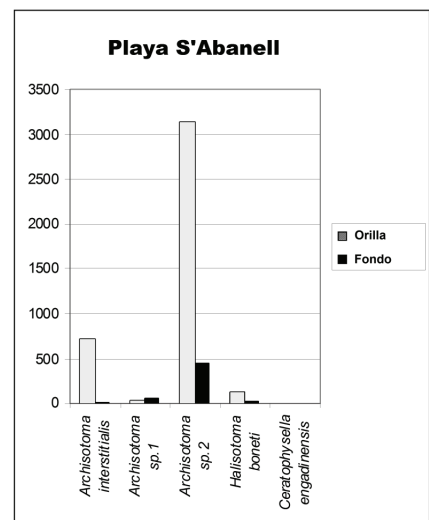
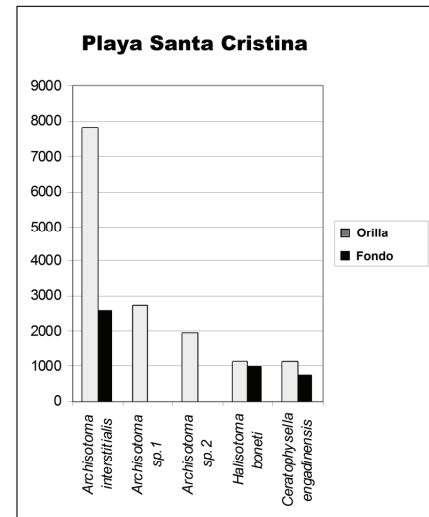
aumento de la densidad de colémbolos comienza en febrero para la orilla y en marzo para el fondo de la playa, siendo el aumento más pronunciado en la orilla. Durante el verano, la abundancia de colémbolos disminuye drásticamente. Este descenso ocurre primero en el fondo de la playa, probablemente debido a la limpieza mecánica efectuada, junto con la falta de agua y las altas temperaturas. La abundancia en la orilla aumenta entre junio y julio, y disminuye después repentinamente. Durante el otoño, la abundancia de colémbolos permanece muy baja tanto en la orilla como en el fondo de la playa. En general, se encuentran más colémbolos en la orilla que en el fondo de la playa durante la mayor parte del año. Durante el verano, esto se puede explicar en parte por la limpieza mecánica efectuada en las playas (las orillas no son limpiadas mecánicamente). Pero antes de la temporada de limpieza, que comienza en mayo, ya se encuentran diferencias significativas entre la orilla y el fondo de la playa.

En el fondo de la playa Santa Cristina (Fig. 3), *Archisotoma interstitialis* es dominante si consideramos las abundancias anuales; *Halisotoma boneti* y *Ceratophysella engadinensis* también son abundantes. En la orilla de la playa Santa Cristina también se encuentran estas tres especies, así como *Archisotoma sp1* y *Archisotoma sp2*. En la playa S’Abanell, tanto en el fondo de la playa como en la orilla, domina *Archisotoma sp2*; otras especies importantes son *Archisotoma interstitialis*, *Archisotoma sp1* y *Halisotoma boneti*.

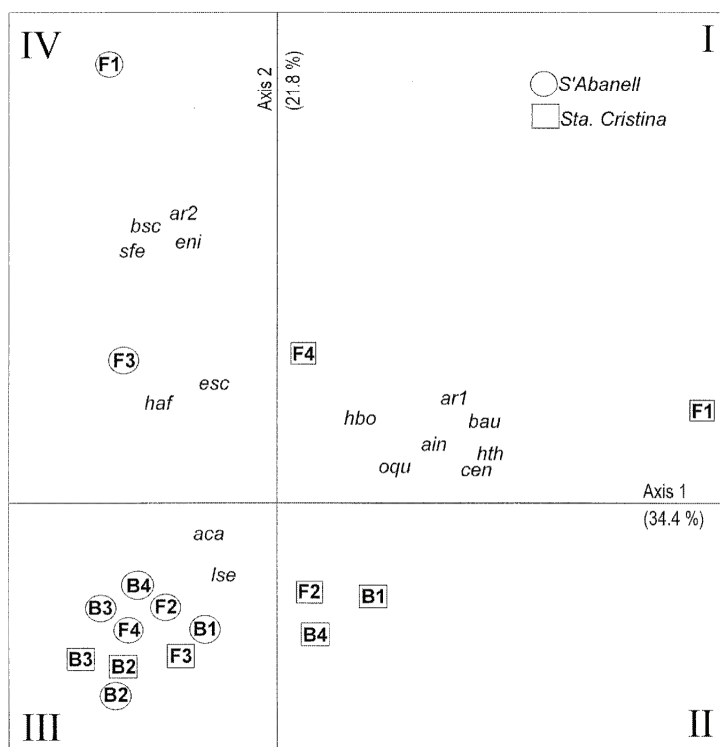
Con las 15 especies de colémbolos encontradas en las playas S’Abanell y Santa Cristina (Tabla II) se ha realizado un análisis factorial de correspondencias. El primer eje explica el 34.4% del total de la varianza y el segundo eje el 21.8%. Como se observa en la proyección de las muestras en el plano de los dos primeros ejes factoriales (Fig. 4), las muestras de la playa S’Abanell se proyectan en los valores negativos del eje 1, mientras que las muestras de la playa Santa Cristina se proyectan en los valores positivos (5 muestras) y en los negativos. Las especies típicas de la playa S’Abanell quedan próximas al origen, en los valores negativos del eje 1 (cuadrantes III y IV): *Seira ferrarii* (*sfe*), *Ballistura schoetti* (*bsc*), *Hypogastrura affinis* (*haf*), *Entomobrya nigrocincta* (*eni*),



2



3



4

Fig. 2. Variación estacional del número de ejemplares de colémbolos en las playas Santa Cristina y S' Abanell desde diciembre de 2003 a diciembre de 2004. **Fig. 3.** Abundancia de las principales especies de colémbolos de las playas Santa Cristina y S' Abanell expresada como número de ejemplares durante todo el año (diciembre de 2003 a diciembre de 2004). **Fig. 4.** Análisis factorial de correspondencias. Proyección, en el plano formado por los dos primeros ejes factoriales, de las especies de colémbolos (letras minúsculas; ver la Tabla II) y de las muestras (letras mayúsculas; F: orilla, B: fondo de la playa; 1 a 4: períodos trimestrales enero a marzo, abril a junio, julio a septiembre y octubre a diciembre, respectivamente; ver la Tabla II).

Fig. 2. Seasonal changes of the number of Collembola specimens on Santa Cristina and S' Abanell beaches from December 2003 to December 2004. **Fig. 3.** Abundance of the main species of Collembola found in Santa Cristina and S' Abanell beaches in number of specimens for the whole year (December 2003 to December 2004). **Fig. 4.** Correspondence analysis. Projection of collembolans species (small letter codes; see Table II) and beach samples (capital letter codes; F: frontbeach, B: backbeach; 1 to 4: three months periods January to March, April to June, July to September and October to December, respectively; see Table II) in the plane formed by the first two axes.

Archisotoma sp2 (*ar2*), *Anuridella calcarata* (*aca*), *Entomobrya schoetti* (*esc*) y *Lepidocyrtus selvaticus* (*lse*). Las especies típicas de la playa Santa Cristina quedan próximas al origen, en los valores positivos del eje 1 (cuadrante I): *Bilobella aurantiaca* (*bau*), *Hemisotoma thermophila* (*hth*), *Cera-*

tophysella engadinensis (*cen*), *Archisotoma* sp1 (*ar1*) y *Orchesella quinquefasciata* (*oqu*). *Archisotoma interstitialis* (*ain*) y *Halisotoma boneti* (*hbo*) se proyectan cerca del origen ya que son especies comunes a ambas playas, aunque más abundantes en las muestras de la playa Santa Cristina. El eje 2

Tabla III / Table III. Abundancia (individuos/297 cm²) de las especies de colémbolos encontradas en las playas de la comarca de La Selva en primavera del año 2005. / Abundance (ind/297 cm²) of the different species of Collembola found on beaches of La Selva in spring of 2005.

Código	Especie	SANTA CRISTINA		S'ABANELL		LLORET		CANYELLES		LLORELL		MAR MENUEDA	
		Orilla	Fondo	Orilla	Fondo	Orilla	Fondo	Orilla	Fondo	Orilla	Fondo	Orilla	Fondo
cen	<i>Ceratophysella engadinensis</i>	383	1862	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
hth	<i>Hemisotoma thermophila</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
hbo	<i>Halisotoma boneti</i>	0	0	443	1	114	0	146	0	0	0	40	0
ar1	<i>Archisotoma sp1 gr. interstitialis</i>	109	617	0	3	8	0	112	0	224	51	16	0
ar2	<i>Archisotoma sp2 gr. besselsi</i>	0	0	450	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ain	<i>Archisotoma interstitialis</i>	0	0	1338	0	67	0	233	0	0	6	57	0
lse	<i>Lepidocyrtus selvaticus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	13	0
sfe	<i>Seira ferrarii</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
emu	<i>Entomobrya multifasciata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
N		492	2479	2232	4	192	1	491	0	224	180	126	2
R		2	2	4	2	4	1	3	0	1	3	4	2
Código		SCF	SCB	SAF	SAP	LLF	LLB	CAF	CAB	LOF	LOB	MMF	MMB

sólo separa una muestra (el invierno de la muestra de la orilla de la playa S'Abanell: F1) de las restantes muestras. De este modo, sólo el eje 1 puede ser interpretado con claridad y no se puede apreciar ningún tipo de variación estacional significativa en la composición específica de ambas playas, S'Abanell y Santa Cristina, especialmente en las muestras del fondo de la playa que se distribuyen principalmente en el cuadrante III.

Influencia de los factores ambientales en las comunidades de colémbolos

La abundancia de los colémbolos en las playas es menor en la primavera de 2005 que en el mismo período de 2004. Las playas con las abundancias más elevadas en la primavera de 2005 son Santa Cristina y S'Abanell (Tabla III), con valores mucho más altos que en otras playas. En el muestreo de primavera de 2005 la abundancia es mucho más elevada en la orilla que en el fondo de la playa, con la excepción de la playa Santa Cristina.

En el muestreo de primavera de 2005 se encuentran importantes diferencias en las abundancias de los colémbolos (Fig. 5), cuando las playas estudiadas se dividen en sectores y se clasifican como naturales (urbanizadas con vegetación densa), urbanizadas con escasa vegetación y urbanas (ver la Tabla I). Los sectores con vegetación densa tienen la abundancia de colémbolos más alta, seguidos de los urbanizados con vegetación más escasa. Las playas con menos colémbolos son las urbanas. Estas diferencias son significativas tanto en la orilla como en el fondo de las playas.

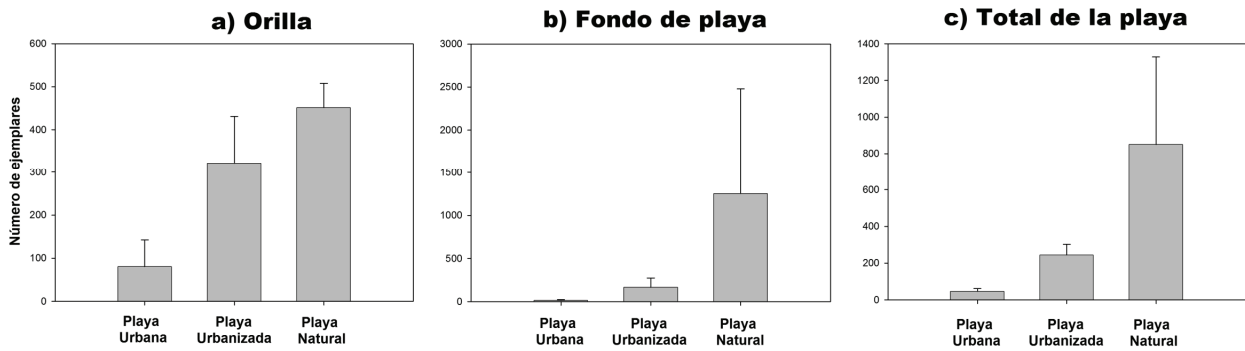
Con el fin de evidenciar la influencia de los factores ambientales que caracterizan las distintas playas estudiadas sobre sus comunidades de colémbolos, se ha realizado un análisis factorial de correspondencias con las nueve especies de colémbolos encontradas en las playas muestreadas durante la primavera de 2005 (Tabla III). La distribución de las especies y de las seis playas (orilla y fondo de playa) se representa en la figura 6, según los dos primeros ejes del análisis factorial de correspondencias; en esta figura se incluye también la proyección de los distintos factores ambientales que caracterizan las playas. El primer eje (34.6 % del total de la varianza) separa la muestra de la orilla de la playa S'Abanell del resto de localidades, caracterizándola por la gran abundancia de las especies *Halisotoma boneti* (hbo), *Archisotoma interstitialis* (ain) y *Archisotoma sp2* (ar2). El segundo eje (24 % del total de la varianza) resulta más interesante para caracterizar las distintas playas. Este eje establece un gradiente entre la playa urbanizada Santa Cristina, en los valores más positivos, y las

playas urbanas de Lloret y Mar Menuda, en los valores más negativos; estas diferencias son más acusadas en el fondo de la playa que en la orilla. El resto de las playas (Llorell, Canielles y S'Abanell) ocupan una posición intermedia, en los valores ligeramente positivos o ligeramente negativos del eje 2. La playa Santa Cristina queda proyectada en el cuadrante IV, junto a sus especies características: *Archisotoma sp1* (ar1) y *Ceratophysella engadinensis* (cen), y relacionada con los factores "playa urbanizada" (UZ), presencia de vegetación en el fondo de la playa (BO) y ausencia de limpieza de las playas (NOC). En los valores opuestos del eje 2 (cuadrante III) se encuentra la playa urbana de Mar Menuda, con *Entomobrya multifasciata* (emu) y *Seira ferrarii* (sfe) como especies características y relacionada con los factores "playa urbana" (UR) y limpieza manual de las playas (MAC).

Conclusiones

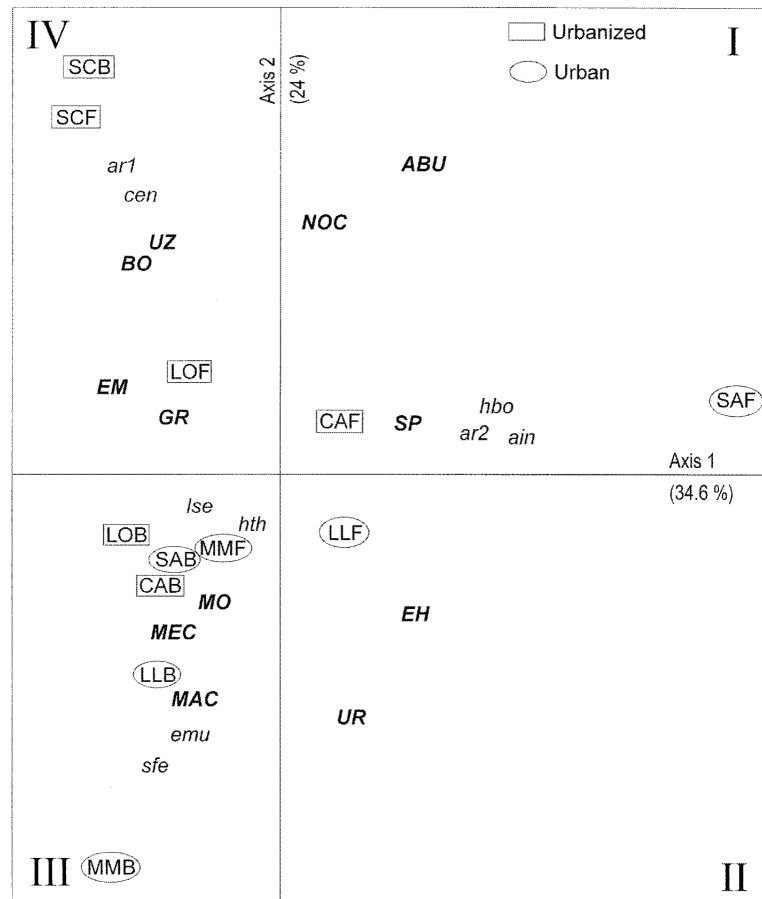
Los colémbolos litorales no habían sido estudiados de manera sistemática en la Costa Brava antes de la realización del presente trabajo. El análisis de la fauna de playas arenosas más cercano al lugar de estudio fue realizado en Mataró (Delamare Deboutteville, 1960) y sólo se encontró una especie litoral de colémbolo, *Archisotoma besselsi* (Packard, 1877). En el presente estudio hemos identificado 16 especies de colémbolos, cinco de las cuales son típicamente litorales (ver la Tabla II).

La variación estacional de la abundancia total de colémbolos es marcada en las playas Santa Cristina y S'Abanell. El patrón de abundancia encontrado en las playas de la Costa Brava es similar al encontrado por Maeda & Tanaka (1982) en las playas de Japón, a pesar de que las especies encontradas sean diferentes. Como en el estudio de Japón, la densidad de colémbolos en las playas de la Costa Brava es más alta en la primavera, se mantiene más o menos constante al principio del verano y después disminuye progresivamente probablemente la temperatura y el contenido de agua sean factores decisivos que determinan el tamaño de las poblaciones. Claramente, la limpieza mecánica y el pisoteo afectan a la densidad de colémbolos, pero nuestra observación personal en otras playas muestra que en agosto la densidad de colémbolos también es escasa en ausencia de pisoteo intenso y limpieza mecánica. El número máximo de especies encontradas durante un mes fue seis y el número de especies fue más alto en primavera, excepto en la orilla de la playa S'Abanell, en la que fue en noviembre. La gran diferencia que se observa hasta febrero. Aunque no se ha medido en nuestro estudio,



▲ **Fig. 5.** Abundancia de los colémbolos en los tres tipos de sectores muestreados durante la primavera de 2005: **Urbano**, **Urbanizado** con algo de vegetación y **Natural** (urbanizado con vegetación densa). **Fig. 5.** Abundance of collembola for three different type of sectors sampled during the spring of 2005: **Urban**, **Urbanized** with some vegetation and **Natural** (urbanized with dense vegetation).

► **Fig. 6.** Análisis factorial de correspondencias. Proyección, en el plano formado por los dos primeros ejes factoriales, de las especies (letras minúsculas; ver la Tabla III), muestras (letras mayúsculas; ver la Tabla III) y los parámetros de las playas como variables pasivas (letras mayúsculas en negrita; playas urbanas (**UR**) y urbanizadas (**UZ**); vegetación presente en el fondo de la playa (**BO**); exposición alta (**EH**) y moderada (**EM**); limpieza mecánica (**MEC**), manual (**MAC**) y sin limpieza (**NOC**); materia orgánica (**MO**); granulometría (**GR**); abundancia total de colémbolos (**ABU**) y riqueza específica (**SP**); ver el texto “Análisis estadístico”). **Fig. 6.** Correspondence analysis. Projection of collembolans species (three-small letter codes, see Table III), beach samples (normal capital letter codes, see Table III) and beach parameters as passive variables (bold capital letter codes; urban (**UR**) and urbanized (**UZ**) beaches; vegetation present on the backbeach (**BO**); high (**EH**) and moderate (**EM**) exposition; No cleaning (**NOC**), mechanical (**MEC**) and manual (**MAC**) cleaning; organic matter (**MO**); granulometry (**GR**); total abundance of Collembola (**ABU**) and Collembola species richness (**SP**); see the “Statistical analysis” paragraph in the plane formed by the first two axes.



en la abundancia de los colémbolos de los muestreos realizados en 2004 y 2005 es difícil de explicar. La precipitación fue inferior en 2005 y esto podría ser una posible explicación, aunque la falta de información sobre los factores que afectan a la abundancia de los colémbolos hace que algunas fluctuaciones comunes sean difíciles de entender (Joose, 1976).

Esta investigación también ha demostrado la influencia de la vegetación sobre la comunidad de colémbolos litorales, como ya se había señalado por otros autores (Romanuk & Levings, 2003). Probablemente *Ceratophysella engadinensis* este asociada a la presencia de vegetación en el entorno; esta especie apareció casi exclusivamente en la playa Santa Cristina (urbanizada). Los resultados de este estudio muestran que

las comunidades de colémbolos de las playas urbanas difieren claramente de las comunidades de las playas urbanizadas y que los colémbolos quizás podrían ser utilizados como bioindicadores de la calidad de las mismas. No obstante, este estudio supone una primera aproximación a la comprensión de los ecosistemas de playa, a través del conocimiento de las comunidades de colémbolos, y serán necesarios más estudios antes de llegar a una conclusión firme. De acuerdo con Colombini *et al.* (2003) concluimos que estos muestreos tendrían que realizarse de un modo más sistemático, tanto espacial como temporalmente, para poder utilizar los colémbolos como bioindicadores del estado de las playas y del impacto humano sobre ellas.

Bibliografía

- ABRANTES, N., A. MARQUES, U. AZEITEIRO & F. GONÇALVES 2002. Structure of Communities of Soil Arthropods in a Protected Coastal Area (Esposende, Portugal). In: *Littoral 2002, Sixth International Conference, The Changing Coast*, (EURO COAST-Portugal Ed), Porto, Portugal.
- ARBEA, J.I. & E. ARIZA 2007. Una nueva especie de *Lepidocyrtus* Bourlet, 1839 (Collembola, Entomobryidae) de Gerona, España. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, **41**: 87-89.
- ARIZA, E., J.A. JIMÉNEZ & R. SARDÁ 2008. A critical assessment of beach management on the Catalan coast. *Ocean & Coastal Management*, **51**(2): 141-160.
- BROWN, A.C. & A. MCLACHLAN 1990. *Ecology of Sandy Shores*. Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam, The Netherlands.
- CHRISTIANSEN, K.A. & P.F. BELLINGER 1988. Marine littoral collembola of north and central america. *Bulletin of marine Science*, **42**(2): 215-245.
- COLOMBINI, I., A. ALOIA, M.F. BOUSLAMA, M. ELGTARI, M. FALLACI, L. RONCONI, F. SCAPINI & L. CHELAZZI 2002. Small-scale spatial and seasonal differences in the distribution of beach arthropods on the northwestern Tunisian coast. Are species evenly distributed along the shore?. *Marine Biology*, **140**(5): 1001-1012.
- COLOMBINI, I., M. FALLACI, F. MILANESI, F. SCAPINI & L. CHELAZZI 2003. Comparative diversity analysis in sandy littoral ecosystems of the western Mediterranean. *Estuarine, coastal and shelf science*, **58S**: 93-104.
- COULSON, S.J., I.D. HODKINSON, N.R. WEBB & J.A. HARRISON 2002. Survival of terrestrial soil-dwelling arthropods on and in seawater: implications for trans-oceanic dispersal. *Functional Ecology*, **16**: 353-356.
- DEIDUN, A., M. AZZOPARDI, S. SALIBA & P.J. SCHEMBRI 2002. Low faunal diversity on maltese sandy beaches: fact or artefact?. *Estuarine, coastal and shelf science*, **58S**: 83-92.
- DELAMARE DEBOUTTEVILLE, C. 1954a. Premières recherches sur la faune souterraine littorale en Espagne. *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, **17**: 119-129.
- DELAMARE DEBOUTTEVILLE, C. 1954b. Eaux Souterraines Littorales de la Cote Catalane Française (Mise au point faunistique). *Vie et Milieu*, **5**(3): 408-451.
- DELAMARE DEBOUTTEVILLE, C. 1960. Biologie des eaux souterraines littorales et continentales. *Vie Milieu*, suppl. **9**: 1-740.
- DEXTER, D.M. 1992. Sandy beach community structure: the role of exposure and latitude. *Journal of Biogeography*, **19**: 59-66.
- DUGAN, J.E., D.M. HUBBARD, M.D. MCCRARY & M.O. PIERSON 2003. The response of macrofauna communities and shorebirds to macrophyte wrack subsidies on exposed sandy beaches of southern California. *Estuarine, coastal and shelf science*, **58S**: 25-40.
- DUGAN, J.E., E. JARAMILLO, D.M. HUBBARD, H. CONTRERAS & C. DUARTE 2004. Competitive interactions in macrofaunal animals of exposed sandy beaches. *Oecologia*, **139**(4): 630-640.
- FANINI, L., C.M. CANTARINO & F. SCAPINI 2005. Relationship between the dynamics of two *Talitrus saltator* populations and the impacts of activities linked to tourism. *Oceanologia*, **47**(1): 93-112.
- FERNANDES, L.H. & M.C. MENDONÇA 2007. Collembola Poduromorpha de áreas preservadas e impactadas do litoral sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, **24**(3): 777-785.
- GHEKIERE, T., M. VINÇ, B. URBAN-MALINGA, C. ROSSANO, F. SCAPINI & S. DEGRAER 2005. Nematodes from wave-dominated sandy beaches: diversity, zonation patterns and testing of the isocommunities concept. *Estuarine, coastal and shelf science*, **62**: 365-375.
- HOPKIN, S.P. 1997. *Biology of the Springtails*. Oxford University Press, Inc., New York, United States, 330 pp.
- JANSSEN, G. & S. MULDER 2005. Zonation of macrofauna across sandy beaches and surf zones along the Dutch coast. *Oceanologia*, **47**(2): 265-282.
- JOOSE, E.N.G. 1976. Littoral apterygotes (Collembola and Thysanura). In: *Marine Insects* (L. Cheng Ed.), North-Holland Publishing Company, pp. 151-185.
- JARAMILLO, E., H. CONTRERAS, C. DUARTE & M.H. AVELLANAL 2003. Locomotor activity and zonation of upper shore arthropods in a sandy beach of north central Chile. *Estuarine, coastal and shelf science*, **58S**: 177-197.
- KETMAIER, V., F. SCAPINI & E. DE MATTHAEIS 2003. Exploratory analysis of talitrid population genetics as an indicator of the quality of sandy beaches. *Estuarine, coastal and shelf science*, **58S**: 159-167.
- KOEHLER, H., H. HARDER, J. MEYERDIRKS & H. VOIGT 1996. The effect of trampling on the microarthropod fauna of dune sediments. A case study from Jutland, Denmark. In: *Studies in European Coastal Management* (P.S. Jones, M.G. Healy & E.T. Williams Eds.), Samara Publishing Limited, Cardigan, UK, pp. 221-231.
- KOEHLER, H., E. MUNDERLOH & S. HOFMANN 1995. Soil microarthropods (Acari, Collembola) from beach and dune: characteristics and ecosystem context. *Journal of Coastal Conservation*, **1**: 77-86.
- MAEDA, M. & S. TANAKA 1982. The seasonal change in collembolan community of a sandy beach. *Japanese Journal of Ecology*, **32**: 483-489.
- MARCHETTI, G.V. & F. SCAPINI 2003. Use of regression models in the study of sanhopper orientation under natural conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **58S**: 207-215.
- MCLACHLAN, A. & E. JARAMILLO 1995. Zonation on sandy beaches. *Oceanography and Marine Biology, an Annual Review*, **33**: 305-335.
- MOFFET, M.D., A. MCLACHLAN, P.E.D. WINTER & A.M.C. DE RUYCK 1998. Impact of trampling on sandy beach macrofauna. *Journal of Coastal Conservation*, **4**: 87-90.
- NARDI, M., E. MORGAN & F. SCAPINI 2003. Seasonal variation in the free-running period in two *Talitrus saltator* populations from italian beaches differing in morphodynamics and human disturbance. *Estuarine, coastal and shelf science*, **58S**: 199-206.
- ORR, M., M. ZIMMER, D.E. JELINSKI & M. MEWS 2005. Wrack deposition on Different beach types. Spatial and temporal variation in the pattern of subsidy. *Ecology*, **86**(6): 1496-1507.
- POLIS, G.A., S.D. HURD 1996. Linking marine and Terrestrial Food Webs: Allochthonous Input from the Ocean Supports High Secondary Productivity on Small islands and Coastal Land Communities. *The American Naturalist*, **147**(3): 396-423.
- PONGE, J.F., S. GILLET, F. DUBS, E. FEDOROFF, L. HAESE, J.P. SOUSA & P. LAVELLE 2003. Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. *Soil Biology & Biochemistry*, **35**: 813-826.
- ROMANUK, T.N. & C.D. LEVINGS 2003. Associations between Arthropods and the Supralittoral Ecotone: Dependence of Aquatic and Terrestrial Taxa on Riparian Vegetation. *Environmental Entomology*, **32**(6): 1343-1353.
- SCHENKER, R. & W. BLOCK 1986. Micro-arthropod activity in three contrasting terrestrial habitats on Signy Island, maritime Antarctic. *British Antarctic Survey Bulletin*, **71**: 31-43.
- STERZYNSKA, M. & R. EHRSBERGER 2000. The distribution and diversity of Collembola in saltmarsh habitats of the German North Sea - a preliminary study. *Pedobiologia*, **44**: 402-412.
- WARD, J.V. 1992. *Aquatic insect ecology. Biology and Habitat*. John Wiley and Sons, Inc.
- WITTEVEEN, J. & E.N.G. JOOSE 1987. Growth, reproduction and mortality in marine littoral Collembola at different salinities. *Ecological Entomology*, **12**: 459-469.