

<i>Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación</i>	9	103-114	Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir	Valencia (España)	ISSN 1888-8550
--	---	---------	---	-------------------	----------------

Foraminíferos bentónicos actuales en la marjal de Almenara (Castelló): subzonación de ambientes parálidos mediante la taxonomía y la ecología

Current benthic foraminifera in the Almenara's marsh (Castelló):
area subdivision of paralic environments using taxonomy and ecology

Fecha de recepción y aceptación: 10 de octubre de 2016 y 18 de noviembre de 2016

Daniel Sanjuán Lamata¹ y Ana María Blázquez^{1*}

¹ Instituto de Medio Ambiente y Ciencia Marina (IMEDMAR). Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir.

* Correspondencia: Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir. Facultad de Ciencias Veterinaria y Ciencias Experimentales. Calle Guillem de Castro, 94. 46001 Valencia. España. E-mails: janine@utp.edu.co; ana.blazquez@ucv.es



RESUMEN

En este trabajo se pretende caracterizar la distribución y taxonomía de los foraminíferos actuales en la marjal de Almenara. Para ello se han realizado dos transectos perpendiculares a la costa, donde se han tomado diez muestras: uno, con ocho estaciones localizadas en la marjal de Almenara, y otro, con dos puntos situados en el canal de la gola de Casablanca, que conecta el ambiente parálico con el mar. Se han estudiado 2.896 foraminíferos, que se han separado por biocenosis y tanatocenosis, clasificados en 36 especies, de las cuales son dominantes *Ammonia tepida* (Linne), *Paraphysalidia paralica* (Guillem y Usera) y *Trichoyalus aguayoi* (Bermúdez). La biocenosis representa el 4,8 % del total de foraminíferos. Los índices ecológicos (Shannon-Wiever, riqueza de Margalef) evidencian una mayor diversidad en las muestras del canal respecto a las de marjal, y progresivamente se observa un aumento de los índices de diversidad desde las posiciones más continentales en dirección al mar. Por otro lado, en este trabajo se citan especies como *Paraphysalidia paralica* y *Pseudothurammina limnetis* (Scott & Medioli), apenas descritas en el Mediterráneo.

PALABRAS CLAVE: foraminíferos, marjal de Almenara, tanatocenosis, biocenosis, Mediterráneo.

ABSTRACT

This research aims to characterize the distribution and taxonomy of the current foraminifera in the Almenara marsh. For this, two transects have been made perpendicular to the coast where 10 samples have been taken: one, with 8 stations located in the Almenara marsh and another with 2 points located in the gola channel of Casablanca, which connects the marsh environment with the sea. We studied 2838 foraminifera, which have been separated by biocenosis and tanatocenosis, classified in 36 species, of which *Ammonia tepida* (Linne), *Paraphysalidia paralica* (Guillem and Usera) and *Trichoyalus aguayoi* (Bermúdez) are dominant. Biocenosis represents 4.8% of the total foraminifera. The ecological indices (Shannon-Wiever, Margalef's richness) show a greater diversity in the channel samples than in the marsh, and an increasing diversity indexes are observed from the continental positions towards the sea. On the other hand, in this work are mentioned species like *Paraphysalidia paralica* and *Pseudothurammina limnetis* (Scott and Medioli), hardly described in the Mediterranean.

KEYWORDS: foraminifera, Marjal de Almenara, Tanatocenosis, Biocenosis, Mediterranean Sea.



INTRODUCCIÓN

La marjal de Almenara se encuentra en la comarca de la Plana Baixa, Castelló, enmarcada en la intersección de las llanuras costeras de Sagunt y Castelló de la Plana, que se originaron durante el Oligoceno superior - Mioceno inferior a partir de estructuras de graben que fueron rellenadas por material aluvial acumulado durante la transgresión del Holoceno¹. Incluida dentro de la Red Natura 2000, la marjal ha sido bien estudiada previamente como ambiente parálico a partir de la caracterización geoquímica [2] de sus depósitos, especialmente de la turba, así como del análisis estratigráfico y sedimentario de su registro y la influencia de las variaciones eustáticas [3]. La alimentación hídrica de la marjal se produce sobre todo por surgencias subterráneas (*ullals*), aunque en menor medida también recibe caudal por filtraciones marinas, desbordamientos puntuales de los ríos Belcaire y Palància, escorrentía y entradas de agua salada por encima de la barrera durante episodios energéticos marinos [4]. En la actualidad domina el uso agrícola y la gola canalizada de Casablanca está cerrada al mar mediante compuertas, con objeto de proteger los cultivos de la salinidad procedente del medio marino (figura 1).

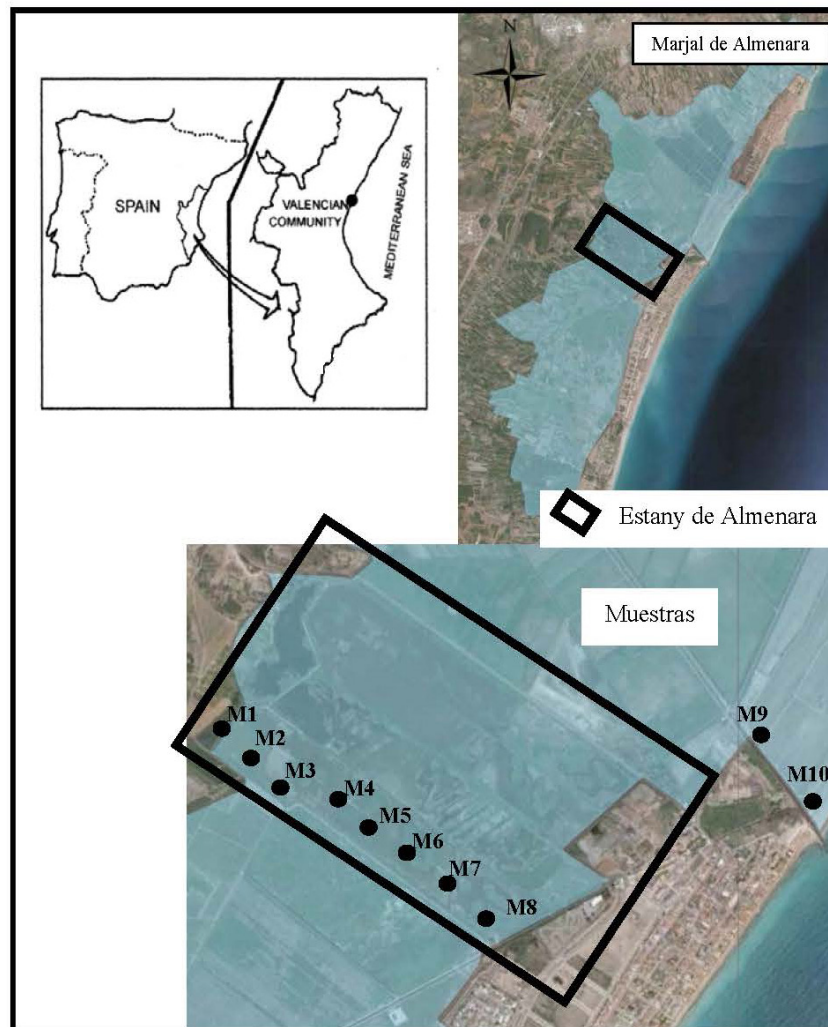


Figura 1. Área de estudio y localización de las muestras.

El interés científico de este trabajo consiste en determinar la asociación de foraminíferos de la marjal actual. La extrapolación de dicha asociación a las reconstrucciones de depósitos fósiles cuaternarios supondrá una aproximación más fiable a las interpretaciones paleoambientales. Estas inferencias están basadas en la autoecología de las especies que forman la asociación dominante [5-6], lo que implica aproximaciones a las características físico-químicas del agua de antiguas lagunas y marjales (salinidad, temperatura), y en la zona litoral, ofrecen datos muy significativos en relación con los cambios del nivel del mar, el paleoclima, la dinámica marina, etc., que han acaecido durante el registro geológico. Numerosos trabajos en el ámbito valenciano han sido publicados con estos objetivos y siguiendo la misma metodología [7-11].

El objetivo del presente artículo es la caracterización de la asociación actual de foraminíferos de la marjal de Almenara, tanto de la biocenosis como de la tanatocenosis. Para ello se han tomado muestras sedimentarias superficiales, se han estudiado los caparazones desde el punto de vista taxonómico y tafonómico, se han calculado índices de diversidad y riqueza y se han relacionado los aspectos geomorfológicos y ambientales de la cuenca con la distribución espacial de los mismos.

Esta investigación presenta los principales resultados de las Prácticas Externas y de un Trabajo de Fin de Grado de Ciencias del Mar en la línea de Geomorfología costera del IMEDMAR, defendido por Daniel Sanjuan en junio del 2015.

MATERIAL Y MÉTODOS

La campaña se diseñó en dos transectos con un total de diez estaciones. Un transecto con una dirección NW-SE desde el interior de la marjal hacia el área más próxima a la costa y otro en el canal de la gola o bocana, es decir, la zona principal de mezcla entre el agua marina y la continental, pese a la compuerta que aísla el canal del mar abierto. Se ha elegido este modelo para comprobar si existe variación taxonómica, de riqueza, diversidad y abundancia entre los puntos de muestreo respecto la salinidad [7]. Las muestras de sedimento se recogieron el 15 de febrero de 2013 mediante buzo, que arrastró el muestreador unos 20 cm sobre el fondo recuperando los primeros tres centímetros. Inmediatamente fueron fijadas con formaldehído al 10 % para la conservación de las partes blandas.

En el laboratorio se levigaron con tamices de luz 500 μm para eliminar la porción del sedimento más gruesa y 63 μm para despreñar los limos y arcillas. Los sedimentos arenosos fueron teñidos con el método de Rosa de Bengala (diluido al 1 % y durante 1 h), que tiñe y fija la parte orgánica, lo que permite diferenciar entre biocenosis y tanatocenosis a través de la distinción entre organismos teñidos (considerados vivos) de los no teñidos (considerados muertos). Las muestras se trataron según el procedimiento descrito por Walton [12]. Posteriormente se lavaron para eliminar el exceso de Rosa de Bengala. Algunos autores han criticado este método [13-14] ya que a veces los caparazones pueden contener restos orgánicos externos o internos que den falsos positivos y, por otro lado, el método es más problemático en caparazones de concha aporcelada (orden Miliolida) o aglutinada (orden Lituolida), lo que dificulta la observación del interior de los individuos. En cualquier caso, es el método más usado, más barato y el que da mejores resultados de los existentes para esta finalidad.

Para favorecer el triado de los caparazones se flotaron con líquidos densos (tricloroetileno). El procedimiento produce la separación del flotado menos denso, compuesto de caparazones y restos vegetales, mientras que los sedimentos de origen inorgánico se hunden. Según Lutze [15] con este método se recuperan hasta el 94 % de los foraminíferos en una muestra. Finalmente se procedió al triaje, clasificación taxonómica y fijado al portaobjetos de los foraminíferos según el protocolo de Murray [16], esto es, extrayendo 300 individuos por muestra, que es el número estadístico suficiente para el cálculo fiable de los índices de diversidad y riqueza y el establecimiento de las relaciones entre las especies dominantes. En todo momento se han considerado separadamente las asociaciones vivas (citoplasma teñido) de las muertas (no teñidas). La clasificación taxonómica se ha basado especialmente en la World Register of Marine Species (WORMS).

La riqueza y diversidad de cada muestra se ha calculado mediante una serie de índices seleccionados atendiendo a su significación específica en ecología. A partir del recuento de caparazones y su clasificación taxonómica se han calculado cuatro índices ecológicos:

- La riqueza específica de Margalef (D_{mg}) es una medida utilizada en ecología para estimar la diversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos totales en cada muestra. S el número de especies y N el número de individuos.

$$D_{mg} = \frac{S-1}{\ln N}$$



- El índice de diversidad de Shannon-Wiener (H), según el cual la diversidad o información de un sistema natural puede estimarse de forma análoga a la información que contiene cualquier mensaje P , es la proporción de la muestra que representa la especie.
$$H = - \sum P_i \ln P_i$$
- El índice de Simpson (D) es uno de los más utilizados para medir la dominancia. Donde p es la proporción de individuos en la muestra. D decrece según aumenta la diversidad, por lo que se suele usar el recíproco del índice ($1/D$) para obtener la medida directa de la diversidad. Es lo que se ha realizado en este trabajo.
$$D = \sum P_i^2$$
- El índice de equitatividad (J) es el grado de igualdad de la distribución de la abundancia (número de individuos, cobertura o biomasa) de las especies; el valor máximo (1) ocurre cuando todas las especies presentan la misma abundancia.
$$J = \frac{H}{\ln S}$$

Además de estos índices, se ha empleado un análisis clúster, que es una de las herramientas estadísticas más empleadas en el estudio de foraminíferos actuales. Para contrastar los resultados se han realizado dos tipos de análisis multivariante, para los cuales se han tomado las muestras como variables en correlación con la proporción de cada especie en cada muestra. El procedimiento I se ha basado en el método de agrupamiento de Ward, utilizando el coeficiente de semejanza de la distancia euclídea al cuadrado. El procedimiento II se ha calculado mediante el método de agrupamiento vinculación intergrupos, coeficiente de semejanza el coeficiente de Pearson.

RESULTADOS

Las muestras estudiadas son limos y arcillas ricas en materia orgánica. En posiciones más cercanas a la costa y especialmente en el canal (M9 y M10), aumenta la proporción de arenas y disminuye el contenido en materia orgánica. Los trabajos de campo permitieron identificar la importancia del sustrato vegetal en toda la zona muestreada, incluyendo el canal-gola de Casablanca. Se han obtenido 2.898 caparazones, que se han clasificado taxonómicamente en 36 especies, de las cuales solo 10 superan el 1 % de los foraminíferos recolectados en cada muestra y, por tanto, son las especies más representativas de la tanatocenosis y biocenosis. Las especies que forman la asociación dominante son:

- *Ammonia tepida* (Cushman) es ubicua en todas las muestras, con un total de 1.552 caparazones, además de ser la más frecuente (52,5 % del total de individuos). En cinco de las diez muestras (M1, M3, M4, M5 y M6) representa prácticamente la totalidad de las conchas.
- *Paraphysalidia paralica* (Guillem y Usera) es la segunda especie con mayor representación (514 individuos, un 17,7 % del total de foraminíferos estudiados); también es ubicua. Es la especie mayoritaria con diferencia en M2, en detrimento de *A. beccarii*. De los 301 caparazones estudiados se han reconocido 286 de esta especie. La estación donde se registra menor representación es M4 (6 individuos). En el resto de muestras se cuentan entre 55 y 10 individuos.
- *Trichohyalus aguayoi* (Bermúdez) es la tercera especie más abundante, con 221 individuos, y se registra en todas las muestras menos en M10. Representa el 7,6 % del total de foraminíferos estudiados. Es la especie más abundante en M8, con 124 caparazones del total de la muestra. En el resto de muestras su número varía entre 3 individuos (M2) y 31 (M1). Es la tercera especie más abundante en la tanatocenosis.

Tabla 1. Número de individuos y de especies de foraminíferos. En gris oscuro las especies >1 %

Ssp	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	Total	%
<i>Ammonia tepida</i>	204	6	336	268	234	256	16	94	85	23	1522	53,63
<i>Boliviana pseudoplicata</i>								7	7	21	36	1,27
<i>Haynesina germanica</i>				9		16	1	4	23	70	123	4,33



Ssp	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	Total	%
<i>Jadammina macrecens</i>	7					8	7		7	1	30	1,06
<i>Miliolinella eburnea</i>	5			1			1	17	14	35	73	2,57
<i>Paraphysalidia paratica</i>	55	286	25	6	38	31	10	16	37	10	514	18,11
<i>Pseudothurammina limnetis</i>			9						38	2	49	1,73
<i>Rosalina mediterraneensis</i>	4			11					7	37	59	2,08
<i>Trichohyalus aguayoi</i>	31	3	11	9	22	5	8	124	8		221	7,79
<i>Trochammina inflata</i>				2	7	2	6	10			27	0,95
<i>Elphidium sp</i>				1		5	1	5	20	3	35	1,23
<i>Adesoloina elegans</i>									3	6	9	0,32
<i>Bolivina earlandi</i>				1					3		4	0,14
<i>Hanzawaia boueana</i>										3	3	0,11
<i>Haynesina depressula</i>				1					5	13	19	0,67
<i>Lagema sp.</i>										2	2	0,07
<i>Lobatula lobatula</i>									2	4	6	0,21
<i>Miliammina fusca</i>									10		10	0,35
<i>Miliolinella circularis</i>	1							16	1	6	24	0,85
<i>Nonion commune</i>	6								5	1	12	0,42
<i>Nubecularia sp.</i>										1	1	0,04
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	1								1	1	3	0,11
<i>Spirillina vivipara</i>									2	10	12	0,42
<i>Triloculina trigonula</i>									7	1	8	0,28
<i>Turrispirillina sp.</i>										1	1	0,04
<i>Brizalina sp.</i>									2		2	0,07
<i>Buliminella elegantissima</i>									3		3	0,11
<i>Quinqueloculina sp.</i>									3		3	0,11
<i>Cornuspira insolvens</i>		6							9		15	0,53
<i>Sigmoilina sp.</i>									2		2	0,07
<i>Rosalina globularis</i>								3	2		5	0,18
<i>Buliminella sp.</i>								1			1	0,04
<i>Uvigerina sp.</i>									1		1	0,04
<i>Pileolina patelliformis</i>									3		3	0,11
N.º individuos muestra	314	301	381	309	302	323	50	297	310	251	2838	100



- *Haynesina germanica* (Ehrenberg), con 123 individuos contabilizados, representa el 4,2 % del total de individuos de la tanatocenosis. La mayor concentración de esta especie se da en la muestra M10, con 70 conchas, seguida por la M9 con 23 caparazones. Se registra entre M4 y M10; varía su número en las muestras M4-M8, desde 1 hasta 16 conchas.
- *Miliolinella eburnea* (D'Orbigny) representa el 2,5 % del total de especímenes, con 73 individuos, especialmente localizados en M8, M9, M10.
- *Rosalina mediterraneensis* (D'Orbigny) se han encontrado 59 caparazones, la mayoría en M10, que suman un total de 2,08 %.
- *Pseudothuramina limnetis* (Scott & Medioli) con 49 individuos (1,7 %) del total de caparazones. Solo la encontramos en tres estaciones (M3, M9 y M10), variando entre 2 individuos (M10) y 38 (M9).
- *Bolivina pseudoplicata* (Heron-Allen & Earland) cuenta con 36 individuos (1,27 %), la mayoría de ellos concentrados principalmente en M10, y en menor medida en M8 y M9.
- Las conchas de *Trochammina inflata* (Montagú) encontradas suman un total de 27, que representan el 1 % del total de individuos y se reparten entre las muestras M4, M5, M6, M7 y M8. Varían de 2 caparazones en M4 y M6 hasta 10 en M8.
- *Jadammina macrescens* (Brady), con un total de 30 individuos (1 % del total) repartidos entre las muestras M1, M6, M7, M9 y M10. Su número es constante en torno a 7 individuos en todas las muestras, menos en M10, donde solo se encuentra un caparazón.

De todas las especies identificadas, la más abundante es *A. tepida*, seguida por *P. paralica* y *T. aguayoi* (tabla 1). Las tres especies representan casi el 80 % de los individuos estudiados. El conjunto de las diez especies dominantes (>1 %) suma el 93,52 % de los caparazones computados. La mayoría de especies registradas se localiza en el canal-gola (M9 y M10), mientras que en la zona interior de la marjal se constata la dominancia de dos especies: *A. tepida* y *P. paralica*.

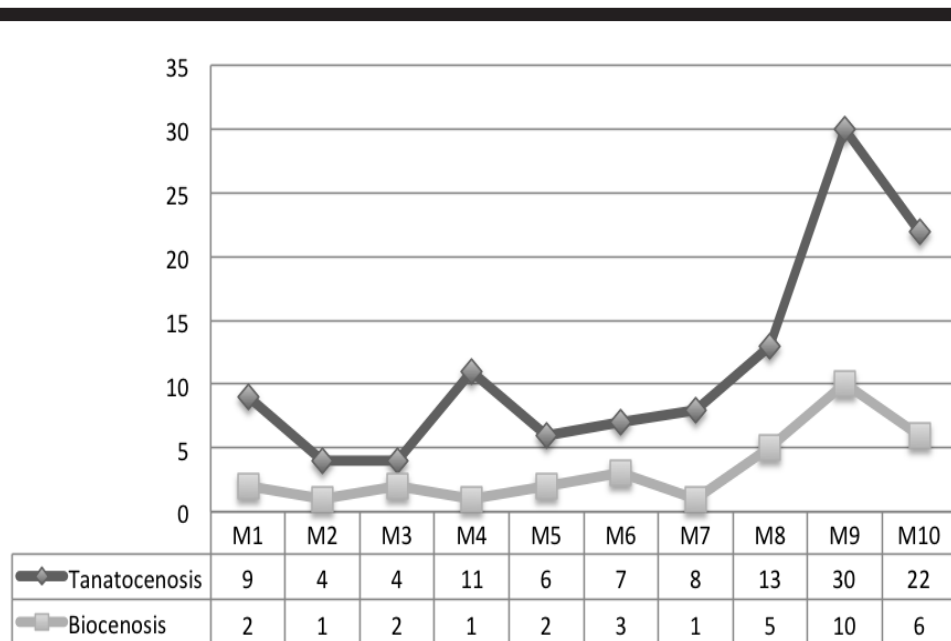


Figura 2. Variación del número de especies por muestra para tanatocenosis y biocenosis.

El estudio diferenciado entre *tanatocenosis* y *biocenosis* indica que 137 de los 2.898 caparazones recogidos están teñidos, por lo que se consideran como vivos en el momento de la recogida de muestras. En general, se registra un aumento del



número de especies desde la estación M1 hasta la M9, tanto de teñidos como no teñidos (figura 2). En la estación M4 se aprecia un repunte, con 11 especies determinadas. A partir de M5 hasta M9 hay un ascenso constante, desde 6 hasta las 30 especies, respectivamente. En el canal, en la muestra más próxima al mar (M10), se han identificado 21 especies, menos respecto a M9.

En la biocenosis (figura 2), hay tres muestras donde una única especie (*A. tepida* o *P. paralica*) representa todos los individuos vivos (M2, M4 y M7). El máximo para la biocenosis también se encuentra en M9, con 10 especies identificadas como teñidas. Este es el patrón que siguen la mayor parte de las estaciones, es decir, en las muestras donde aumenta la diversidad específica en la tanatocenosis también lo hace en la biocenosis.

El porcentaje de individuos teñidos respecto a los no teñidos es bajo (4,8 %). De M1 a M3 los valores están entre el 4,14 y 2,89 %, respectivamente. M4 es la muestra con menor número de individuos vivos, con tan solo un 0,96 %. Entre M5 y M8 los valores van en aumento desde 1,97 hasta 5,98 %. Por último, en M9 y M10 el porcentaje de la biocenosis casi alcanza el 10 % de los individuos estudiados (tabla 2).

Tabla 2. Número de caparazones teñidos (biocenosis)

Ssp	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	Total ssp
<i>Ammonia tepida</i>	7		10	3	4	9	2	7	12	3	57
<i>Boliviana pseudoplicata</i>									3		3
<i>Elphidium excavatum</i>									1		1
<i>Elphidium macellum</i>						1		2		3	6
<i>Hanzawaia boueana</i>										2	2
<i>Haynesina depressula</i>									2		2
<i>Haynesina germanica</i>								3	3	12	18
<i>Lobatula lobatula</i>									1		1
<i>Paraphysalidia paralica</i>	6	9	1		2	6		2	1		27
<i>Rosalina mediterraneensis</i>									1	7	8
<i>Spirillina vivipara</i>									2	3	5
<i>Trichohyalus aguayoi</i>								4	3		7
N.º individuos muestra	13	9	11	3	6	16	2	18	29	30	137

Las especies teñidas más encontradas en la marjal de Almenara son *A. tepida* y *P. paralica*. En M1 las dos especies se reparten casi de forma equitativa, con 54 y 46 %, respectivamente (tabla 2). En M2, *P. paralica* es la única especie de la biocenosis y en M4 *A. tepida* es la única encontrada teñida. *A. tepida* es la especie más representativa en M6 y M7. En M8 *A. tepida* desciende hasta el 40 %. M9 es la muestra más equitativa dado que aparecen *T. aguayoi* (22 %), *H. germanica* (17 %), *P. paralica* (11 %) y *Elphidium* sp. (11 %). *A. tepida* pasa al 1 % en M10. En M9, *P. paralica* y *R. mediterraneensis* ocupan un 3 % cada una. En M10, *R. mediterraneensis* es la especie más representativa con el 23 %, seguida por *H. germanica* (4 %), *B. pseudoplicata* (1 %) y *T. aguayoi* (1 %).



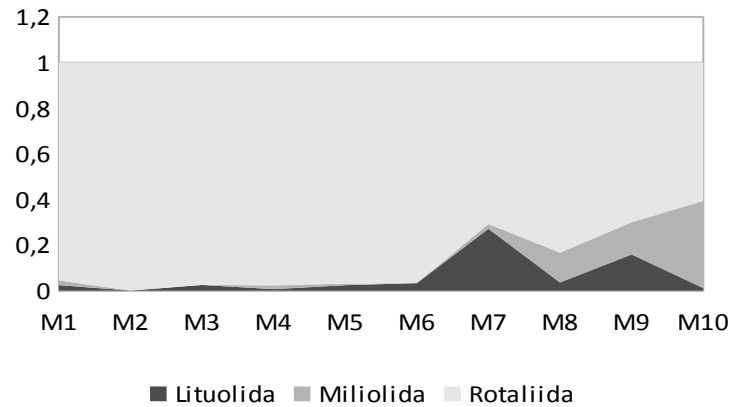


Figura 3. Proporción de individuos (>1 %) distribuidos por órdenes (Rotaliida, Miliolida, Lituolida).

Desde el punto de vista de la *distribución espacial de los foraminíferos clasificados por órdenes* no se aprecian diferencias entre la tanatocenosis y la biocenosis. La figura 3 refleja el porcentaje del orden calculado sobre el total de caparazones extraídos en cada muestra. En todas las muestras el orden Rotaliida es superior, especialmente entre M1 y M6 donde representan la práctica totalidad de los caparazones (entre el 96 y 98 %); en M2, es el 100 %. El valor más bajo está en M10 (65 %). El orden Lituolida está presente en todas las muestras, excepto en M2; sus máximos están en las estaciones M7 y M9, con 26 y 15 % respectivamente. Los caparazones del orden Miliolida varían entre el 1 y el 2 % entre las muestras M1 y M7; están ausentes en M2, M3 y M6. A partir de M8 su porcentaje aumenta progresivamente, desde un 12 % en M8 hasta un máximo en M10 (34 %).

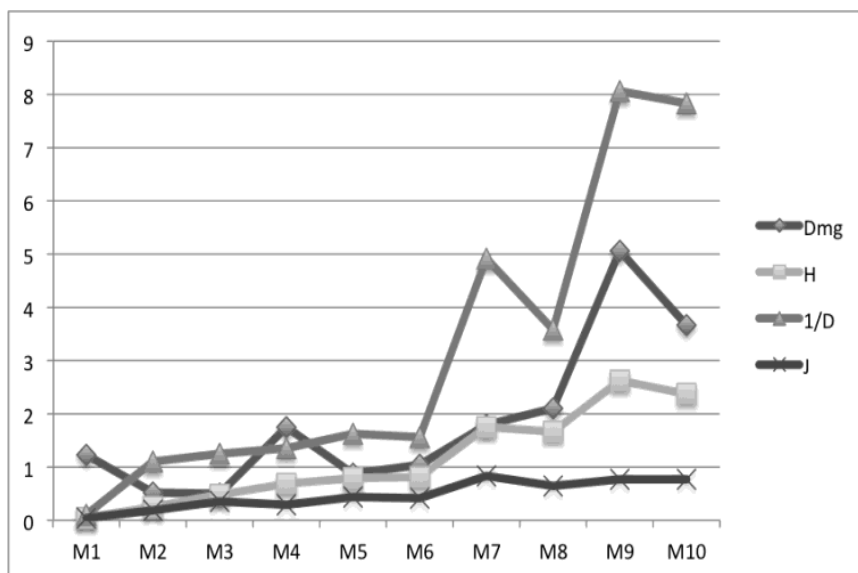


Figura 4. Índices ecológicos del contenido en foraminíferos: Dmg (riqueza de Margalef), H (índice de Shannon-Wiener), 1/D (recíproco del índice de diversidad de Simpson) y J (equitatividad).



Por último, los *índices de diversidad ecológica* se han calculado sobre el total de foraminíferos dado que los datos de la biocenosis, al ser tan bajos, no son significativos. Los índices de riqueza específica de Margalef (Dmg), índice de diversidad de Shannon-Wiever (H), el recíproco del índice de diversidad de Simpson (1/D) y la equitatividad siguen una evolución paralela salvo en alguna estación, como se aprecia en la figura 4. Las diversidades y riquezas más altas se obtienen en las muestras M6-M10, es decir, en las posicionadas más cerca de la costa.

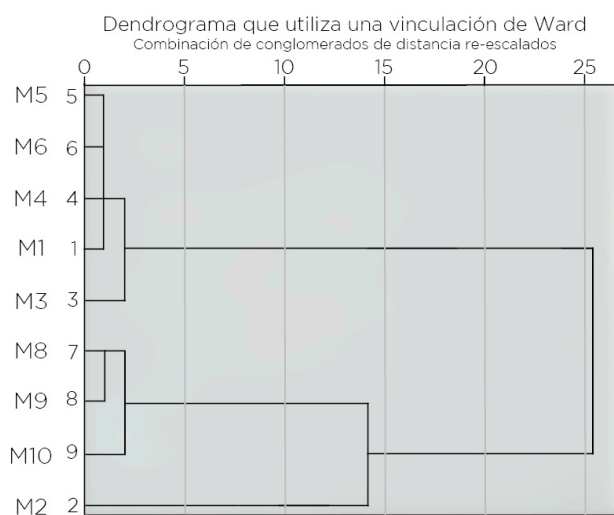


Figura 5. Dendrograma según el procedimiento I. Método de agrupamiento de Ward. Coeficiente de semejanza: cuadrado de la distancia euclídea.

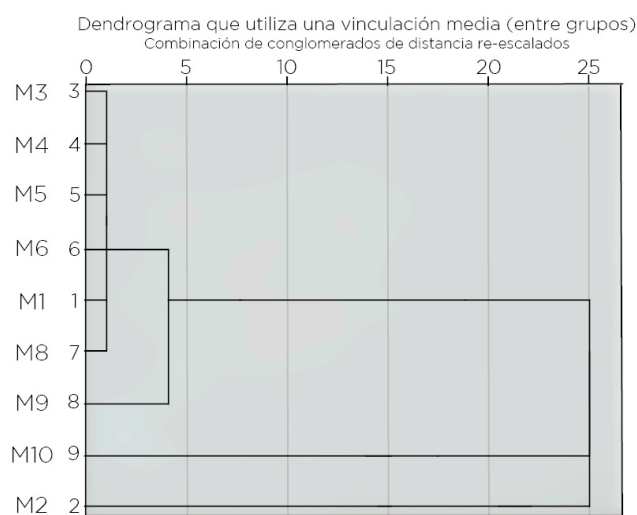


Figura 6. Dendrograma según el procedimiento II. Método de agrupamiento vinculación intergrupos. Coeficiente de semejanza: coeficiente de Pearson.

El resultado del *estudio estadístico* basado en el análisis clúster se representa en las figuras 5 y 6. El dendrograma según el procedimiento I (figura 5) muestra tres grupos diferentes relacionados entre ellos en diverso grado. El primer grupo, formado por las muestras M1-M6, presenta una correlación bastante alta; M3, aunque a una distancia ligeramente superior, también se agrupa en este primer grupo. Por otro lado, las muestras M8, M9 y M10 forman el segundo grupo, donde M8 y M9 son más próximas entre sí respecto a M10. Finalmente M2 forma su propio grupo, siendo más próxima al segundo grupo (M8-M10). El dendrograma del procedimiento II (figura 6) muestra cuatro grupos diferentes. El primer grupo del procedimiento II está compuesto por el conjunto de las muestras M1-M9, si bien M9 tiene una correlación menos evidente. A diferencia del procedimiento I, en este se aprecian dos grupos más, con una sola muestra por cada uno de ellos: M10.

DISCUSIÓN

Los ambientes parálidos como los *lagoons* no mareales (lagunas litorales) muestran grandes diferencias en sus parámetros físico-químicos a lo largo del año por factores tan distintos como la entrada de agua dulce por escorrentía, evapotranspiración, micromareas, intrusiones marinas o precipitaciones [16]. Estas variaciones pueden crear subambientes dentro de la marjal con cambios en parámetros como la salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, etc. Suelen seguir una evolución espacial según la profundidad o, como suele ocurrir en marjales poco profundas,



una distribución horizontal donde las zonas más próximas al mar están más determinadas por la infiltración de aguas salinas y, por tanto, controladas por la salinidad [17].

Según estudios previos los foraminíferos con caparazones del orden Rotaliida (caparazón calcáreo hialino) tienen preferencia por ambientes de marjal bajos, próximos a la línea de costa y más influenciados por el mar, mientras que los del orden Lituolida (caparazón aglutinado) son más comunes en zonas de marjal más altas y sin contacto directo con el mar [5, 16]. Aun así, esta distribución teórica de especies según la clasificación de marjal alta o baja no es determinante y se pueden encontrar especies de uno u otro tipo en cualquier parte de la marjal [17]. Por último, las especies del orden Miliolida (concha calcárea aporcelanada) son más halófilas, por lo que es más frecuente encontrarlas en las marjales en los ambientes más próximos al mar, e incluso en condiciones de hipersalinidad.

En la marjal de Almenara encontramos una asociación de especies de foraminíferos típicos de ambientes marinos marginales salobres, con especies eurihalinas adaptadas a un ambiente de condiciones físico-químicas que resulta extremo para la mayoría de especies bentónicas [4]. Por esta razón, la especie cosmopolita en la marjal es *A. tepida*, acompañada en menor proporción por *P. paralyca*, *H. germanica*, *M. fusca*, *P. limnetis*, *J. macrescens*, *T. inflata*, *B. pseudoplicata*, *M. eburnea* y *R. mediterraneensis*. El modelo de crecimiento agregado, por el que una especie es la máxima colonizadora de una fuente de alimento junto a unas cuantas especies más adyacentes, da la alternancia de dominación a una especie principal según la actividad reproductora de esta en ese momento [17]. Hay que resaltar la presencia (en todas las muestras) y abundancia (17 % de los caparazones estudiados) de la especie *P. paralyca* en la marjal de Almenara; fue descrita por Guillem [18] en la marjal de Torreblanca, único trabajo donde hasta ahora se había encontrado esta especie viva y con una representación tan alta. *P. limnetis* también es citada en Torreblanca [18], y en la península Ibérica se han citado en los estuarios del Miño y del Coura [17].

A. tepida y *P. paralyca* (orden Rotaliida) se identifican en las muestras más interiores de la marjal, con granulometrías limoarcillosas ricas en materia orgánica. Las especies del orden Miliolida son más comunes en marjales bajas o próximas a la costa por la mayor influencia del mar en el ambiente parálico. *M. eburnea* o *M. circularis* se localizan mayoritariamente entre M8 (13 %) y M10, donde tienen su máximo con el 17 % del total de la tanatocenosis. Así, según se avanza desde la zona más interna de la marjal (M1) hacia la más próxima a la costa (M8), se observa una disminución progresiva de *A. tepida*, cediendo su dominancia a otras especies más halófilas y más estenohalinas. Este patrón referido por Murray [14] indica que la salinidad va en aumento desde la zona más interna de la marjal hasta la más próxima al mar, por la infiltración marina y por las entradas directas de salinidad a través de la barrera, lo que afecta a la distribución de especies de foraminíferos. Respecto al canal, donde en general la diversidad específica es mayor, se registra una disminución de *A. tepida* y un aumento del orden Lituolida, donde alcanza su máximo (15 %). *T. aguayoi*, además de ser eurihalina, se relaciona con aguas someras y cálidas, sustratos finos y con plantas vasculares subacuáticas [17]. Es ubicua en Almenara y su variación dentro de la marjal podría venir explicada también por la presencia de carrizos y otras plantas vasculares en los cuales es epífita. *H. germanica*, aunque propia de ambientes marginales, suele tener una representación baja en las asociaciones pero su número aumenta cuando la salinidad del ambiente se incrementa, es decir, en las muestras del canal y las más próximas a la barrera [18].

En gran medida la asociación de foraminíferos de Almenara está caracterizada por la dominancia de las especies de concha calcárea hialina (25 especies), especialmente entre M1 y M6. Esta prevalencia disminuirá en las estaciones más próximas al mar, dejando paso a las especies del orden Miliolida. Aunque los caparazones del orden Lituolida son más dominantes en el interior de la marjal, en M7 y M9 se puede apreciar un aumento puntual de especies aglutinadas (15 % en M9). La más abundante es *P. limnetis* (1,6 %), seguida de *J. macrescens* (1 %) y *T. inflata* (0,9 %). Hay que puntualizar que la especie aglutinada más frecuente registrada en Almenara, *P. limnetis*, es la segunda vez que se la localiza en el Mediterráneo después de la marjal de Torreblanca [18]. En este trabajo se han clasificado 49 individuos. Este repunte de foraminíferos aglutinados en M9 podría indicar, bien unas condiciones salobres con menos contenidos en limos y arcillas, bien una comunidad de algas o plantas vasculares subacuáticas de las cuales estos foraminíferos serían epífitos. Durante el muestreo se apreciaron evidencias de este sustrato vegetal en el canal.

Con relación al resultado de los índices de diversidad obtenidos, los datos para el conjunto de las muestras de marjal (incluyendo los valores de las muestras del canal) son comparables a otros estudios en medios similares [7,



18]. En líneas generales, los índices de diversidad aumentan en posiciones más cercanas a la costa. El análisis clúster, tanto mediante el procedimiento I como el II, agrupa a las especies y las muestras diferenciando entre la marjal interior o alta (más dulce, con limoarcillas ricas en materia orgánica) y la marjal baja o más cercana al mar (más salobre y con mayor proporción de arenas), donde se registra una mayor salinidad del medio por infiltraciones del mar y por la entrada directa a través de la barrera. Finalmente, la proporción de la biocenosis varía desde un mínimo del 0,96 % (M4) hasta un máximo del 9,84 % (M10), con una media del 4,8 % para las diez muestras.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. La asociación dominante en la marjal de Almenara en la actualidad (muestreo en febrero de 2013) está formada por *Ammonia tepida*, *Paraphysalidia paralica*, *Trichohyalus aguayoi*, *Trochammina inflata*, *Jadammina macrescens*, *Haynesina germanica*, *Pseudothurammia limnetis*, *Miliolinella eburnea*, *Bolivina pseudoplicata* y *Rosalina mediterraneensis*. El orden Rotaliida supone el 89 % de los organismos recogidos, el orden Miliolida el 7 %, mientras que el orden Lituolida solo está representado por el 4 % de los caparazones recolectados.
2. Las especies se distribuyen por órdenes (Rotaliida, Lituolida y Miliolida), atendiendo a la posición en la marjal, es decir, en las áreas de marjal alta (con limos arcillas ricas en materia orgánica y abundantes plantas vasculares subacuáticas) domina el orden Rotaliida, mientras que en posiciones más cercanas al mar es dominante el orden Miliolida (con limos arcillas con arenas). El orden Lituolida, pese a ser más característico del interior de las marjales, según el modelo de distribución en las áreas similares más cercanas, en la marjal de Almenara es más abundante en las estaciones del canal, muy cerca de la línea de costa. No obstante, el canal está cerrado y aislado mediante compuerta del medio marino y las plantas vasculares son abundantes, lo que podría favorecer su presencia.
3. La biocenosis representa el 4,8 % del cómputo total de individuos estudiados (137 de 2.898 caparazones). La diversidad y riqueza de foraminíferos aumenta progresivamente hacia posiciones más cercanas a la costa, especialmente en la estación M9, localizada en el canal. Esto se constata con el análisis estadístico de grupos que indica la zonación de la marjal en dos subambientes principales: uno el propio de marjal y otro el canal-gola.
4. Se han encontrado dos especies poco citadas en marjales mediterráneas (*Paraphysalidia paralica* y *Pseudothurammia limnetis*). Es la segunda vez que se cita después de Torreblanca; la primera de ellas se encuentra viva en Almenara.
5. La asociación de especies del orden Rotaliida y Miliolida encontrada en Almenara responde a la registrada en estudios paleoambientales realizados en marjales mediterráneas. Las especies del orden Lituolida se registran poco, probablemente por la dificultad de conservación de sus caparazones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Germán Martín por el tratamiento estadístico de los datos y a Borja Martínez-Clavel, María López y Ana Rodríguez por la ayuda prestada en el tratamiento de las muestras y las jornadas de campo. Esta publicación ha sido posible gracias a la financiación recibida por parte de los proyectos UCV/2011-006-013, UCV/2012-006-003, UCV/2016-153-001 y UCV/2017-153-001.

LITERATURE CITED

- [1] Pérez Cueva AJ. *Estudio sedimentológico de la Plana de Castelló* [Tesis doctoral] València: Universitat de València; 1977.
- [2] Mediato JF, Santiesteban JI. Subfacies geoquímicas: una mejora en la caracterización de los depósitos litorales (sondeo de Almenara, provincia de Castellón). *Boletín Geológico y Minero*. 2006; 117: 519-524.



- [3] Mediato JF, Santiesteban JI, Mediavilla R, Dabrio CJ. Análisis estratigráfico y sedimentológico del registro holoceno de la marjal de Almenara. Variaciones eustáticas. *Actas de la VI Jornada de Geomorfología Litoral*. Tarragona; 2011: 163-166.
- [4] Rosselló i Verger VM. Espais albuferencs del País Valencià. *Acta Geològica Hispànica*. 1979; 14: 487-493.
- [5] Barras C, Jorissen FJ, Labruno C, Andral B, Boissery P. Live benthic foraminiferal faunas from the french mediterranean coast: towards a new biotic index of environmental quality. *Elsevier: ecological indicators*. 2014; 36: 719-743.
- [6] Martin RE. Taphonomy and temporal resolution of foraminiferal assemblages. En: *Modern Foraminifera*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1999. 281-298.
- [7] Usera J, Blázquez AM, Guillem J, Alberola C. Evolución holocena de la marjal de Peñíscola deducida del estudio de sus foraminíferos fósiles. *Revista Española de Micropaleontología*. 2006; 38(2-3): 381-393.
- [8] Blázquez, A.M. & Usera, J. (2010). Palaeoenvironments and Quaternary foraminifera in Elx coastal lagoon (Alicante, Spain). *Quaternary International*, 221, 68-90.
- [9] Carmona, P., Ruiz-Pérez, J.M., Blázquez, A.M, López-Belzunce, M., Riera, S. & Orengo, H. (2016). Environmental evolution and mid-late Holocene climate events in the Valencia lagoon (Mediterranean coast of Spain). *The Holocene*, 1-16. DOI: 10.1177/0959683616645940
- [10] Ferrer, C. & Blázquez, A.M. (2012). The evolution of the Albufereta lagoon (western Mediterranean): Climate cycles and sea level changes. *Journal of Coastal Research* 28(6): 1617-1626.
- [11] Blázquez A.M., Rodríguez-Pérez, A., Torres, T., Ortiz, E. 2017. Effect of global factors on Holocene environmental changes in the Almenara marsh (Western Mediterranean). *Quaternary Research*. Accepted.
- [12] Walton WR. Techniques for recognition of living foraminifera. Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research. 1952; 3: 56-60.
- [13] Le Calvez Y. & Cesana D. Détection de l'état de vie chez les Foraminifères. *Annales de Paléontologie*. 1972; 129-135.
- [14] Martin RE. & Steinker DC. Evaluation of techniques for recognition of living foraminifera. *Compass*. 1973; 50: 26-30.
- [15] Lutze GF. Jahresgang der Foraminiferen-Fauna in der Botsand-Lagune (westliche Ostsee). *Meyniana*. 1968; 18: 13-30.
- [16] Murray JW. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Longman Scientific and Technical. 1991; 397-412.
- [17] Murray J. *Ecology and applications of benthic foraminifera*. New York (USA): Cambridge University Press; 2006.
- [18] Guillem Martínez J. *Tafonomía, taxonomía y ecología de los foraminíferos de la albufera de Torreblanca* [Tesis doctoral]. València: Servei de publicacions de la Universitat de València. 2007.

