

Distribución vertical de la macrofauna en sedimentos contaminados del interior del puerto de Ceuta

J. M. Guerra-García, J. R. Corzo y J. C. García-Gómez

Laboratorio de Biología Marina. Departamento de Fisiología y Zoología. Facultad de Biología. Universidad de Sevilla. Avda. Reina Mercedes, 6. E-41012 Sevilla, España. Correo electrónico: jmguerra@us.es

Recibido en enero de 2003. Aceptado en diciembre de 2003.

RESUMEN

Se ha estudiado la distribución vertical de la macrofauna y su relación con las variables físico-químicas de los sedimentos contaminados del puerto de Ceuta. La obtención de las muestras se llevó a cabo mediante buceo con escafandra autónoma y empleando instrumentos de muestreo tipo core (10 cm × 17 cm × 35 cm), diferenciándose las siguientes profundidades en la columna de sedimento: 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm y más de 10 cm. Los crustáceos *Pariambus typicus* Kröyer, 1844; *Apseudes latreilli* Milne-Edwards, 1820; *Corophium runcicorne* Della Valle, 1893; *C. sextonae* Crawford, 1937; el molusco *Parvicardium exiguum* (Gmelin, 1791) y los poliquetos *Pseudomalacoceros tridentata* (Southern, 1914) y *Exogone verrugera* Clepavede, 1868 se localizaron en los dos primeros centímetros de sedimento, mientras que el molusco *Loripes lacteus* (L., 1758) y los poliquetos *Platynereis dumerilii* Audouin y Milne-Edwards, 1833; *Cirratulus cirratus* (Muller, 1776) y *Cirriformia tentaculata* (Montagu, 1808) dominaron en los niveles más profundos, observándose el incremento en el tamaño de los individuos con el aumento de la profundidad. Los análisis multivariantes reflejaron que el porcentaje de pelitas, la materia orgánica total y, especialmente, la relación lípidos malténicos/lípidos asfálténicos, fueron los principales factores condicionantes de la distribución vertical de las especies en el sedimento.

Palabras clave: Fondos blandos, columna de sedimento, comunidades macrobentónicas, zonas portuarias.

ABSTRACT

Vertical distribution of the macrofauna in polluted sediments from the harbour of Ceuta

*Vertical distribution of the macrofauna and its relationship with physico-chemical parameters were studied in polluted sediments from the harbour of Ceuta. The samples were collected with cores (10 cm × 17 cm × 35 cm) by scuba divers. The following depths in the sediment column were included in the study: 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm and more than 10 cm. The crustaceans *Pariambus typicus* Kröyer, 1844; *Apseudes latreilli* Milne-Edwards, 1820; *Corophium runcicorne* Della Valle, 1893; *C. sextonae* Crawford, 1937; the mollusc *Parvicardium exiguum* (Gmelin, 1791), and the polychaetes *Pseudomalacoceros tridentata* (Southern, 1914) and *Exogone verrugera* Clepavede, 1868 were found in the first 2 cm of the sediment, whereas the mollusc *Loripes lacteus* (L., 1758) and the polychaetes *Platynereis dumerilii* Audouin & Milne Edwards, 1833; *Cirratulus cirratus* (Muller, 1776) and *Cirriformia tentaculata* (Montagu, 1808) were dominant in deeper strata, and size increased with depth. A multivariate analysis showed that the percentage of silt and clays, the total organic matter, and especially, the maltenes/asphaltenes ratio, were the main factors affecting species' vertical distribution.*

Keywords: Soft bottoms, sediment column, macrobenthic communities, harbours.

INTRODUCCIÓN

Los trabajos centrados en la distribución vertical de los invertebrados marinos son escasos (Johnson, 1967; Clavier, 1984; Hines y Comtois, 1985; Troncoso y Urgorri, 1992), pero es conocido que el emplazamiento vertical de los organismos en la columna depende tanto de la variación de los factores abióticos del sedimento como de procesos bióticos de depredación o competencia (Garmendia, 1997). Además, la propia presencia de determinadas especies animales macroinfaunales puede modificar las características de la columna por procesos de bioturbación (Flach y Heip, 1996; Dauwe, Herman y Heip, 1998).

Los estudios de distribución vertical ponen de manifiesto las preferencias de los distintos taxones por unos estratos u otros del sedimento. En ambientes contaminados, estos estudios resultan útiles, además, porque los perfiles de profundidad de los contaminantes, como los metales pesados, pueden usarse para reconstruir la evolución en el tiempo de la contaminación en el área estudiada (Santschi *et al.*, 1990; Finney y Huh, 1989; Zwolsman, Berger y Van Eck, 1993).

El objetivo de este estudio es conocer la distribución vertical de la macrofauna dentro del sedimento en las zonas de mayor contaminación del puerto de Ceuta. Por otra parte, se pretende determinar qué factores fisicoquímicos influyen de forma determinante en la distribución vertical de los organismos y, además, cómo se estratifican los prin-

cipales contaminantes en la columna de sedimento. Teniendo presente que los estudios recientes centrados en seguimientos anuales de las variaciones en la distribución vertical de la macrofauna reflejan la existencia de pocos cambios estacionales, tanto en la fauna como en las variables fisicoquímicas (Sánchez-Mata, 1996; Garmendia, 1997), el presente estudio se llevó a cabo con un enfoque espacial y no espacio-temporal.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El muestreo se realizó durante el mes de junio de 1999 en tres estaciones del puerto de Ceuta (figura 1). Puede consultarse una descripción detallada de este puerto en Guerra-García (2001). Las estaciones E1 y E2 se localizan en la dársena deportiva, mientras que la estación E3 pertenece a la dársena pesquera. Se trata de estaciones con sedimentos muy contaminados (Guerra-García, 2001), y las tres se encuentran a la misma profundidad (3 metros); así, las variaciones en la composición faunística derivadas del efecto de la profundidad no influyen en el estudio.

Recogida de muestras

Para la obtención de las muestras en inmersión con escafandra autónoma se utilizaron muestrea-

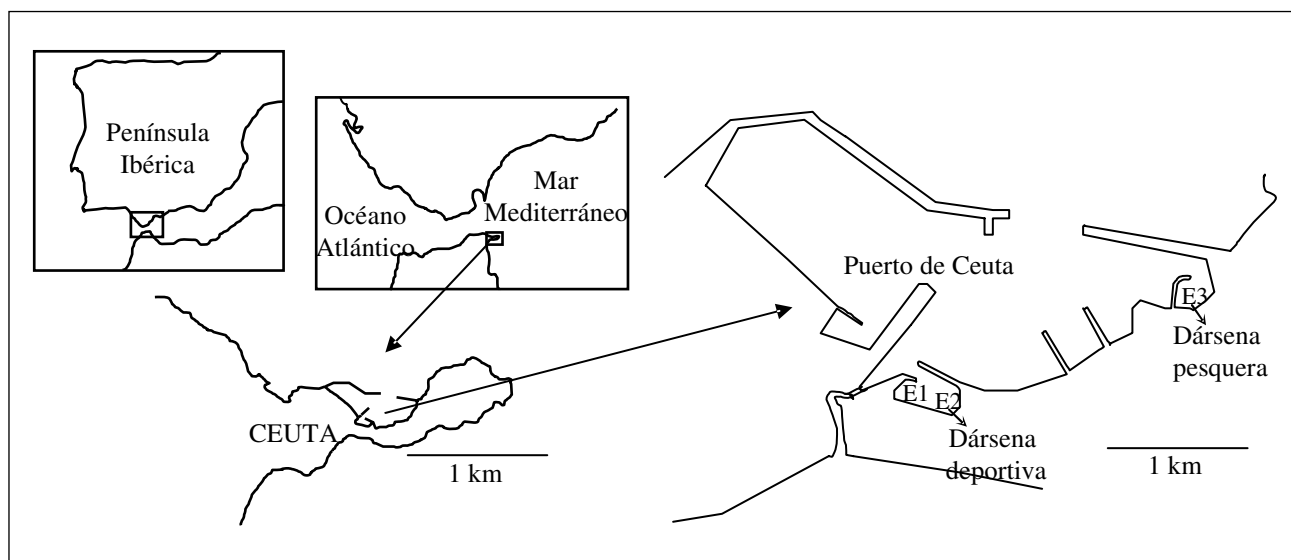


Figura 1. Área de estudio. Se señala la localización de las tres estaciones muestreadas.

dores tipo core con sección rectangular de 10 cm × 17 cm y 35 cm de longitud. Estos core son de dimensiones similares a los de la caja muestreadora que se acopla a la draga tipo box corer de Reineck, modificada por Bouma y usada en estudios recientes de distribución vertical (Sánchez-Mata, 1996; Garmendia, 1997). A pesar de su gran tamaño, pudieron penetrar fácilmente el sedimento por el elevado contenido de éste en pelitas.

En cada estación se extrajeron 9 muestras destinadas al estudio de la macrofauna y 3 más para el estudio de las variables fisicoquímicas (Guerra-García, 2001). Una vez que los muestreadores estaban a bordo, se extraían los prismas de sedimento y se cortaban en capas consecutivas que, desde el nivel superficial, abarcaban las profundidades 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm y desde los 10 cm hasta el máximo alcance de la muestra (20 cm en la mayor parte de los casos, de forma que la última fracción podría considerarse de 10-20 cm).

Muestras biológicas

Las muestras de cada nivel fueron tamizadas con una luz de malla de 0,5 mm y fijadas con formol al 4 % con rosa de Bengala. Una vez separados, los individuos fueron identificados hasta el nivel de especie.

Análisis fisicoquímicos

Las muestras destinadas a los análisis fisicoquímicos se guardaban en envases de vidrio y eran almacenadas en congelador a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y liofilizadas. La granulometría se determinó por el método propuesto por Guitián y Carballas (1976) y el método de Boyoucos (Estacio, 1996). La materia orgánica se estimó por el método de calcinación (Estacio, 1996). El nitrógeno total se estimó por digestión, siguiendo el método Kjeldahl (Allen *et al.*, 1974), y el fósforo total mediante espectrómetro de emisión por plasma tras digestión con agua regia (ácido nítrico:ácido clorhídrico 1:3 v/v). Para la obtención del extracto lipídico total se empleó la extracción con diclorometano-metanol (9:1) en equipo Soxhlet de 500 cm³ de capacidad durante 24 horas. La separación entre la fracción de lípidos malténicos y asfálticos se realizó con n-pentano.

Tratamiento de la información

Para cada estrato se determinó el número total de individuos y la riqueza específica y se calculó el índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1963) con logaritmo en base *e*, y la equitatividad de Pielou (Pielou, 1984).

Por otra parte, se llevaron a cabo mediciones de la longitud de las especies más abundantes con el objetivo de relacionar el tamaño de los organismos con la profundidad en la columna de sedimento.

Los análisis multivariantes se realizaron utilizando los programas PC-ORD v. 3.05 (McCune y Mefford, 1997) y primer v. 5 (Clarke y Gorley, 2001). Respecto a esta cuestión, se efectuó un análisis multidimensional (MDS) con los valores de abundancia de las especies en los distintos estratos verticales considerados y un análisis canónico de correspondencias (CCA) para establecer las relaciones entre las especies y las variables ambientales con la finalidad de detectar posibles gradientes de variación a lo largo de la columna de sedimento.

RESULTADOS

Variables fisicoquímicas

Existe un descenso en la proporción de arcillas conforme profundizamos en el sedimento (figura 2), tendencia que se manifestó en las tres estaciones estudiadas. La proporción de lípidos asfaltenos/lípidos malténicos se incrementa claramente en el sentido E1-E2-E3, y la proporción de asfaltenos en la estación E3 es considerablemente mayor que en las estaciones E1 y E2 (figura 3). Existe una disminución generalizada en la proporción de asfaltenos en las capas más profundas. En relación con el comportamiento del resto de las variables fisicoquímicas según la profundización en el sedimento, se observa el mismo patrón para la materia orgánica, el porcentaje de lípidos, el fósforo y el nitrógeno total (tabla I). No obstante, este patrón fue distinto según las estaciones. En E1 se registró un descenso progresivo de éstos con la profundidad. Esta tendencia se presenta también en E3, si bien el descenso progresivo en esta estación se produce hasta los 10 cm, ya que a partir de esta profundidad se aprecia un incremento de los valores de materia orgánica, lípidos, fósforo y nitrógeno. En la estación E2, a diferencia de las estaciones E1

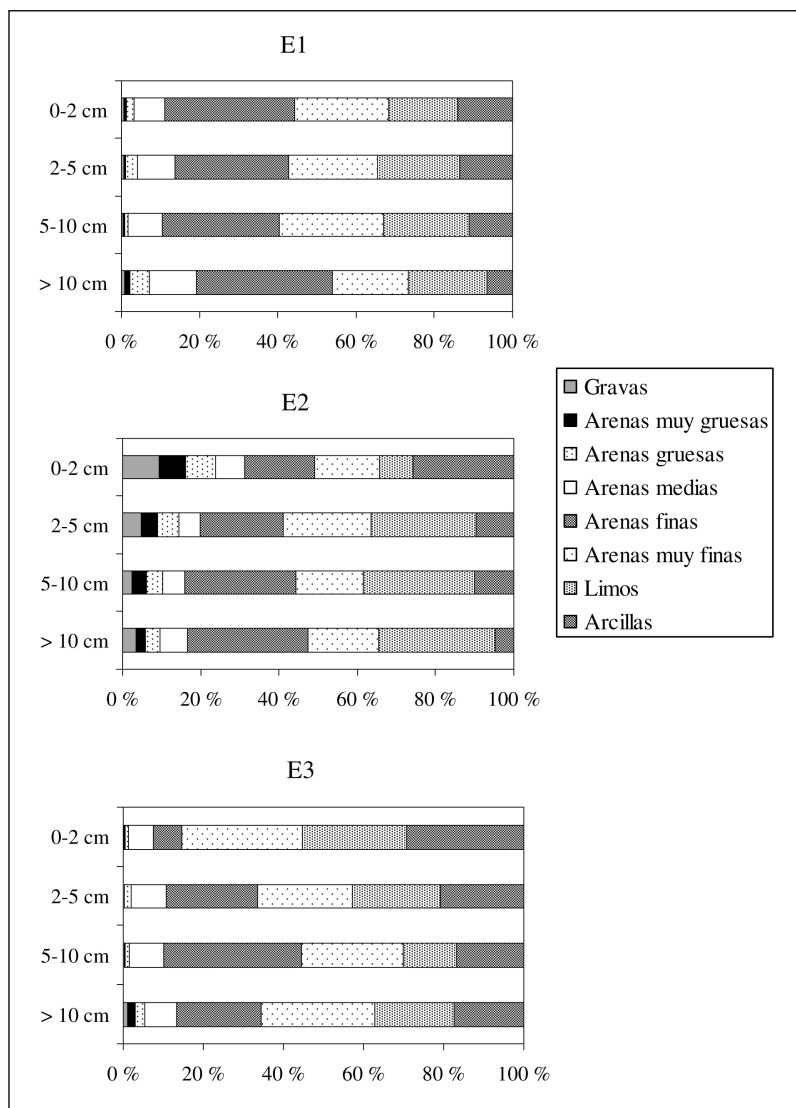


Figura 2. Distribución porcentual de las distintas clases granulométricas de los estratos sedimentarios analizados en el perfil vertical de las estaciones E1, E2 y E3.

Tabla I. Variables fisicoquímicas medidas en el sedimento de las estaciones estudiadas. (M.O.): materia orgánica; (P): fósforo; (N): nitrógeno.

	Pelitas (%)	M.O. (%)	Lípidos (%)	P (ppm)	N (%)
E1(0-2)	31,62	4,23	1,88	1 100	0,19
E1(2-5)	34,84	2,86	1,37	700	0,15
E1(5-10)	33,00	2,41	0,92	695	0,14
E1(> 10)	26,53	2,29	0,97	780	0,13
E2(0-2)	34,13	5,35	1,25	975	0,14
E2(2-5)	36,55	7,44	2,49	1 240	0,21
E2(5-10)	38,46	7,33	1,64	1 265	0,26
E2(> 10)	34,60	7,86	1,67	1 310	0,28
E3(0-2)	55,33	9,33	5,72	1 130	0,19
E3(2-5)	42,74	6,46	2,67	949	0,14
E3(5-10)	30,09	5,74	1,49	660	0,08
E3(> 10)	37,24	7,60	3,10	936	0,16

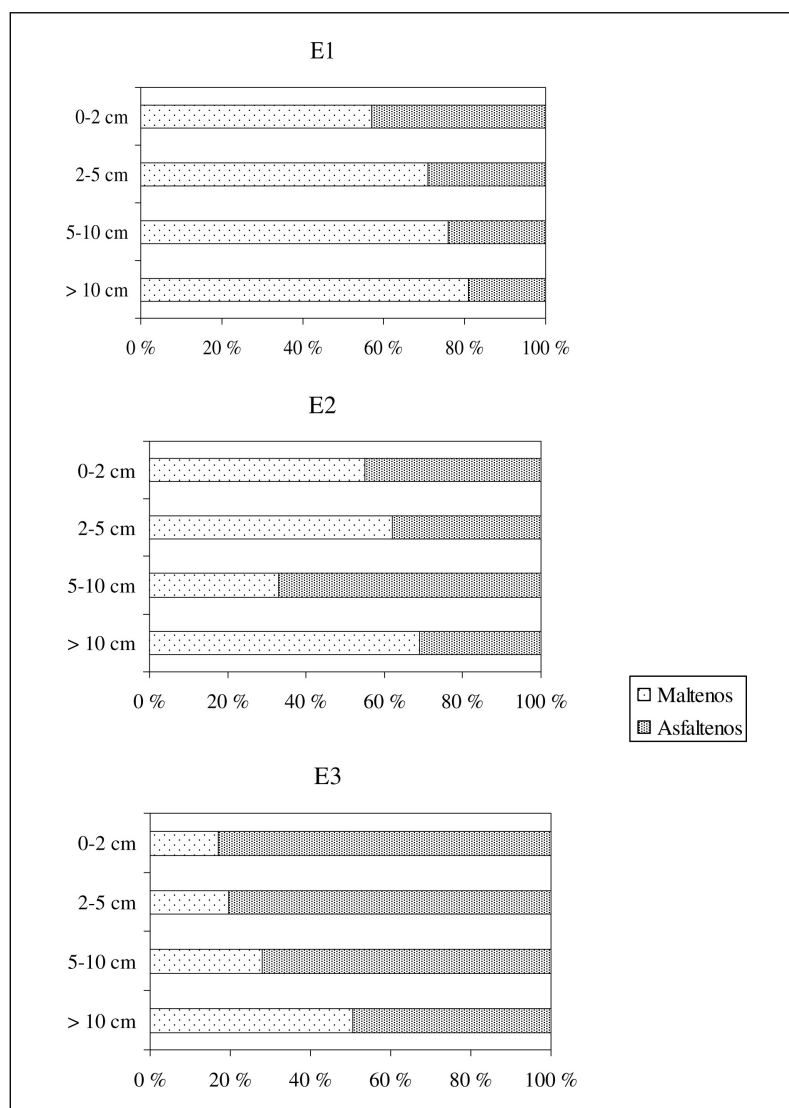
y E3, los valores de estas variables aumentan en profundidad. En este sentido, el comportamiento peculiar de esta estación podría relacionarse con el descenso en profundidad de elementos gruesos (gravas, arenas muy gruesas y gruesas), que contrasta con el incremento en las dos estaciones restantes E1 y E3.

Macrofauna

Distribución vertical

En la tabla II se incluyen los valores de abundancia de las especies en los diferentes estratos de profundidad. Existe un claro predominio en nú-

Figura 3. Distribución porcentual de los lípidos malténicos y asfálténicos de la fracción lipídica presente en los estratos sedimentarios analizados en el perfil vertical de las estaciones E1, E2 y E3.



mero de especies y de individuos en los estratos más superficiales (en los dos primeros centímetros en las estaciones E2 y E3 y en el estrato 2-5 cm en la estación E1). Conforme aumenta la profundidad, el número de especies y de individuos también disminuye. La diversidad y la equitatividad no siempre reflejaron este patrón de variación (figura 4). Así, el valor de la equitatividad llega incluso a incrementarse en niveles profundos, debido a que los individuos se encuentran bien repartidos entre las pocas especies que alcanzan estos niveles de mayor profundidad.

Los anélidos poliquetos fueron el grupo dominante en número de individuos a lo largo de la columna de sedimento (figura 5). Sin embargo, los crustáceos fueron muy abundantes en los cinco pri-

meros centímetros en E2. Los poliquetos y, en menor medida, los moluscos, contribuyeron más que los crustáceos al total de individuos de los estratos más profundos. Los moluscos tuvieron mayor importancia en número de especies (figura 6) que en número de individuos.

Si se analiza la distribución vertical de las abundancias de las especies más representadas, se observa cómo los crustáceos *Apeudes latreilli* Milne-Edwards, 1820; *Corophium sextonae* Crawford, 1937 y *Pariambus typicus* Kröyer, 1844 dominaron claramente en los dos primeros centímetros. *Corophium runcicorne* Della Valle, 1893 dominó también en el estrato 0-2 cm, excepto en la estación E1, donde fue más abundante en el estrato 2-5 cm (figura 7).

Tabla II. Relación de especies encontradas en las estaciones E1, E2 y E3. Se incluyen los valores de abundancia total (suma de la nueve muestras, indiv/1,5 m²) en cada profundidad considerada (0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, > 10 cm).

	E1				E2				E3			
	(0-2)	(2-5)	(5-10)	(> 10)	(0-2)	(2-5)	(5-10)	(> 10)	(0-2)	(2-5)	(5-10)	(> 10)
Crustáceos												
<i>Anthura gracilis</i> (Montagu, 1808)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Aora spinicornis</i> Afonso, 1976	0	2	0	0	17	1	0	0	0	0	0	0
<i>Aapseudes latreilli</i> Milne-Edwards, 1828	1	0	0	0	254	143	44	21	24	15	2	0
<i>Bodotria</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Cheirocratus sundevalli</i> (Rathke, 1843)	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0
<i>Corophium runcinorne</i> Della Valle, 1893	5	10	4	2	12	0	0	0	21	3	0	0
<i>Corophium sextonae</i> Crawford, 1937	2	1	1	0	6	4	0	0	76	34	6	2
<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu, 1813)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Eocuma</i> sp.	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
<i>Iphinoe</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Leptocheilia dubia</i> (Krøyer, 1842)	6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leucothoe cf lilljeborgi</i> Boeck, 1861	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
<i>Monoculodes carinatus</i> (Bate, 1857)	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
<i>Nebalia bipes</i> (Fabricius)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Pariambus typicus</i> Krøyer, 1844	0	0	0	0	13	0	0	0	39	15	0	2
<i>Phtisica marina</i> Slabber, 1769	0	1	0	0	6	0	0	0	1	1	0	0
<i>Pseudocuma longicornis</i> (Bate, 1858)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stenothoe</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Moluscos												
<i>Abra alba</i> (Wood, 1802)	0	3	1	0	2	0	2	0	1	0	0	0
<i>Cerastoderma edule</i> (Linnaeus, 1758)	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Corbula gibba</i> (Olivi, 1792)	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
<i>Cyclope neritea</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Donax semistriatus</i> Poli, 1795	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Dosinia lupinus</i> (Linnaeus, 1758)	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ervilia castanea</i> (Montagu, 1803)	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hydrobia ulvae</i> (Pennant, 1777)	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Loripes lacteus</i> (Linnaeus, 1758)	2	7	8	8	2	3	0	0	0	0	0	0
<i>Paphia aurea</i> (Gmelin, 1791)	0	1	1	0	2	3	2	2	4	1	0	0
<i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1791)	13	17	4	0	15	7	0	0	16	5	3	0
<i>Phaxas pellucidus</i> (Pennant, 1777)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Retusa obtusa</i> (Montagu, 1803)	0	2	0	0	0	0	0	0	34	9	6	0
<i>Rissoa similis</i> Scacchi, 1836	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Venerupis senegalensis</i> (Gmelin, 1791)	0	0	0	0	17	1	0	0	0	0	0	0
Poliquetos												
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	11	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cirratulus cirratus</i> (Muller, 1776)	4	7	7	0	4	5	3	2	1	2	4	0
<i>Cirriiformia tentaculata</i> (Montagu, 1808)	17	65	55	33	7	14	27	15	0	0	7	1
<i>Exogone verrugera</i> Claparede, 1868	6	3	1	0	19	3	1	0	10	14	3	0
<i>Lumbrineris latreilli</i> Audouin y Milne-Edwards, 1834	0	0	0	0	2	4	6	3	0	0	0	0
<i>Nephtys cirrosa</i> Ehlers, 1868	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Notomastus latericius</i> Sars, 1851	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
<i>Platynereis dumerilii</i> Audouin y Milne-Edwards, 1833	22	14	12	1	151	175	96	41	28	41	13	1
<i>Potamilla reniformis</i> (Linnaeus 1788)	0	1	0	0	17	1	4	0	2	1	2	0
<i>Pseudomalacoceros tridentata</i> (Southern, 1914)	23	11	1	0	64	29	10	2	686	245	108	31
<i>Sphaerosyllis hystrix</i> Claparede, 1863	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Syllis garciai</i> (Campoy, 1892)	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Otros												
<i>Amphipolis squamata</i> (Delle Chiaje, 1828)	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Anémonas	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

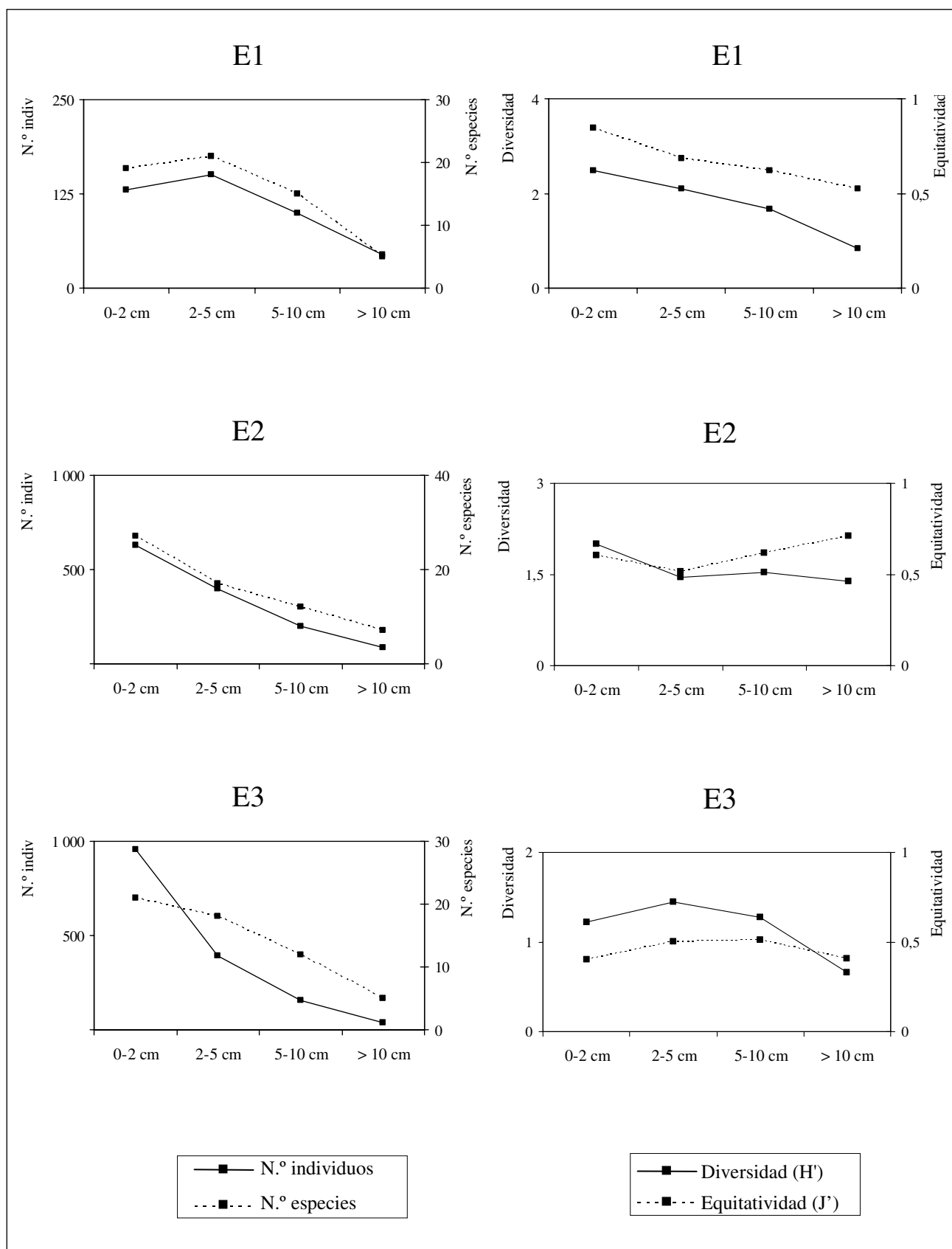


Figura 4. Representación gráfica de la distribución vertical del número de individuos, número de especies, diversidad (H') y equitatividad (J') en las estaciones E1, E2 y E3.

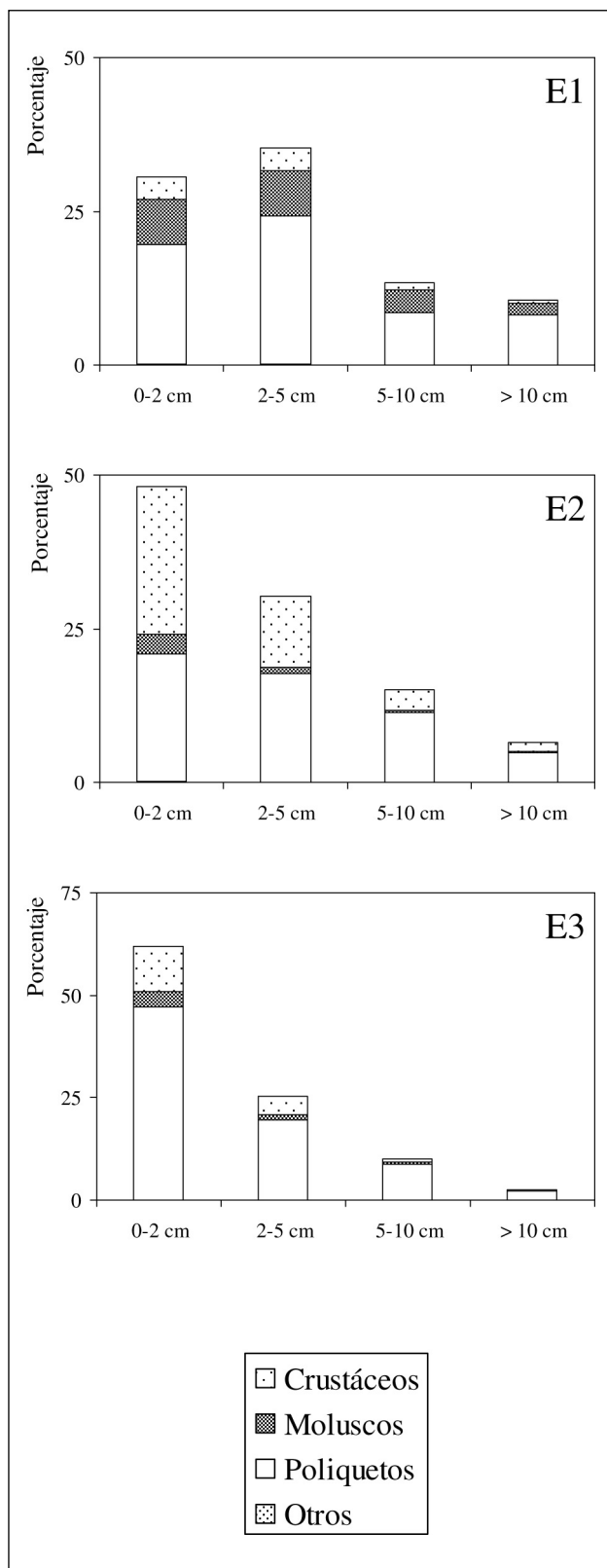


Figura 5. Representaciones gráficas del número de individuos en porcentajes (el total de individuos registrados en cada estación constituye el 100 %) de los distintos grupos taxonómicos en los estratos verticales considerados en las estaciones muestreadas.

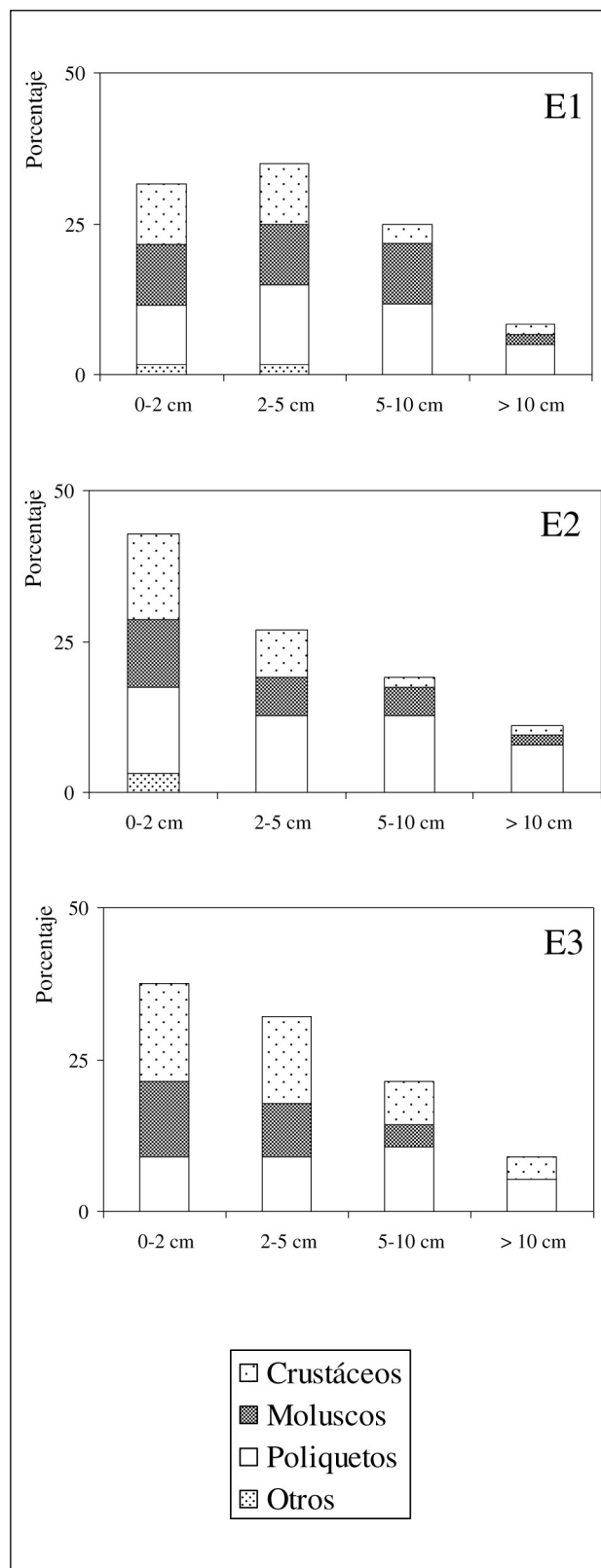


Figura 6. Representaciones gráficas del número de especies en porcentajes (el total de especies registradas en cada estación constituye el 100 %) de los distintos grupos taxonómicos en los estratos verticales considerados en las estaciones muestreadas.

Los dos moluscos bivalvos dominantes, *Loripes lacteus* (L., 1758) y *Parvicardium exiguum* (Gmelin, 1791), mostraron un comportamiento distinto. Mientras que *Parvicardium exiguum* mostró una clara preferencia por los estratos superficiales (0-2 cm en E2 y E3 y

2-5 cm en E1), *Loripes lacteus* fue más abundante en los estratos más profundos. No obstante, esta especie descendió más en la estación E1 que en E2 (figura 7).

En el grupo de los poliquetos, las preferencias también fueron distintas según las especies. *Exogone*

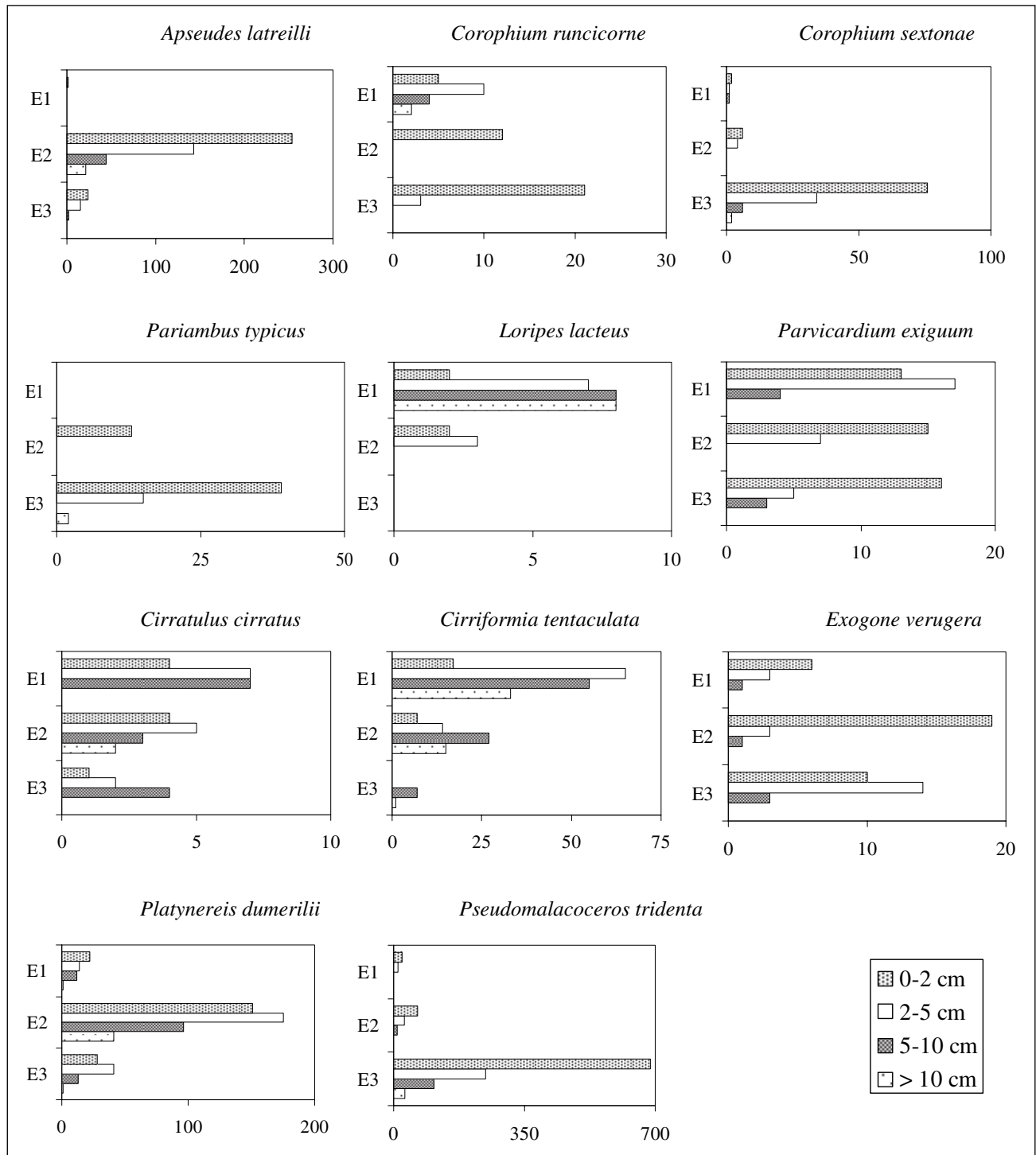


Figura 7. Abundancias (indiv/0,15 m²) de las especies más representadas en los distintos estratos verticales considerados en las estaciones muestreadas.

verrugera Clepavede, 1868 y *Pseudomalacoceros tridentata* (Southern, 1914) dominaron en el estrato superficial 0-2 cm, salvo en la estación E3, donde *E. verrugera* dominó en 2-5 cm. *Cirratulus cirratus* (Muller, 1776) y *Cirriformia tentaculata* (Montagu, 1808), por el contrario, fueron dominantes en estratos más profundos, fundamentalmente entre los 2 y los 10 cm de profundidad (figura 7).

Relación entre la talla y el grado de enterramiento de las especies

Las especies de crustáceos más abundantes en las estaciones estudiadas (*Aapseudes latreilli*, *Corophium runcicorne*, *C. sextonae* y *Pariambus typicus*) mostraron longitudes similares a lo largo de todos los estratos de la columna de sedimento en los que estuvieron presentes (figura 8). Sin embargo, en los casos de los bivalvos *Loripes lacteus* y *Parvicardium exiguum* (figura 9) y los poliquetos *Cirratulus cirratus*, *Cirriformia tentaculata*, *Exogone verrugera*, *Platynereis dumerilii* Audouin y Milne-Edwards, 1833 y *Pseudomalacoceros tridentata* (figura 10) se observó un incremento del tamaño con la profundidad de enterramiento en el sedimento.

Relación entre la abundancia de las especies y las variables fisicoquímicas

La ordenación de los estratos verticales de las tres estaciones estudiadas en función de las abundancias de las especies se muestra en el análisis multidimensional MDS de la figura 11. La ordenación de las estaciones coincide, básicamente, con la obtenida en el CCA cuando a los valores de abundancia se le superponen las variables ambientales (figura 12). El primer eje correlaciona positivamente con el porcentaje de lípidos, de pelitas y la materia orgánica, y negativamente con la relación maltenos/asfaltenos. Este cociente lipídico entre los malténicos (entre los que se encuentran los hidrocarburos) y los asfalténicos (polímeros de alto peso molecular y difícil degradación) se ha propuesto recientemente como un indicador de contaminación (Guerra-García *et al.*, 2003). En este sentido, la estación E3 (de la dársena pesquera) se localiza hacia el extremo positivo del eje, separándose de las estaciones E1 y E2 (de la dársena deportiva). Los estratos más superficiales de cada estación se localizan también hacia el extremo positivo con respecto a los estratos más profundos,

ya que, en general (exceptuando en la estación E2), existe un descenso en los valores de materia orgánica, pelitas, lípidos y asfaltenos conforme aumenta la profundidad. El eje 2 se relaciona fundamentalmente con el fósforo, y separa la estación E2, caracterizada por valores superiores de la concentración de fósforo total en el sedimento. Este segundo eje (en el que también incide la relación maltenos/asfaltenos) ordena los estratos dentro de cada estación de menor profundidad (parte positiva del eje) a mayor profundidad (parte negativa del eje), de forma que los estratos más superficiales suelen presentar una fauna influida por mayores contenidos de fósforo que los estratos más profundos.

DISCUSIÓN

En la interpretación de los resultados obtenidos hay que tener presente un factor intrínseco de la metodología de muestreo señalado Garmendia (1997): la perturbación causada durante la toma de muestras puede producir, en ciertas especies, reacciones de escape hacia el interior del sedimento, especialmente en los tubícolas y galerícolas de movimientos rápidos, por lo que, de acuerdo con otros autores (Clavier, 1984; Hines y Comtois, 1985; Palacio, Lastra y Mora, 1991; Sánchez-Mata, 1996), las observaciones de este estudio indicarían la máxima profundidad de penetración de las especies frente a una perturbación física. Por otra parte, al introducirse el muestreador en el sedimento puede producirse un arrastre de algunos individuos superficiales hacia niveles más profundos, por lo que pueden encontrarse algunas especies a un mayor nivel de profundización de lo que correspondería en realidad. Éste puede ser el caso del caprélido *Pariambus typicus*, del que se encontraron, excepcionalmente, dos ejemplares por debajo de los 10 cm en la estación E6. Este crustáceo ha sido hallado a una profundidad máxima de 8 cm en otros estudios de sedimentos fangosos (Sánchez-Mata, 1996). Los gammáridos *Corophium runcicorne* y *C. sextonae* también se encontraron a profundidades superiores a los 10 cm en algunas estaciones. Estos gammáridos, aunque tienen preferencia por los estratos más superficiales, construyen galerías tubícolas en forma de U que les permiten descender a profundidades considerables en la columna de sedimento (Conradi, com. pers.). El tanaidáceo *Aapseudes latreilli* es capaz de alcanzar capas más pro-

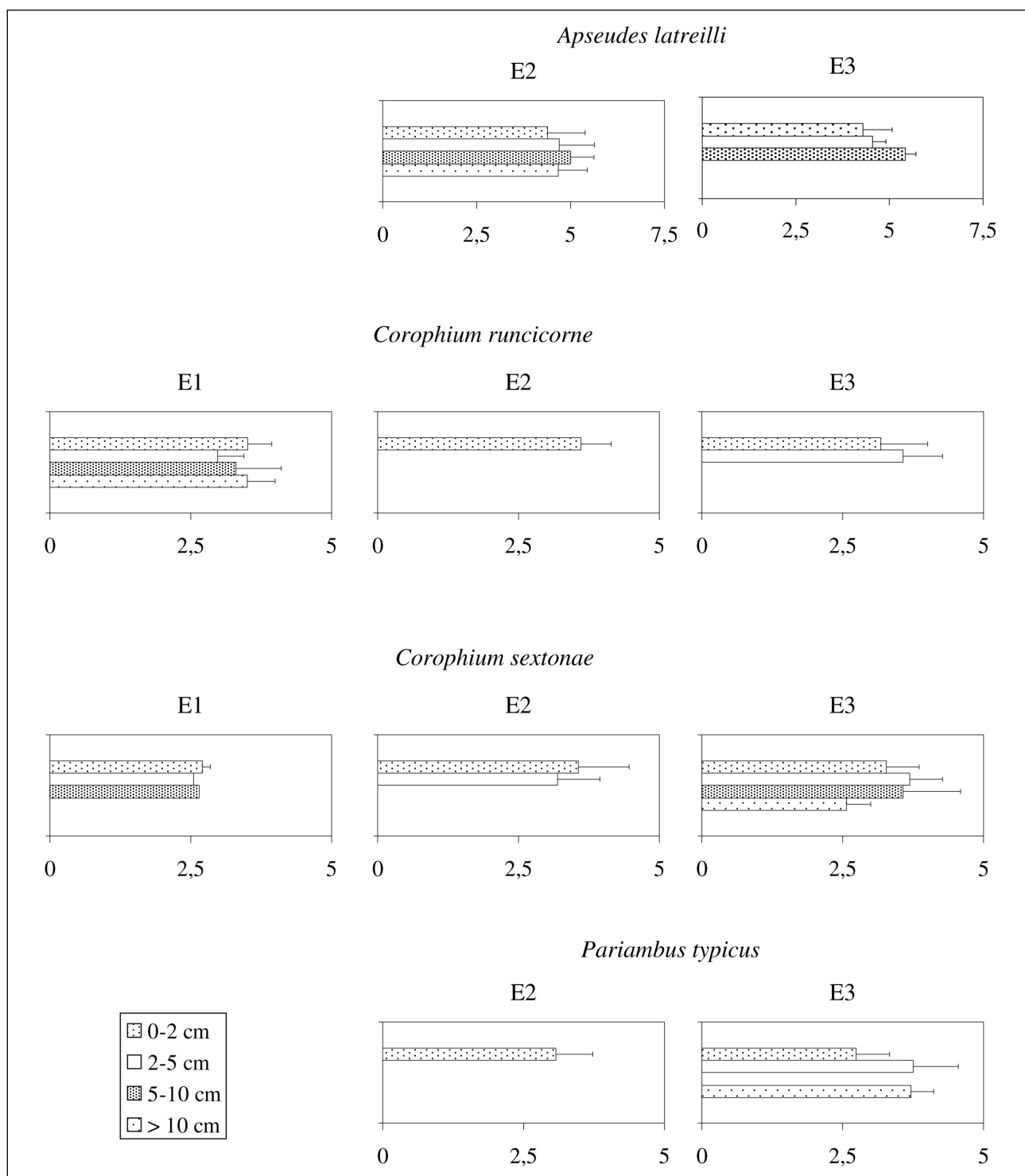


Figura 8. Longitudes medias (en mm) y desviaciones típicas de las especies de crustáceos más abundantes en las estaciones muestreadas.

fundas mediante excavación activa (obs. pers. en individuos vivos).

En cualquier caso, la estratificación vertical de la macrofauna es reflejo de la combinación, por una

lado, de una serie de factores bióticos, como el tipo de alimentación (Mattson, 1981; Clavier, 1984), la competencia entre las especies por el alimento o el espacio (o ambos) (Peterson y Andre, 1980; Hines

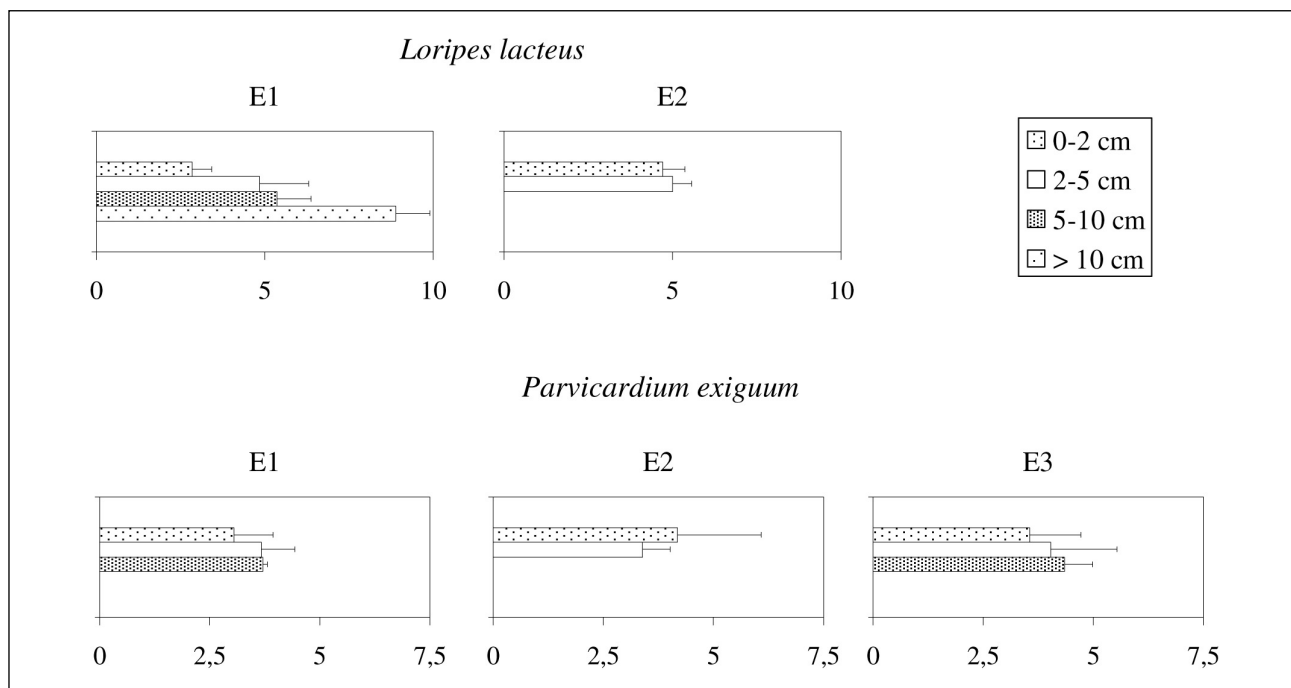


Figura 9. Longitudes medias (en mm) y desviaciones típicas de las especies de moluscos bivalvos más abundantes en las estaciones muestreadas.

y Comtois, 1985), el estado de madurez –los individuos juveniles viven normalmente cerca de la superficie (Clavier, 1984)–, la depredación –que puede manifestarse en el desplazamiento hacia capas más profundas para evitar depredadores (Hill y Elmgren, 1987; Roberts *et al.*, 1989)– y el tamaño de los organismos. A esto hay que añadir, por otro lado, los factores fisicoquímicos, como el grado de reducción del sustrato, que es un factor limitante de la penetración de la fauna (Christie, 1975).

En las estaciones estudiadas del puerto de Ceuta, algunas especies muestran una distribución vertical diferente dependiendo de las estaciones. Así, los bivalvos *Loripes lacteus* y *Parvicardium exiguum* descendieron más en la estación E1. Esta tendencia se manifestó también en el gammárido *Corophium runcicorne*, mientras que el poliqueto *Exogone verrugera* descendió a mayor profundidad en la estación E3. El patrón de distribución vertical para el resto de las especies fue bastante parecido en las tres estaciones. La relación del mayor descenso de los bivalvos *L. lacteus*, *P. exiguum* y el gammárido *C. runcicorne* con las características del sedimento es de explicación difícil. Es posible, sin embargo, que los niveles más bajos de asfaltenos o los valores más bajos de materia orgánica y lípidos en la estación E1 permitan el descenso de estas es-

pecies a niveles más profundos en la columna del sedimento.

El bivalvo *Parvicardium exiguum* se ha considerado tradicionalmente como una especie muy tolerante a las variaciones de salinidad (Tebble, 1966; Rasmussen, 1973), y presenta una vida pelágica de hasta un mes (Lastra, 1991). Este último autor encuentra densidades máximas de esta especie en época estival en poblaciones de la bahía de Santander (744 indiv/m²). Massé y Guérin (1978) apuntan que esta especie, en el Mediterráneo, muestra un dilatado periodo de reclutamiento derivado de una fase de reproducción que puede extenderse desde junio hasta abril.

Loripes lacteus es una especie muy común en las costas españolas, generalmente asociada a fangos, aunque autores como Viéitez (1978) la encuentran asociada a arenas finas con selección moderada. Tiene hábitos suspensívoros y muestra preferencia por los lugares más abrigados a la acción de las olas, pudiendo soportar fondos contaminados (Viéitez, 1978). Bellan (1967) la cita en zonas contaminadas del puerto de Marsella. Anadón (1977) encuentra dos máximos de reproducción para esta especie, uno en invierno y otro en verano.

A pesar de que estas dos especies de bivalvos, muy frecuentes en la zona portuaria ceutí, han sido

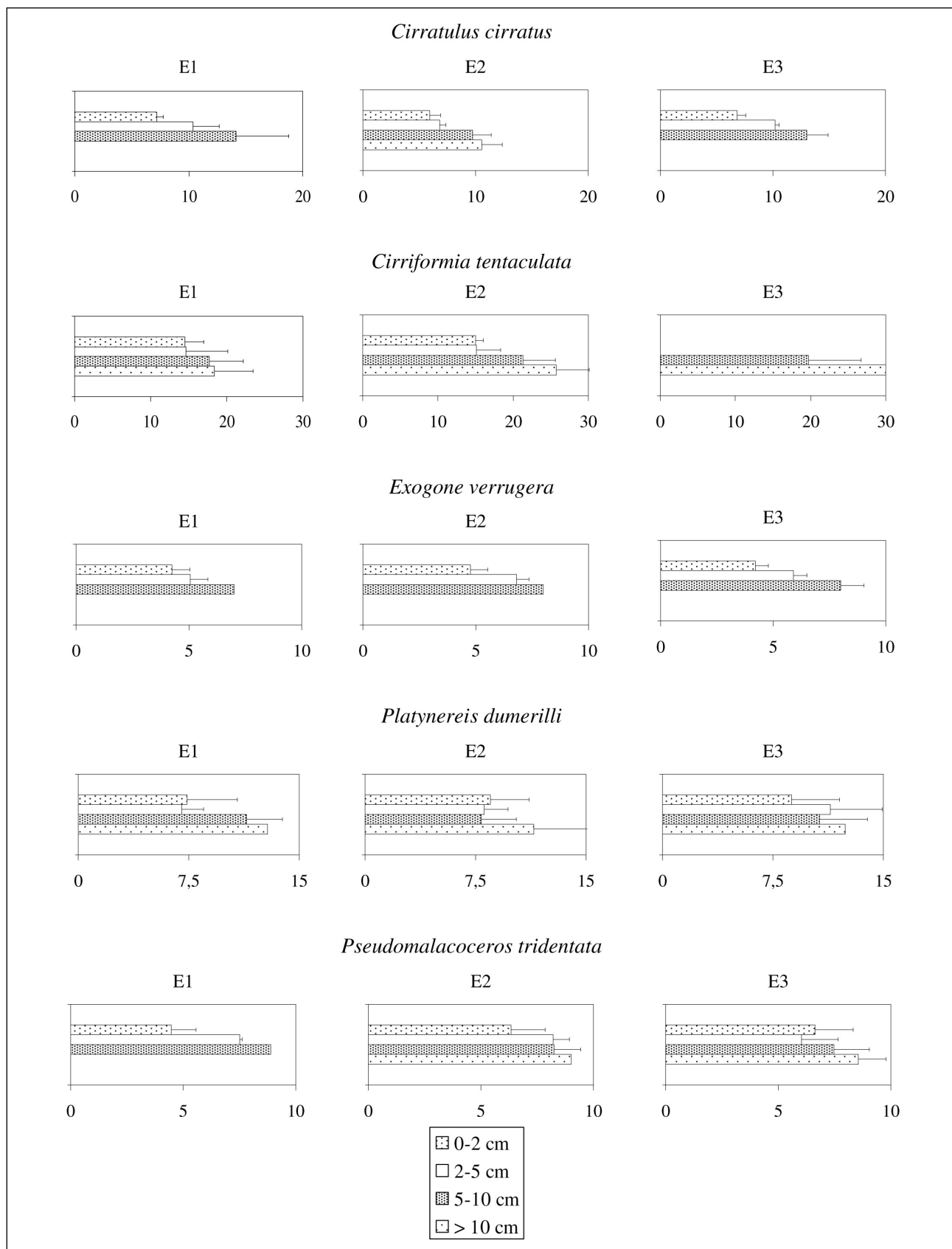


Figura 10. Longitudes medias (en mm) y desviaciones típicas de las especies de poliquetos más abundantes en las estaciones muestreadas.

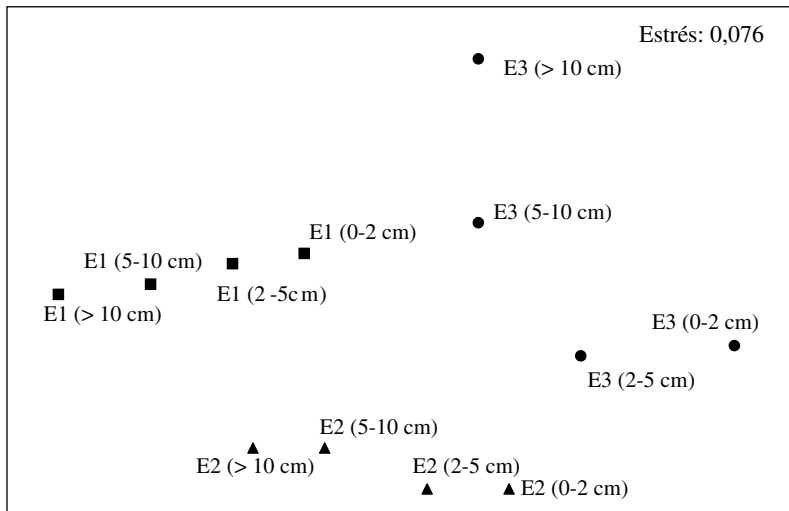


Figura 11. Análisis multidimensional (MDS) elaborado con los valores de abundancia (indiv/0,15 m²) de las especies en los estratos verticales considerados en las estaciones muestreadas.

muy estudiadas, no existen trabajos donde se incluyan datos de su distribución vertical en la columna de sedimento.

Ya se ha comentado cómo el tamaño del organismo es uno de los factores más importantes para determinar la profundización en el sedimento. Un individuo de mayor tamaño puede penetrar más, ya que puede formar galerías más profundas y oxigenar una capa más interna, en el caso de los poliquetos, o presentar sifones más largos, lo que permite vivir a mayor distancia de la fuente de alimento, como sucede en los moluscos (Zwarts y Wanink, 1989; Troncoso y Ugorri, 1993; Zaklan y Ydenberg, 1997). Son justamente estos dos grupos, poliquetos y moluscos, bivalvos en su mayoría, los que mejor han reflejado este patrón de incremento del tamaño con la profundidad en este estudio, mientras que los crustáceos no presentan un patrón claro. El bivalvo *Loripes lacteus* alcanzó tallas cinco veces mayores en los estratos más profundos (más de 10 cm) que en los dos primeros centímetros. Las diferencias de tamaño no fueron tan acusadas en *Parvicardium exiguum*. En el caso de los poliquetos, las tallas de los individuos localizados en los estratos más superficiales se duplicaron en los individuos de los estratos más profundos.

En función de la capacidad de profundización en el sedimento, las especies encontradas en las estaciones de estudio se clasificaron como sigue.

Especies superficiales estrictas

Son aquellas que no se encontraron por debajo de los 5 primeros centímetros de profundidad. Estas

especies están representadas por los gammáridos *Aora spinicornis*, *Cheirocratus sundevalli*, *Leucothoe lilljeborgi*, *Monoculodes carinatus* y *Stenothoe* sp., los caprélidos *Pariambus typicus* y *Phtisica marina*, los cumáceos *Bodotria* sp., *Eocuma* sp., *Iphinoe* sp. y *Pseudocuma longicornis*, el tanaidáceo *Leptochelia dubia*, los moluscos *Cerastoderma edule*, *Cyclope neritea*, *Dosinia lupinus*, *Ervilia castanea*, *Phaxas pellucidus*, *Rissoa similis* y *Venerupis senegalensis*, los poliquetos *Notomastus latericius*, *Sphaerosyllis hystrix*, el equinodermo *Amphipolis squamata* y las anémonas intersticiales.

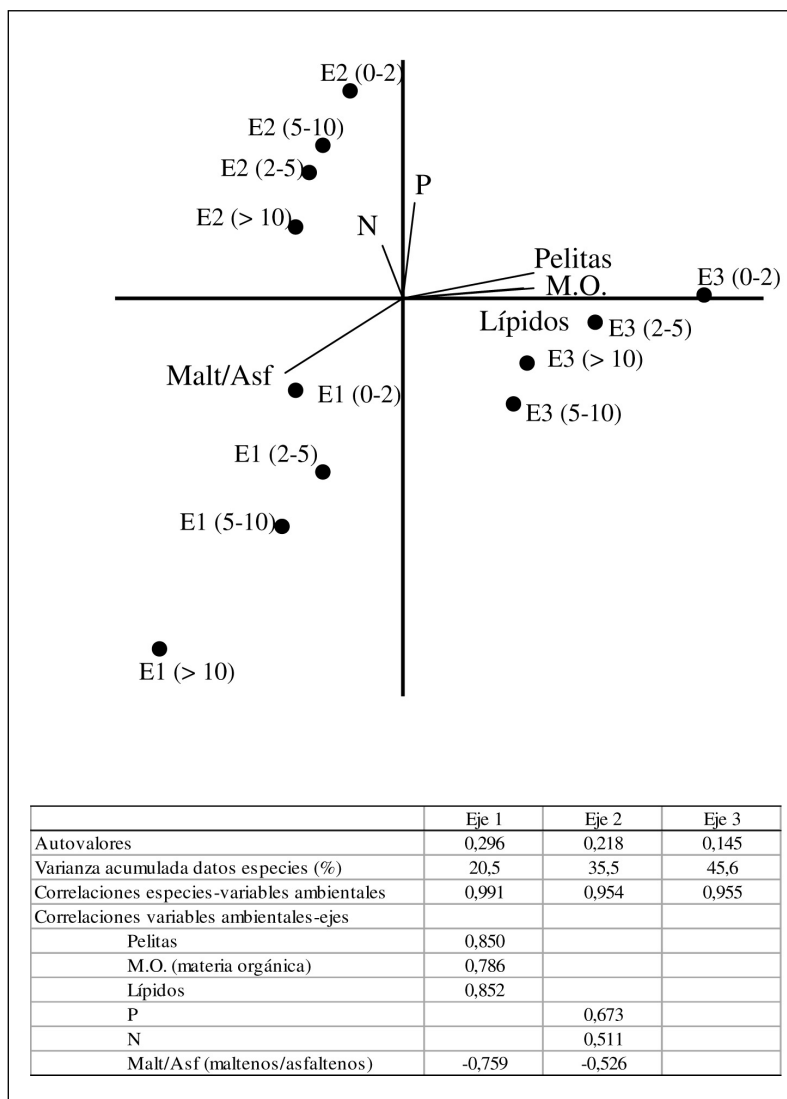
Especies superficiales facultativas

Son aquellas especies que dominan en los primeros 5 cm de profundidad pero pueden encontrarse en zonas más profundas. Destacan el tanaidáceo *Apsuedes latreilli*, los gammáridos *Corophium runcicorne* y *C. sextonae*, los moluscos *Parvicardium exiguum* y *Retusa obtusa* y los poliquetos *Capitella capitata*, *Exogone verrugera* y *Pseudomalacoceros tridentata*.

Especies de amplia distribución vertical con preferencia por estratos de mayor profundidad que 2-10 cm

Este grupo incluye, en su mayoría, especies de poliquetos capaces de adentrarse en las zonas más profundas de la columna de sedimento, como *Cirratulus cirratus*, *Cirriiformia tentaculata*, *Lumbrinereis latreilli* y *Platynereis dumerilii*. El bivalvo *Loripes lacteus* podría incluirse también en este grupo.

Figura 12. Análisis canónico de correspondencias (CCA) elaborado a partir de la matriz de abundancias (indiv/0,15 m²) y la de variables fisicoquímicas medidas para cada uno de los estratos considerados en las estaciones muestreadas.



En cuanto a los perfiles de distribución de las principales variables fisicoquímicas medidas, el patrón es generalizable: un descenso desde la superficie hasta los 10 cm de profundidad y un incremento a partir de los 10 cm. Este patrón se ha obtenido también para los metales pesados en la zona (Guerra-García, 2001). Teniendo presente que la tasa de sedimentación en el puerto de Ceuta es desconocida, no es posible reconstruir la variación temporal de forma precisa. Sin embargo, las tasas de sedimentación calculadas para otros lugares de características similares están en el rango de 3-5 mm/año (Dominik *et al.*, 1991). Si la tasa de sedimentación en la dársena pesquera está en este rango, hace 20-33 años existió un descenso importante en la concentración de contaminantes, cuyas concentraciones se redujeron a la mitad. A partir

de ese momento las concentraciones se han ido incrementando con el paso de los años, y se han alcanzado valores similares, e incluso superiores, a los que existieron hace 20-33 años. En la estación E2 el patrón es diferente, con un incremento de las concentraciones en profundidad, lo que refleja que la deposición de contaminantes ha tenido evoluciones distintas dependiendo de las zonas. Se podría encontrar una posible explicación en los dragados. Todos los puertos se ven obligados a dragar sus fondos, ya sea de forma periódica, para restituir los calados de proyecto (dragados de mantenimiento), o de forma circunstancial, para mejorar dotaciones (dragados de primer establecimiento). Cuando se draga una zona se altera la composición del sedimento (cambios en la materia orgánica, granulometría...) y la distribución de los contami-

nantes también se modifica. Teniendo en cuenta que los dragados en el puerto de Ceuta han sido diferentes según las áreas (en periodicidad e intensidad), es razonable esperar que la distribución vertical en la composición de los sedimentos no sea la misma en las estaciones muestreadas a pesar de la proximidad espacial.

AGRADECIMIENTOS

A la Compañía del Mar, al Club Calypso y a la Autoridad Portuaria de Ceuta por la ayuda prestada en las labores de muestreo. Este estudio está enmarcado en el proyecto Biodiversidad y medio ambiente del litoral ceutí: bases para una mejor gestión, explotación y conservación de sus recursos marinos, y fue financiado por la Asamblea de Ceuta y por una beca de Formación de Profesorado Universitario AP98/28617065 del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, S. E., H. M. Grimshaw, J. A. Parkinson y C. Quarmby. 1974. *Chemical analysis of ecological materials*. Blackwell Scientific Publications. Oxford: 22-23.
- Anadón, R. 1977. *Estudio ecológico de la playa de Foz, Ría de Vigo, España durante los años 1973-1975*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid: 192 pp.
- Bellan, G. 1967. Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Le Secteur de Cirtiou. *Rev. Intern. Océan. Méd.* 6-7: 53-87.
- Clarke, K. R. y R. N. Gorley. 2001. *Primer v.5: User Manual/Tutorial*. Primer-E. Plymouth: 91 pp.
- Clavier, J. 1984. Distribution verticale de la macrofaune benthique dans un sediment fin non exondable. *Cah. Biol. Mar.* 25: 141-152.
- Christie, N. D. 1975. Relationship between sediment texture, species richness and volumen of sediment sampled by a grab. *Mar. Biol.* 30: 89-96.
- Dauwe, B., P. M. J. Herman y C. H. R. Heip. 1998. Community structure and bioturbation potential of macrofauna at four North Sea stations with contrasting food supply. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 173: 67-83.
- Dominik, J., J. L. Loizeau, P. Y. Favarger, J. P. Vernet y R. L. Thmas. 1991. History of mercury contamination reconstructed from high-resolution radio-isotopic dating of sediment cores in lake Geneva. En: *Heavy Metals in the Environment*. J. P. Vernet (ed.) 8: 273. Elsevier. Amsterdam.
- Estacio, F. J. 1996. *Distribución y variación espacio-temporal de las comunidades macrobentónicas del sedimento en la Bahía de Algeciras. Implicaciones en la evaluación de la calidad ambiental del medio marino*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. Sevilla, España: 482 pp.
- Finney, B. P. y C. A. Huh. 1989. History of metal pollution in the southern California Bight: an update. *Environ. Sci. Technol.* 23: 294-303.
- Flach, E. y C. Heip. 1996. Vertical distribution of macrozoobenthos within the sediment of the continental slope of the Goban Spur area (NE Atlantic). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 141: 55-56.
- Garmendia, J. M. 1997. *El macrozoobentos submareal de la Ría de Ares y Betanzos. II. Estructura faunística. Dinámica poblacional en sedimentos arenosos. Impacto inicial de la marea negra del Aegen Sea*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela (A Coruña), España: 557 pp.
- Guerra-García, J. M. 2001. *Análisis integrado de las perturbaciones antropogénicas en sedimentos del puerto de Ceuta. Efecto sobre las comunidades macrobentónicas e implicaciones ambientales*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. Sevilla, España: 346 pp.
- Guerra-García, J. M., F. J. González-Vila y J. C. GarcíaGomez. 2003. Aliphatic hydrocarbon pollution and macrobenthic assemblages in Ceuta harbour: a multivariate approach. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 263: 127-138.
- Gutián, F. y J. Carballas. 1976. *Técnicas de análisis de suelos*. Pico Sacro. Santiago de Compostela (A Coruña), España: 288 pp.
- Hill, C. y R. Elmgren. 1987. Vertical distribution in the sediment in the co-occurring benthic amphipods *Pontoporeia affinis* and *P. femorata*. *Oikos* 49: 221-229.
- Hines, A. y K. Comtois. 1985. Vertical distribution of infauna in sediments of a subestuary of Central Chesapeake Bay. *Estuaries* 8 (3): 296-304.
- Johnson, R. G. 1967. The vertical distribution of the infauna of a sand flat. *Ecology* 48 (4): 571-578.
- Lastra, M. 1991. *Cartografía y dinámica de la macrofauna bentónica submareal de los sustratos blandos de la Bahía de Santander*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela (A Coruña), España: 383 pp.
- McCune, B. y M. J. Mefford. 1997. *PC-ord. Multivariate analysis of ecological data*. Mjm Software Design. Gleneden Beach. EE UU: 47 pp.
- Massé, G. y J. P. Guérin. 1978. Étude expérimentale sur le recrutement des espèces de la macrofaune benthique des substrats meubles. Données sur les cycles biologiques des Polychètes et des Bivalves. *Tethys* 3: 283-294.
- Mattson, S. 1981. Burrowing and feeding of *Goniada maculata* Orsted (Polychaeta). *Sarsia* 66: 49-51.
- Palacio, J., M. Lastra y J. Mora. 1991. Distribución vertical de la macroinfauna intermareal de la Ensenada de Lourizán (Ría de Pontevedra). *Thalassas* 9: 49-62.
- Peterson, C. H. y S. V. Andre. 1980. An experimental analysis of interspecific competition among marine filter feeders in a soft-sediment environment. *Ecology* 61: 129-139.
- Pielou, E. C. 1984. *The interpretation of ecological data: a primer on classification and ordination*. John Wiley and Sons. Nueva York: 263 pp.

- Rasmussen, E. 1973. Systematics and ecology of the Isefjord marine fauna (Denmark). *Ophelia* 11: 1-482.
- Roberts, D., D. Rittschof, D. J. Gerhart, A. R. Schmidt y L. G. Hill. 1989. Vertical migration of the clam *Mercenaria mercenaria* (L.) (Mollusca: Bivalvia): environmental correlates and ecological significance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 126: 271-280.
- Sánchez-Mata, A. 1996. *El macrozoobentos submareal de la Ría de Ares y Betanzos. I. Estructura biosedimentaria y dinámica poblacional. Impacto de la marea negra del Aegean Sea*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela (A Coruña), España: 628 pp.
- Santschi, P., P. Höhener, G. Benoit y M. Bucholtz-ten Brink. 1990. Chemical processes at the sediment water interface. *Mar. Chem.* 30: 269-315.
- Shannon, C. E. y W. Weaver. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press. Urbana, Illinois, EE UU: 117 pp.
- Tebble, N. 1966. *British bivalve seashells*. Trustees of the British Museum (Nat. Hist.). Londres: 212 pp.
- Troncoso, J. S. y V. Urgorri. 1992. Distribución vertical de los moluscos en los sedimentos de la Ría de Ares y Betanzos (Galicia, España). I. Metodología, caracterización de las estaciones y estructura faunística de los niveles. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)* 3: 145-160.
- Troncoso, J. S. y V. Urgorri. 1993. Distribución vertical de los moluscos en los sedimentos de la Ría de Ares y Betanzos (Galicia, España). II. Relación entre la talla y el grado de enterramiento en el sedimento. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)* 89 (1-4): 95-100.
- Viéitez, J. M. 1978. *Comparación ecológica de dos playas de las Rías de Pontevedra y Vigo*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid: 273 pp.
- Zaklan, S. D. y R. Ydenberg. 1997. The body size-burial depth relationship in the infaunal clam *Mya arenaria*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 215: 1-17.
- Zowlsman, J. J. G., G. W. Berger y G. T. M. van Eck. 1993. Sediment accumulation rates, historical input, postdepositional mobility and retention of major elements and trace metals in salt marsh sediments of the Scheldt estuary, SW Netherlands. *Mar. Chem.* 44: 73-94.
- Zwarts, L. y J. Wanink. 1989. Siphon size and burying depth in deposit -and suspension- feeding benthic bivalves. *Mar. Biol.* 100: 227-240.