



Universidad  
Católica de  
Valencia  
San Vicente Mártir

TFG

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN  
CIENCIAS DEL MAR**

# Interpretación paleoambiental de la Albufera de Valencia a partir de asociaciones de foraminíferos bentónicos

Alumno: María Sofía Briones

Tutores: Ana María Blázquez Morilla

Curso: 2022-2023



Facultad de Veterinaria  
y Ciencias Experimentales  
Universidad Católica de Valencia  
San Vicente Mártir



## I. Índice

RESUMEN

ABSTRACT

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Zona de estudio.....	1
1.2. Características de los foraminíferos.....	6
1.3. Clasificación, taxonomía y sistemática de los foraminíferos.....	7
1.4. Ciclo vital, reproducción y alimentación de los foraminíferos .....	11
1.5. Ecología y aplicaciones de los foraminíferos .....	12
2. OBJETIVOS .....	13
3. MATERIAL Y MÉTODOS .....	14
3.1. Toma de muestras.....	14
3.2. Preparación de las muestras .....	15
3.3. Análisis micropaleontológicos e índices de diversidad.....	17
4. SISTEMÁTICA.....	20
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
5.1. Estudio sedimentológico y micropaleontológico.....	25
5.2. Interpretación paleoambiental.....	30
6. CONCLUSIONES.....	33
7. BIBLIOGRAFÍA.....	34

## II. Índice de figuras

Figura 1 - Parque Natural de la Albufera de Valencia. ....	3
Figura 2 - Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) de la Albufera de Valencia dentro de la Red Natura 2000.....	3
Figura 3 - Zona de Especial Protección de Aves (ZEPA) en la Albufera de Valencia dentro de la Red Natura 2000.....	4
Figura 4 - Límites del PORN y el parque natural de l'Albufera de Valencia.....	4
Figura 5 - Climograma de Valencia.....	5
Figura 6 - Principales órdenes del Filo foraminífera. ....	9
Figura 7 – Dibujos de especies de foraminíferos planctónicos.....	10
Figura 8 – Dibujos de especies de foraminíferos bentónicos. ....	10
Figura 9 - Ciclo de vida de los foraminíferos bentónicos. ....	11
Figura 10 - Esquema de la metodología. ....	14
Figura 11 - Localización del punto de muestreo, cerca de la Albufera de Valencia. ....	14
Figura 12 - Separación y clasificación del testigo.....	15
Figura 13 – Esquema general de los primeros pasos del proceso de preparación de muestras.....	16
Figura 14 - Esquema general del proceso de preparación de muestras.....	17
Figura 15 - Material utilizado en la observación bajo la lupa binocular.....	18
Figura 16 - Imagen de <i>Ammonia beccarii</i> .....	20
Figura 17 - Imagen de <i>Ammonia tepida</i> .....	21
Figura 18 - Imagen de <i>Criboelphidium excavatum</i> .....	22
Figura 19 - Imagen de <i>Haynesina germanica</i> . ....	23
Figura 20 - Imagen de <i>Trichohyalus aguayoi</i> . ....	24
Figura 21 – Unidades sedimentarias I, II, III y IV. Se incluyen los porcentajes de gravas, arenas, limos y arcillas de las muestras estudiadas. ....	26
Figura 22 - Columna estratigráfica obtenida de los resultados del Sondeo SAL 6. ....	30

### III. Índice de tablas

Tabla 1 - Resultados obtenidos de los índices de foraminíferos presentes en el sondeo SAL 6.....	26
---	----

## RESUMEN

Los foraminíferos son un grupo de microorganismos marinos muy importantes en paleontología y geología, ya que sus restos fósiles pueden ser utilizados para datar e interpretar formaciones geológicas. En este trabajo se pretende realizar una interpretación paleoambiental de la Albufera de Valencia a través del estudio de las asociaciones de foraminíferos bentónicos.

Para ello se realizó un sondeo por rotación en una estación localizada cerca de la gola de la playa del Perellonet, cuyo testigo fue muestreado de forma sistemática con el objetivo de identificar las litofacies y las biofacies. El estudio de las biofacies se centralizó principalmente en la clasificación taxonómica de los foraminíferos bentónicos y el estudio de las litofacies se focalizó en el análisis granulométrico y morfosκόpicó de los sedimentos. Este último, favoreció la interpretación de los cambios producidos en las asociaciones de foraminíferos bentónicos a lo largo del testigo para la posterior interpretación paleoambiental.

Se han estudiado 2831 caparazones de foraminíferos bentónicos los cuales han sido clasificados en 5 especies. Las especies dominantes en el testigo analizado son: *Ammonia tepida* (Cushman), *Haynesina germanica* (Ehrenberg) y *Criboelphidium excavatum* (Terquem). Esta dominancia va variando a lo largo del testigo, lo que permite distinguir paleoambientes distintos: una laguna salobre, una marjal salobre, una marjal dulceacuícola y facies de barrera.

**PALABRAS CLAVE:** Foraminíferos, Albufera de Valencia, Interpretación paleoambiental, Sedimentología.

## ABSTRACT

Foraminifera are a group of marine microorganisms that are highly important in paleontology and geology, as their fossil remains can be used to date and interpret geological formations. This study aims to provide a paleoenvironmental interpretation of the Albufera de Valencia through the study of benthic foraminiferal assemblages.

For this purpose, a rotary coring was carried out at a station located near the Perellonet beach inlet, and the core was systematically sampled to identify lithofacies and biofacies. The study of biofacies focused primarily on the taxonomic classification of benthic foraminifera, while the analysis of lithofacies focused on sediment grain size and morphoscopic characteristics. The latter facilitated the interpretation of changes in benthic foraminiferal assemblages along the core for subsequent paleoenvironmental interpretation.

A total of 2,831 benthic foraminiferal tests were studied and classified into 5 species. The dominant species in the analyzed core are *Ammonia tepida* (Cushman), *Haynesina germanica* (Ehrenberg), and *Criboelphidium excavatum* (Terquem). This dominance varies along the core, allowing the distinction of different paleoenvironments: a brackish lagoon, a brackish marsh, a freshwater marsh and barrier facies.

**KEYWORDS:** Foraminifera, Albufera de Valencia, Paleoenvironmental interpretation, Sedimentology.

**Interpretación paleoambiental de la Albufera de Valencia a partir de asociaciones de foraminíferos bentónicos**

**María Sofía Briones**



## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el estudio de los medios sedimentarios costeros (playas, lagunas costeras, zona intermareal, llanuras deltaicas) ha ganado un papel muy importante. Esto es debido al aumento de la preocupación por los efectos del cambio climático, variaciones del nivel del mar, en especial en las poblaciones costeras.

En España, las áreas costeras ocupan una extensión de 43.284 km<sup>2</sup>, esto corresponde al 8.6% de la superficie total. En estas áreas habitan 18,6 millones de personas, casi el 40% de la población española censada en 2020, según un análisis sobre la estructura demográfica y de empleo de las áreas costeras españolas realizado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2022).

Nos encontramos en la última (y actual) división de la escala temporal geológica, englobada en el período Cuaternario de la Era Cenozoica, es decir, el Holoceno. Este corresponde con el fin de la última glaciación hace aproximadamente 11.700 años donde se registró un calentamiento global continuo, el cual provocó un ascenso en el nivel del mar hasta su posición actual. Según varios autores (Goy *et al.*, 2003; Zazo y Cendrero, 2015) dentro de este período hubo un evento que se conoce como transgresión holocena o el Estadio Marino Isotópico 1, en inglés, "Marine Isotopic Stage (MIS) 1". Gracias a este evento y a la estabilización del nivel del mar se comenzaron a formar las actuales lagunas costeras, rías, sistemas deltaicos, barras litorales, etc.

Con el objetivo de determinar los paleoambientales a lo largo del Holoceno, asociados a los cambios del nivel del mar, se han utilizado los foraminíferos bentónicos como bioindicadores en un sondeo localizado en la Albufera de Valencia.

### 1.1. Zona de estudio

La Albufera de Valencia es una laguna litoral situada en la costa aislada del Mediterráneo por una restinga de 30 km que se extiende entre la desembocadura del río Turia y el cabo de Cullera (Verger e Ibor, 2016).

Se encuentra situada a 10 km al sur de la ciudad de Valencia. Su forma es casi circular de unos 6 km de diámetro máximo. Su profundidad media es de aproximadamente 1 m. Ocupa la parte central de una amplia zona húmeda que se extiende entre los ríos Turia y Júcar, con una extensión aproximada de 223 km<sup>2</sup>, y que

en su mayor parte se encuentra dedicada al cultivo del arroz. La comunicación de la Albufera con el mar se lleva a cabo por tres canales o “golas” donde el flujo de agua es regulado por compuertas que mantienen el nivel del lago en los valores más adecuados para el cultivo de arroz (Rosselló Verger, 1979).

Además, forma parte de los ambientes costeros, lugares de gran importancia donde se acumula una gran diversidad de especies, ricos en recursos naturales como la pesca, la agricultura, la energía renovable y los minerales.

Fue declarado parque natural por la Generalitat Valenciana el 8 de julio de 1986, comprendido por la Albufera, el entorno húmedo y el cordón litoral adyacente a ambos. El área protegida ocupa una extensión de 21.000 ha, de las cuales 3.000 ha conforman la laguna actual. En la Figura 1 se puede observar la extensión del Parque Natural de la Albufera.

La Albufera de Valencia es una de las zonas húmedas más importantes del Mediterráneo español por sus valores naturalísticos, en particular, la avifauna. Tiene diversas protecciones ambientales en el ámbito europeo, y está reconocida como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) y Zona de Especial Protección de Aves (ZEPA), observable en las Figuras 2 y 3. Además, en 1990 se aprobó el documento de Plan Especial de Protección del Parque natural, el Decreto 96/1995, de 16 de mayo, aprobó el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) y el Decreto 259/2004 donde se establece el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) de la Albufera. Los límites del PORN pueden ser observados en la Figura 4.

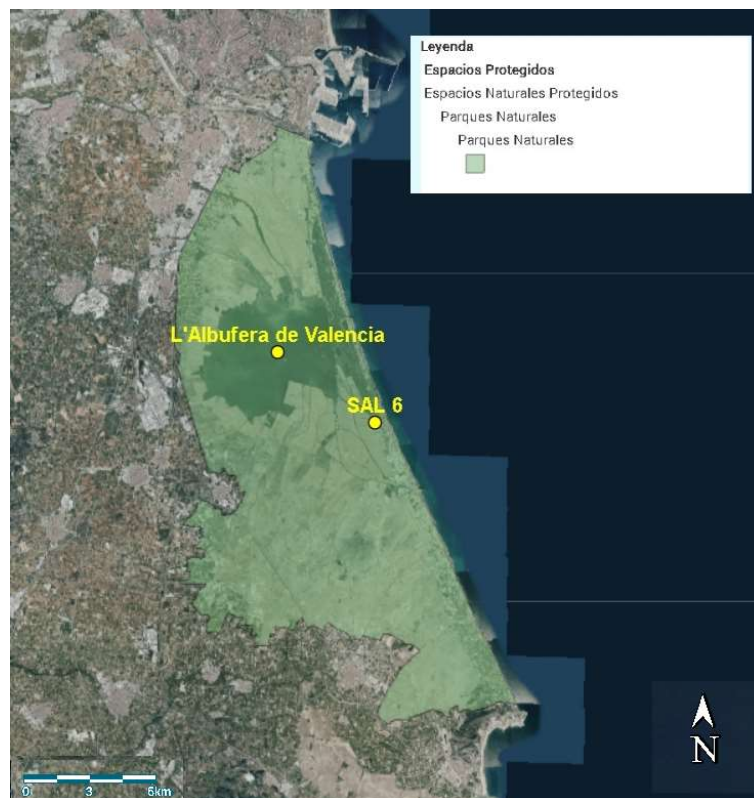


Figura 1 - Parque Natural de la Albufera de Valencia. Fuente: Visor del Instituto cartográfico Valenciano.



Figura 2 - Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) de la Albufera de Valencia dentro de la Red Natura 2000. Fuente: Visor del Instituto cartográfico Valenciano.



Figura 3 - Zona de Especial Protección de Aves (ZEPA) en la Albufera de Valencia dentro de la Red Natura 2000. Fuente: Visor del Instituto cartográfico Valenciano.

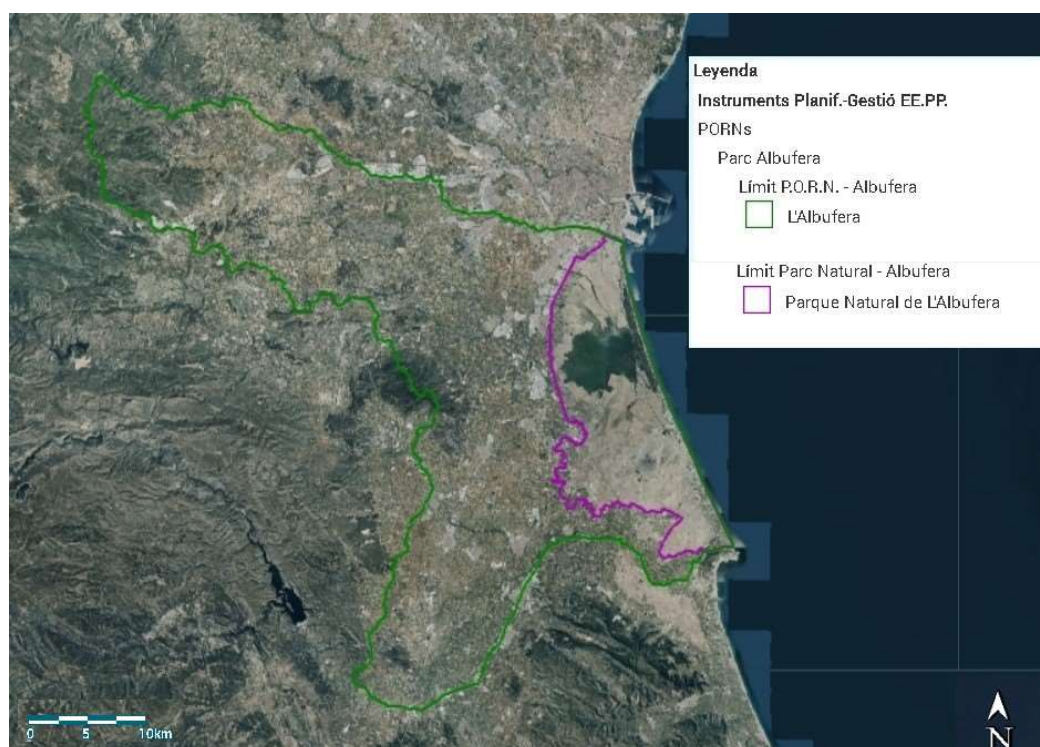


Figura 4 - Límites del PORN y el parque natural de l'Albufera de Valencia. Fuente: Visor del Instituto cartográfico Valenciano.

Desde un punto de vista geológico la Albufera constituye una unidad geológica reciente y homogénea, la mayor parte de su extensión la ocupan materiales de edad Holocena. Se pueden llegar a distinguir dos formaciones de esta época, los limos negros y pardos de las marismas, y las arenas y gravas de dunas y playas. Se encuentra sobre una zona deprimida, hundida desde el Mioceno y rellenada posteriormente de aluviones cuaternarios. El origen de la restinga se halla en los sedimentos fluviales, frutos de la erosión de los relieves interiores y transportados al mar por los ríos Turia, situado al norte, y Júcar, al sur. (Generalitat Valenciana, 2023).

Actualmente, la zona de la Albufera está en un proceso de colmatación, esto es debido a procesos naturales y antropológicos como resultado de la explotación de antiguas marismas como salinas o el cultivo de arroz (Segura Beltran *et al.*, 1992).

Desde un punto de vista climatológico, la Albufera de Valencia presenta un clima mediterráneo, con una temperatura media anual entorno a los 17°C, con veranos cálidos e inviernos en los que la temperatura no desciende más de 10°C. La temperatura media mensual/anual es de 18.3°C siendo la media mínima de 13.8°C y la máxima de 22.8°C. Las precipitaciones en verano son mínimas, son máximas en otoño y en el período entre finales de invierno y primavera. La precipitación media mensual/anual es de 425 mm. En la Figura 5 se reflejan las características de los elementos principales de la Albufera correlacionados con Valencia (Climate Data, 2023).

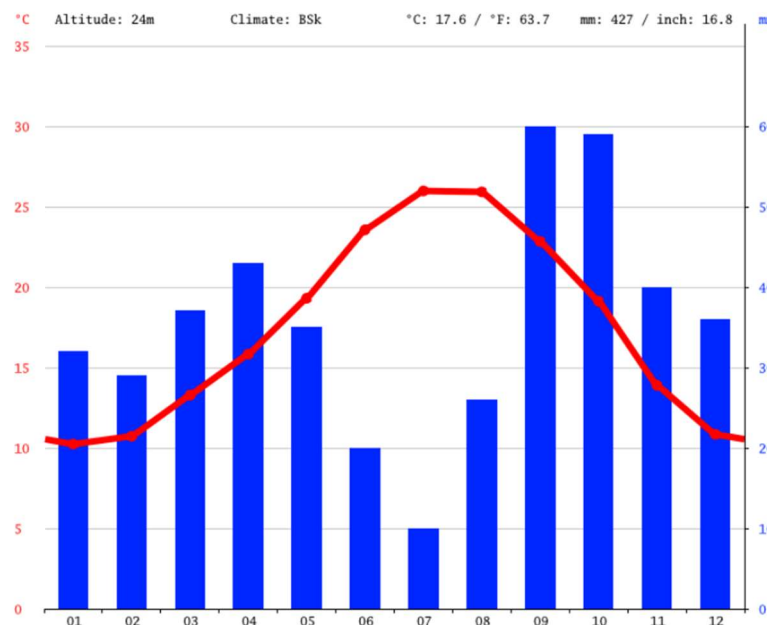


Figura 5 - Climograma de Valencia. Fuente: Climatedata.org.

## 1.2. Características de los foraminíferos

Los foraminíferos son un grupo de microorganismos marinos unicelulares y eucariotas con pseudópodos reticulados que pertenecen al Reino Protista. Están compuestos por una masa protoplasmática incolora, aunque pueden contener pequeñas cantidades de material lipídico, pigmentos orgánicos o compuestos de hierro que le proporcionan color, además, algunos presentan organismos simbioses que también pueden ser los responsables de su color (Calonge García *et al.*, 2001).

El Filo Foraminifera, a pesar de que son exclusivamente unicelulares, son capaces de realizar casi todas las funciones principales de la vida que realizan otros pluricelulares: crecen, se alimentan, se reproducen y se desplazan, además, responden a los cambios en su entorno. Disponen de orgánulos propios de la célula animal, es decir, poseen mitocondrias, vacuolas digestivas, ribosomas, lisosomas, aparato de Golgi, peroxisomas y núcleo (Lee *et al.*, 1991). Mientras que los metazoos evolucionaron órganos y otras características especiales de la pluricelularidad, los foraminíferos y otros protistas se especializaron mediante la diversificación de componentes subcelulares u orgánulos para realizar estas funciones (Sen Gupta, 1999).

Generalmente, pueden crear una concha con una o más cámaras interconectadas por poros denominados forámenes que, además, dan el nombre a estos microorganismos. Principalmente esta concha, también denominada "testa", está compuesta por carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), aunque existen diversas especies que lo forman a partir de partículas aglutinadas o incluso de materia orgánica. La testa presenta una gran variedad de formas y estructuras dependiendo de la especie. Esta puede estar cubierta con espinas, crestas y otras estructuras elaboradas. Los foraminíferos utilizan esta testa como protección y a su vez, para capturar alimento al extender sus pseudópodos a través de pequeñas aberturas en ésta (Bellier *et al.*, 2010).

Debido al origen marino y a estas características en la formación de su caparazón tienen un poder de fosilización muy elevado y, por esta razón, son excelentes indicadores de condiciones pasadas, desde el Cámbrico hasta la actualidad. Se han utilizado tradicionalmente para realizar estudios paleoecológicos, bioestratigráficos, así como reconstrucciones paleoambientales de los medios marinos y litorales (Molina, 2004)

### 1.3. Clasificación, taxonomía y sistemática de los foraminíferos

A mediados del siglo XVIII los primeros estudios sobre los foraminíferos fueron realizados por científicos y naturalistas. El nombre de foraminífero se lo debemos al naturalista francés Alcide d'Orbigny, quién descubrió un total de 72 géneros de foraminíferos. Otro biólogo francés, Félix Dujardin descubrió que en verdad eran protozoos con la capacidad de construir caparazones calcáreos. Actualmente se consideran del Reino Protista. Otro de los primeros investigadores destacados en este campo fue el británico Henry Bowman Brady, el cual en la década de 1850 empezó a recolectar y estudiar muestras de foraminíferos, estableciendo una clasificación basada en la morfología de sus conchas, los agrupó en 10 familias diferentes. Gracias a este trabajo se formaron las bases para el estudio sistemático de los foraminíferos y su uso como herramienta en geología y paleontología (Murray, 2008).

En 1903, Lister describió 10 superfamilias y 29 familias. Posteriormente, en 1964, apareció la sistemática de Loeblich y Tappan centrada en las características ópticas de la testa de los foraminíferos. Con las nuevas tecnologías se han hecho avances moleculares con secuencias de ADN para conocer las variaciones genéticas de los foraminíferos, por esta razón, toda la taxonomía clásica está siendo revisada desde el 2000 (Pawlowski *et al.*, 2013). Actualmente se sigue la clasificación sistemática según Loeblich y Tappan (1988) y la filogenia de la "World Register of Marine Species" (WoRMS Editorial Board, 2023).

El principal objeto de estudio de los foraminíferos es la concha, ya que gracias a ésta podemos observar los fósiles (desde el Cámbrico hasta la actualidad) y su estructura. El proceso en la construcción de la concha permite distinguir tres grupos principales de foraminíferos según Calonge (2001):

- **Aglutinados** (o arenáceos). La célula produce una matriz orgánica que adhiere materiales como granos minerales, diatomeas, espículas de esponjas, etc., disponibles en su medio y recolectados gracias a los pseudópodos que posee. Muchos foraminíferos son capaces de seleccionar dicho material según la composición química, forma o tamaño. Algunas especies se han especializado en la elección de granos producidos biológicamente como lo son las espículas de esponjas. La mayoría de los foraminíferos cementan su concha con carbonato cálcico, pero cuando este elemento escasea pueden utilizar cementos silíceos, orgánicos, ferruginosos, etc.; como es el caso de las

especies que viven en zonas muy profundas de los océanos, por debajo del nivel de compensación de la calcita, es decir, por debajo de ese nivel el calcio no existe. Un ejemplo de este grupo puede ser el orden Silicoloculinida.

- **Porcelanados.** El aparato de Golgi es el encargado de producir agujas de calcita magnesiana, las cuales se transportan y se acumulan en el exterior. Estas agujas pueden formar por sí solas un esqueleto externo o pueden ser el elemento de conexión (cemento). Su aspecto es uniforme, sin perforaciones, brillante. Como ejemplo de este grupo está el orden Miliolida.
- **Hialinos.** Construyen la concha calcárea a través de un proceso de biomineralización en el exterior del cuerpo citoplasmático, la concha es perforada y tiene un aspecto translucido. Ejemplos de este grupo son: el orden Rotaliida, Lagenida, Buliminida, entre otros.

Las principales subdivisiones de los foraminíferos se basan en las características del caparazón, concretamente en su composición y estructura (Loeblich y Tappan, 1988). Los órdenes más importantes son:

- **Allogromiida:** pared orgánica, monotalámico (una sola cámara)
- **Astrorhizida:** pared aglutinada, conchas con formas irregulares, con cementación orgánica, monotalámico.
- **Lagenida:** pared vidriosa y traslúcida, compuesta por calcita, perforada, monotalámico o politalámico (más de una cámara).
- **Miliolida:** pared blanca con aspecto porcelanoso, compuesta por calcita, sin perforaciones, generalmente politalámico.
- **Spirillinida:** pared con un único cristal o de pocos cristales en forma de mosaico, compuesta por calcita, monotalámico o politalámico.
- **Robertinida:** pared hialina, compuesta por aragonito, llena de porosidades, politalámico.
- **Rotaliida:** pared hialina compuesta por calcita, con porosidades, cámaras globosas, politalámico.
- **Textulariida:** pared aglutinada, compuesta por calcita, politalámico.



En la Figura 6 se pueden observar a grandes rasgos las características de los órdenes principales

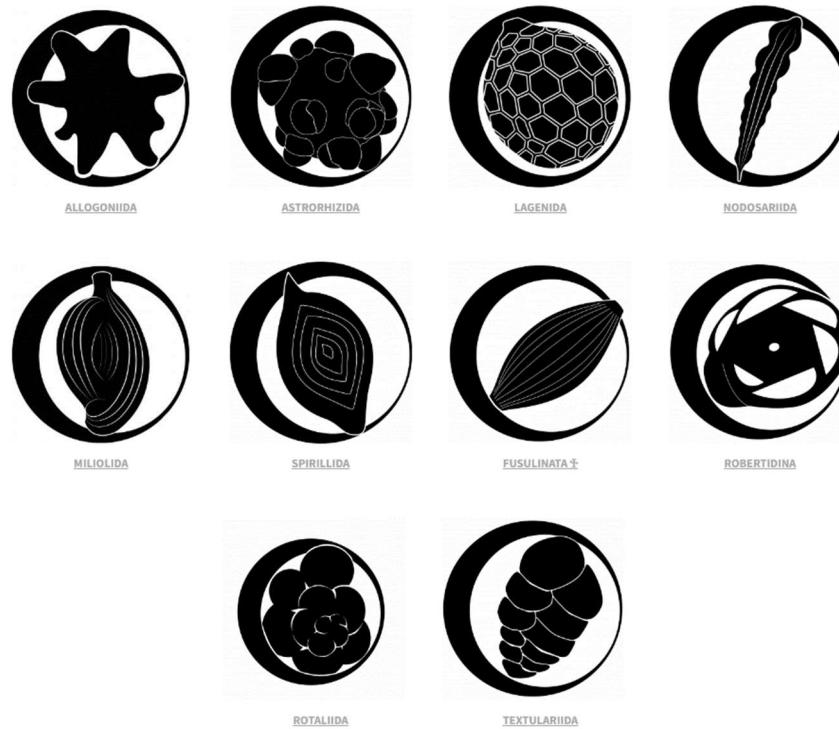


Figura 6 - Principales órdenes del Filo Foraminífera. Fuente: Paleo3d.uv.es.

En cuanto a su modo de vida, según Bellier (2010), se diferencian en dos grupos:

- **Foraminíferos planctónicos:** distribuidos en la columna de agua, la gran mayoría entre los 0 y 300m. Presentan un movimiento pasivo, siguiendo las corrientes, aunque en algunos casos se dan migraciones verticales. En la Figura 7 se pueden ver algunas especies de foraminíferos planctónicos.
- **Foraminíferos bentónicos:** distribuidos en el lecho marino, pueden formar parte tanto de la epifauna (por la superficie del sedimento) como de la endofauna (dentro del sedimento) tanto sésiles como vágiles. En la Figura 8 se muestran ejemplos de especies de foraminíferos bentónicos.

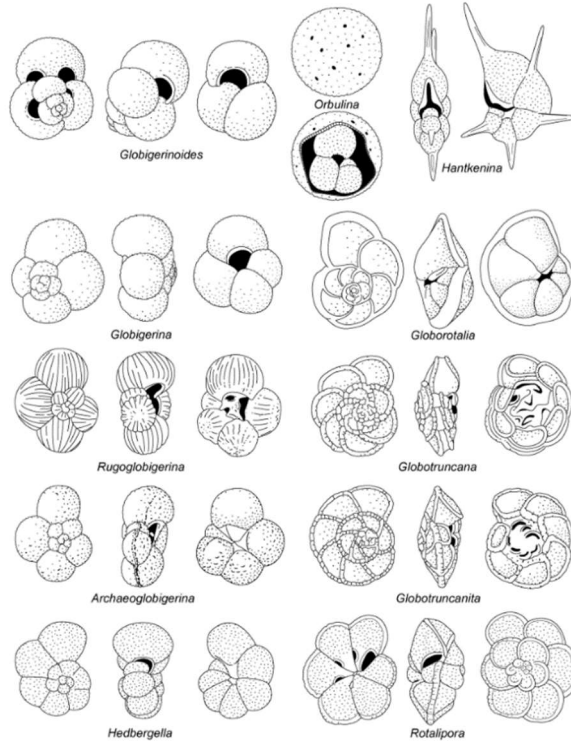


Figura 7 – Dibujos de especies de foraminíferos planctónicos. Fuente: Bellier et al., 2010.

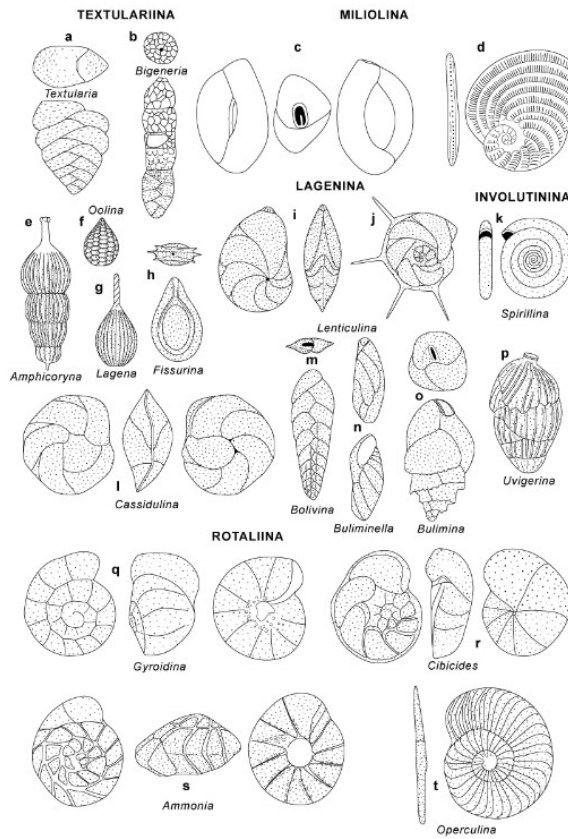


Figura 8 – Dibujos de especies de foraminíferos bentónicos. Fuente: Bellier et al., 2010.

#### 1.4. Ciclo vital, reproducción y alimentación de los foraminíferos

De las aproximadamente 4.000 especies vivas, solo se conoce bien el ciclo de reproducción de 30 de ellas. Según Bellier (2010) los foraminíferos presentan un tipo de reproducción de alternancia entre sexual y asexual, aunque hay grupos que solo se reproducen sexualmente, como son los foraminíferos planctónicos. Algunos foraminíferos coordinan el ciclo de reproducción con el ciclo estacional para poder optimizar los recursos. El ciclo de los foraminíferos bentónicos es haplo-diploide, como se puede observar en la Figura 9, una generación es haploide y la siguiente diploide. Las formas haploides se denominan gamontos, éstos mediante la división del núcleo producen gametos (células sexuales no diferenciadas). La fusión de dos gametos produce un individuo diploide, denominado esquizonte, que es multinucleado y se reproduce mediante división mitótica. Después de la meiosis y la división del citoplasma alrededor de cada núcleo, los esquizontes producen nuevos gamontos. Los gamontos y los esquizontes se distinguen tanto por el tamaño como por las divisiones de su cámara inicial, siendo los gamontos también denominados forma megaloesférica y los esquizontes forma microesférica.

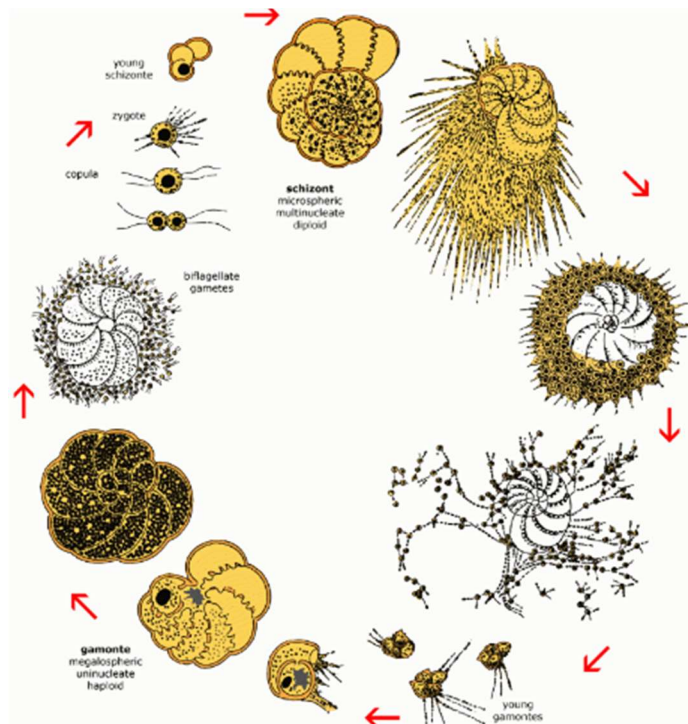


Figura 9 - Ciclo de vida de los foraminíferos bentónicos. Fuente: Bellier et al., 2010.

El ciclo de vida de los foraminíferos suele durar un par de días o semanas, pero en el caso de las formas grandes pueden alcanzar los dos años. Las formas pequeñas

desarrollan una estrategia de vida oportunista (estrategia r) y las formas grandes una forma de vida conservadora (estrategia K) (Calonge García *et al.*, 2001).

En cuanto a su crecimiento no se conocen los detalles, pero se ha deducido que crecen aumentando el tamaño de una sola cámara en las formas uniloculares, o agregando de manera intermitente una nueva cámara en las formas multiloculares (Murray, 2008).

Sobre su alimentación los foraminíferos bentónicos son herbívoros, carnívoros, omnívoros oportunistas y/o detritívoros. Se trata de herbívoros activos cuando se alimentan de algas y bacterias mientras se desplazan por el sustrato y herbívoros pasivos cuando son formas epifaunales sésiles que capturan su alimento, mayoritariamente diatomeas, alrededor del lugar donde están fijos. Las presas de los carnívoros son pequeños artrópodos e incluso otros foraminíferos. Algunos también se alimentan por suspensión, es el caso de aquellos que viven debajo de la zona fótica, donde se alimentan de detritos y bacterias (Murray, 2008).

### **1.5. Ecología y aplicaciones de los foraminíferos**

La distribución de los foraminíferos abarca todos los ambientes marinos, algunas especies están adaptadas a aguas salobres (Bellier *et al.*, 2010) y hasta el momento no se conocen especies de agua dulce. Abarcan desde aguas superficiales hasta grandes profundidades oceánicas, salvo algunas especies que están restringidas a ciertas latitudes (Murray, 1991).

La ecología de los foraminíferos está influenciada por diversos factores como la temperatura, salinidad, el oxígeno disuelto, la competencia con otras especies, la disponibilidad de nutrientes y cantidad de luz. Todas las aplicaciones y estudios que impliquen foraminíferos bentónicos deben incluir un entendimiento de su ecología. Esto es debido a que los foraminíferos bentónicos están estrechamente vinculados con el medio que habitan. Incluso algunos cambios sutiles en los parámetros ambientales suponen un cambio en las especies. Según Murray (2008), hay cinco grandes grupos de aplicaciones de foraminíferos bentónicos. Estas son: bioestratigrafía, paleoecología (interpretación de ambientes pasados), paleoceanografía (interpretación de ambientes o procesos), indicador del cambio ambiental natural (por ejemplo, cambios en el nivel del mar o en el clima) y seguimiento de los cambios inducidos por las actividades del hombre.

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal del estudio es la interpretación paleoambiental de un sondeo realizado en la Albufera de Valencia a través del estudio sedimentario y micropaleontológico de las asociaciones de foraminíferos bentónicos. Este objetivo se alcanza a partir de los siguientes objetivos secundarios:

- Estudio estratigráfico del testigo sedimentario y muestreo sistemático del mismo.
- Analizar la granulometría de las muestras, diferenciando entre cantos y gravas, arenas y limos y arcillas, para conocer las características del sedimento.
- Analizar las arenas desde el punto de vista morfosκόpico.
- Identificar y clasificar taxonómicamente las especies de foraminíferos extraídos.
- Evaluar la conservación de los caparazones para realizar inferencias tafonómicas.
- Conocer la ecología de las especies encontradas para inferir el paleoambiente a lo largo del sondeo estudiado.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

En esta sección se presenta la metodología que se utilizó para la obtención de los resultados. Como se trata de un estudio con dos enfoques, análisis micropaleontológico y sedimentológico, los materiales y métodos combinan varias técnicas. La Figura 10 representa el esquema metodológico llevado a cabo.

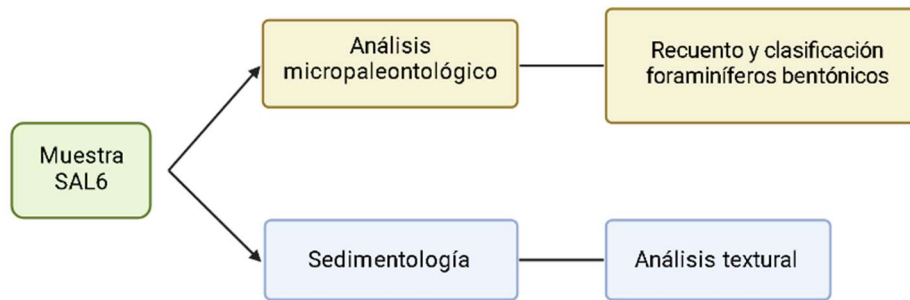


Figura 10 - Esquema de la metodología. Fuente: elaboración propia.

#### 3.1. Toma de muestras

El sondeo se realizó cerca de la gola de la playa del Perellonet. Las coordenadas de la localización son 732943.00 m E y 4354309.00 m N, a unos 600 m de la línea de costa y unos 250 m de la gola del Perellonet. El punto de muestreo se observa en la Figura 11.

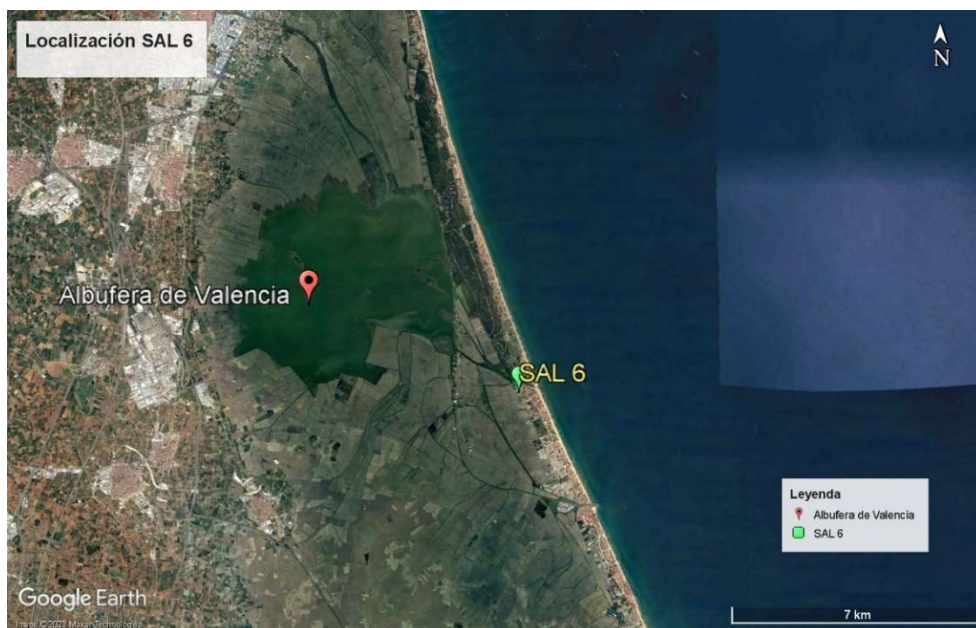


Figura 11 - Localización del punto de muestreo, cerca de la Albufera de Valencia. Fuente: Google Earth

En ese punto se extrajo un testigo de unos 15 cm de diámetro obtenido por un sistema de rotación que llegó a una profundidad de 5 m. Este sondeo fue realizado por la empresa *Sondeos, Estructuras y Geotecnia. S.A. (SEG)*.

De los 5 m de testigo se obtuvieron 48 muestras de manera sistemática, cada 10 cm se almacenaba el sedimento obtenido en una bolsa. En la Figura 12 se puede observar que tras el estudio estratigráfico algunos tramos diferían de los 10 cm.



Figura 12 - Separación y clasificación del testigo. Fuente: elaboración propia

Las muestras se dividieron en dos réplicas, las muestras “S” para el análisis sedimentológico y las muestras “F” para el estudio micropaleontológico, enfocado en los foraminíferos bentónicos fósiles.

Una vez recogidas y enumeradas las muestras, se inició el trabajo de laboratorio para la preparación de estas.

### 3.2. Preparación de las muestras

El proceso comenzó secando las muestras en una estufa a unos 80°C durante 1-2 días; el tiempo de secado varía dependiendo de la composición de la muestra ya que cuanto mayor cantidad de limos y arcillas en la muestra más tardará en secarse. Esto es debido a que los limos y arcillas tienen una mayor capacidad de retención de agua que las arenas.

Una vez obtenidas las muestras completamente secas, se procedió al pesado y a la clasificación por color mediante las tablas de Munsell. Para ello se separó una pequeña porción de cada muestra y se depositó en los agujeros de las tablas del libro de Munsell para comparar y decidir cuál es el código de color de la muestra, este primer proceso se representa en la Figura 13.

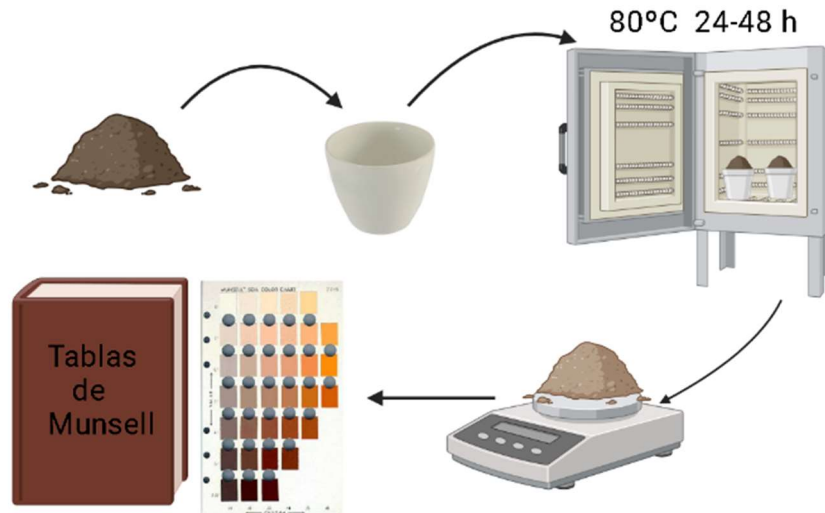


Figura 13 – Esquema general de los primeros pasos del proceso de preparación de muestras. Fuente: elaboración propia.

Después, las muestras se dejaron en remojo con agua para que se vayan disgregando los sedimentos, cuanto más contenido en arcilla tenga la muestra más tiempo se dejará en remojo para que el posterior levigado sea más fácil.

A continuación, se realizó el análisis granulométrico a partir de la separación, mediante el proceso de levigado, de texturas más gruesas (cantos y gravas) de las más finas (arenas, limos y arcillas). Este consiste en lavar la muestra por un tamiz de 0,063 mm de luz con el objetivo de separar la fracción limoarcillosa de la fracción de arena. Obtenida la muestra resultante, se procedió a su secado para calcular el peso final.

Para separar la fracción de arenas de la fracción de cantos y gravas se utilizó un tamiz de 2 mm de luz, pesando por separado el resultado. Se calculó la proporción de cada fracción a partir del peso total de la muestra utilizada. Proceso representado en la Figura 14.



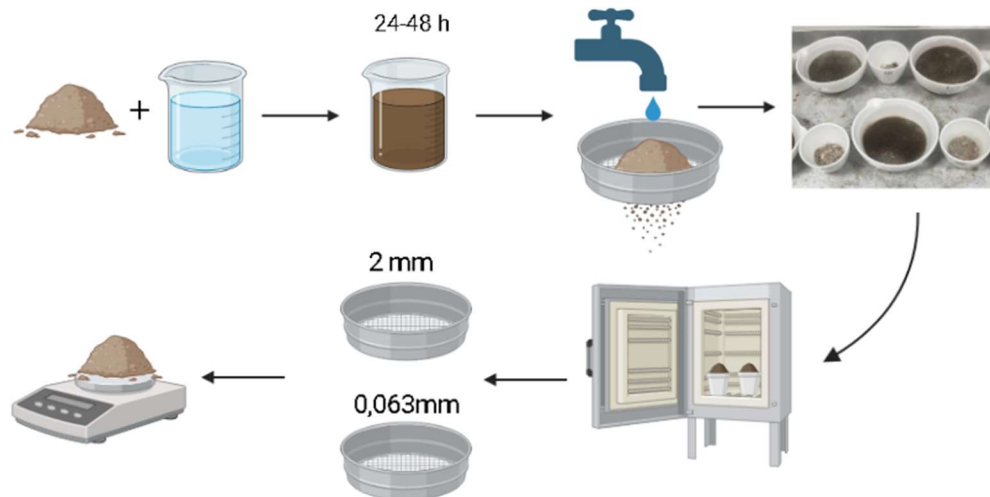


Figura 14 - Esquema general del proceso de preparación de muestras. Fuente: elaboración propia.

La información sedimentológica se completó con la observación de las muestras bajo la lupa binocular, con el objetivo de determinar los minerales dominantes, la composición bioclástica y la morfología.

### 3.3. Análisis micropaleontológicos e índices de diversidad

Cada parte de la muestra se separó en diferentes bolsas por fracciones, una de arenas y otra de cantos y gravas. Así, es más fácil acceder a las arenas de cada muestra donde estará el contenido del estudio micropaleontológico.

Para la observación de la muestra se separó un porcentaje de las arenas obtenidas de cada muestra, se colocaron en una bandeja micropaleontológica de fondo negro y se procedió a la identificación de los principales bioclastos, destacando los foraminíferos y los ostrácodos.

Usando una lupa binocular BMS 140, con ayuda de un pincel de punta fina, humedecido con agua destilada para favorecer la extracción de cada ejemplar, se sacaron los foraminíferos y se colocaron en un portaforaminíferos. El material utilizado para esta parte del proceso se muestra en la Figura 15.



Figura 15 - Material utilizado en la observación bajo la lupa binocular. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se pesó la parte del sedimento que ha sido triada para poder calcular la densidad de foraminíferos en cada muestra. Una vez recolectados, se clasificaron taxonómicamente. Los portaforaminíferos utilizados están divididos en 36 casillas donde se depositaron los foraminíferos según su especie. Una vez extraídos y clasificados por especies se fijan en el portaforaminíferos con un adhesivo orgánico de cola tragacanto que facilita este proceso, se trata de un pegamento orgánico que al mezclarse con agua adquiere un poder adhesivo y una mayor densidad que, además, se elimina fácilmente con agua.

Los foraminíferos fueron clasificados de acuerdo con dos fuentes: la base de datos online “Word Foraminifera Database” que forma parte de la “Worlds Register of Marine Species” (WoRMS Editorial Board, 2023), que se basa principalmente en los estudios genéticos moleculares (Pawlowski *et al.*, 2013) y en la clasificación sistemática de los foraminíferos realizada por Loeblich y Tappan (1988,1992).

### Tamaño muestral

Para el análisis de foraminíferos fósiles se recuperaron 200 individuos cuando fue posible. El tamaño muestral se eligió a partir de la recomendación de diversos autores. De acuerdo con (Patterson y Fishbein, 1989), es suficiente con 50 individuos para estudiar la asociación dominante de una población de foraminíferos. Según Fatela y Taborda (2002), el número de individuos contados depende del objetivo del estudio, apuntando que en diversos estudios paleoceanográficos basta con el recuento de 100 ejemplares.

Índices de diversidad

Se contabilizaron y se calcularon los índices de diversidad de Shannon (H') (Shannon y Weaver, 1949), y el índice de Equidad (J') (Pielou, 1969), para analizar la composición y abundancia proporcional de especies, así como el grado de dominancia en cada muestra mediante el índice de Dominancia: Índice de Simpson (D) (Simpson, 1949). Las fórmulas son:

- **Índice de diversidad**

$$H' = - \sum_{i=1}^S Pi \ln Pi$$

H' = índice de diversidad de Shannon

S = número de especies de cada muestra

Pi = frecuencia de cada muestra

Este índice tiene resultados positivos, su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran de diversidad baja de especies y valores mayores a 3 de diversidad alta de especies.

- **Índice de dominancia**

$$D = \sum_i (Pi)^2$$

D = índice de dominancia

Pi = frecuencia de cada muestra

El rango de los resultados de este índice va desde 0 (todos los taxones están presentes de igual manera) a 1 (un taxón domina la comunidad al completo)

- **Índice de equidad**

$$J = \frac{H'}{\ln S}$$

J = índice de equidad

H' = índice de diversidad de Shannon

S = número de especies en la muestra

ln S = es la diversidad máxima.

Este índice mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad que se puede llegar a esperar. Tiene valores de entre 0 a 1, donde 1 corresponde a casos donde todas las especies abundan por igual.

#### 4. SISTEMÁTICA

##### Orden ROTALIIDA

Superfamilia ROTALIOIDEA Ehrenberg, 1839

Familia ROTALIIDAE Ehrenberg, 1839

Subfamilia AMMONIINAE Saidova, 1981

Género *Ammonia* Brünnich, 1772

***Ammonia beccarii*** (Linnaeus, 1758)

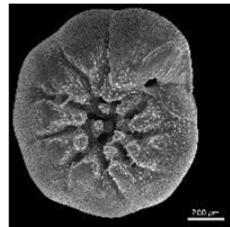


Figura 16 - Imagen de *Ammonia beccarii*. Fuente "World Register of Marine Species".

##### Distribución Albufera de Valencia:

SAL 6: Presente en las muestras 4,6,12,30. Un total de 5 caparazones.

##### Distribución en la Península Ibérica:

En los estudios más recientes del Cuaternario de la península ibérica se ha citado esta especie en varios lugares de la costa, entre ellos: en los estuarios del río Tinto y Odiel y la ría de Huelva (Ruíz *et al.*, 2005), en la cuenca del Bajo Segura (Blázquez y Ferrer, 2012), en el Marjal de Almenara (Rodríguez-Pérez, 2017), en el Marjal de Peñíscola (Usera *et al.*, 2006), en la Albufera de Valencia (Carmona *et al.*, 2016), en el Marjal de Pego (Torres *et al.*, 2014) y en el Marjal de Xàbia (García Forner, 1997).

Autoecología:

Se trata de una especie de vida libre, infaunal, cosmopolita, eurihalina y euritémica (Usera *et al.*, 2002). Con preferencia de arenas finas y el fango como sustrato y aguas tropicales o templadas (Murray, 1991). Habita en profundidades entre 0 y 50 m, lo que corresponde con la zona infralitoral y la plataforma interna, según Murray (1991) puede llegar a alcanzar profundidades hasta los - 100 m. Según este autor es euritémica y eurihalina.

***Ammonia tepida*** (Cushman, 1926)



Figura 17 - Imagen de *Ammonia tepida*. Fuente: "World Register of Marine Species".

Distribución Albufera de Valencia:

SAL 6: Presente en las muestras 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 39, 40, 42, 44, 46 y 49. Un total de 2042 caparazones.

Distribución en la Península Ibérica:

En los estudios más recientes del Cuaternario de la península ibérica se ha identificado esta especie en varios lugares de la costa, entre ellos: en la cuenca del Bajo Segura (Blázquez y Ferrer, 2012), en el Marjal de Xàbia, en el Marjal de Oliva-Pego, en el Marjal de Benicàssim, en la Albufera de Valencia (Usera *et al.*, 2002), en el Marjal de Almenara (Rodríguez-Pérez, 2017).

Autoecología:

Especie oportunista e infaunal (Murray, 2008), hiposalina propia de ambientes de laguna y marjal (Usera *et al.*, 2002; Blázquez y Ferrer, 2003), capaz de colonizar sustratos arenosos y limoarcillosos (Murray, 2008).

Superfamilia PLANORBULINOIDEA Schwager, 1877

Familia ELPHIDIIDAE Galloway, 1933

Subfamilia ELPHIDIINAE Galloway, 1933

Género *Criboelphidium* De Montfort, 1808

***Criboelphidium excavatum*** (Terquem, 1875)

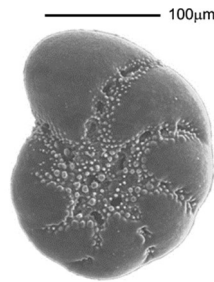


Figura 18 - Imagen de *Criboelphidium excavatum*. Fuente: "World Register of Marine Species".

Distribución Albufera de Valencia:

SAL 6: Presente en las muestras 6, 8, 10, 12, 14, 22, 24, 26, 30. Un total de 66 caparazones.

Distribución en la Península Ibérica:

En los estudios más recientes del Cuaternario de la península ibérica se ha identificado esta especie en varios lugares de la costa, entre ellos: en el Marjal de Pego (Brisset *et al.*, 2018), en la Albufera de Elche (Blázquez, 2005), en el Marjal de Almenara (Rodríguez-Pérez, 2017), en la cuenca del Bajo Segura (Blázquez y Ferrer, 2012), en la Albufera de Alicante (Blázquez y Ferrer, 2003) y en el Marjal de Peñíscola (Usera *et al.*, 2006).

Autoecología:

Especie libre, infaunal, euritérmica y eurihalina presente en aguas salobres hasta condiciones hipersalinas sobre sustratos fangosos y arenosos (Murray, 1991). Se encuentra en aguas salobres, relacionadas con fondos fangosos y costeras (Blázquez, 1996).

Superfamilia NONIONOIDEA Schultze, 1854

Familia NONIONIDAE Schultze, 1854

Subfamilia NONIONINAE Schultze, 1854

Género *Haynesina* Banner y Culver, 1978

***Haynesina germanica*** (Ehrenberg, 1840)



Figura 19 - Imagen de *Haynesina germanica*. Fuente: "World Register of Marine Species".

Distribución Albufera de Valencia:

SAL 6: Presente en las muestras 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 38, 40, 42, 44, 46, 49. Un total de 701 caparazones.

Distribución en la Península Ibérica:

En los estudios más recientes del Cuaternario de la península ibérica se ha identificado esta especie en varios lugares de la costa, entre ellos: en la Albufera de Elche (Blázquez, 2005), en el Marjal de Pego (Brisset *et al.*, 2018), en el Marjal de Almenara (Rodríguez-Pérez, 2017).

Autoecología:

Especie libre, infaunal, euritámica y eurihalina. Se encuentra en estuarios y marjales y en sustratos limoarcillosos (Murray, 2006).

Superfamilia CHILOSTOMELLOIDEA Brady, 1881

Familia TRICHOHYALIDAE Saidova, 1981

Género *Trichohyalus* Loeblich y Tappan, 1986

***Trichohyalus aguayoi*** (Bermúdez, 1935)



Figura 20 - Imagen de *Trichohyalus aguayoi*. Fuente: "World Register of Marine Species".

Distribución Albufera de Valencia:

SAL 6: Presente en las muestras 6, 8, 10, 12, 14, 22, 24. Un total de 17 caparazones.

Distribución en la Península Ibérica:

En los estudios más recientes del Cuaternario de la península ibérica se ha identificado esta especie en varios lugares de la costa, entre ellos: en la Albufera de Elche (Blázquez, 2005), en la Marjal de Jávea, en la Albufera de Valencia (Usera *et al.*, 2002), en la Albufera de Alicante (Blázquez y Ferrer, 2003), en el Marjal de Peñíscola (Usera *et al.*, 2006), en el Marjal de Almenara (Rodríguez-Pérez, 2017).

Autoecología:

Especie libre, infaunal, detritívora y eurihalina. Se encuentra en aguas cálidas y sustratos limoarcillosos (García Forner *et al.*, 1997), común en albuferas y marjales del Mediterráneo.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos del sondeo realizado al sur de la Albufera de Valencia (SAL 6), el cual fue estudiado desde el punto de vista sedimentológico (granulometría) y micropaleontológico (especialmente foraminíferos bentónicos). También se incluye en este apartado la interpretación paleoambiental en función de los resultados obtenidos.

### 5.1. Estudio sedimentológico y micropaleontológico

En el sondeo SAL 6 se detallan los distintos paleoambientes a través del estudio sedimentológico y micropaleontológico de las 48 muestras obtenidas durante el muestreo. La suma total de muestras estudiadas es de 24, en 14 de las cuales se han observado conchas de foraminíferos. Se han estudiado 2.831 caparazones los cuales se han clasificado en 5 especies, todas pertenecientes al orden Rotaliida. Las especies son *Ammonia tepida* (Cushman) (72,20%), *Haynesina germanica* (Ehrenberg) (24,76%), *Criboelphidium excavatum* (Terquem) (2,30%), *Trichohyalus aguayoi* (Bermúdez) (0,60%) y *Ammonia beccari* (Linnaeus) (0,14%).

A continuación, se detalla el contenido sedimentológico y micropaleontológico de las muestras del sondeo, el cual se divide en 4 unidades, que de base a techo son: la Unidad I, la Unidad II (con subunidades a, b, c), la Unidad III y la Unidad IV, como se muestra en la Figura 21. Y se reflejan los resultados de los índices de diversidad en la Tabla 1.

#### 5.1.1. Unidad I

La Unidad I se extiende entre - 5 m y - 4 m y comprende un total de 12 muestras (49-37). En esta unidad predominan las texturas limoarcillosas, que llegan a alcanzar el 82% en la muestra 46 y va disminuyendo hacia techo hasta un 18% en la muestra 39. Las arenas presentan unos valores que van aumentando hacia techo desde la muestra 46, con un 17% hasta un 78% en la muestra 38. Los cantos y gravas prácticamente están ausentes en esta unidad.

Se trata de un sedimento de color gris (10YR 5/1) formado por arenas de cuarzo subredondeadas, calcita, restos vegetales y, en menor medida, por granos de carbón.

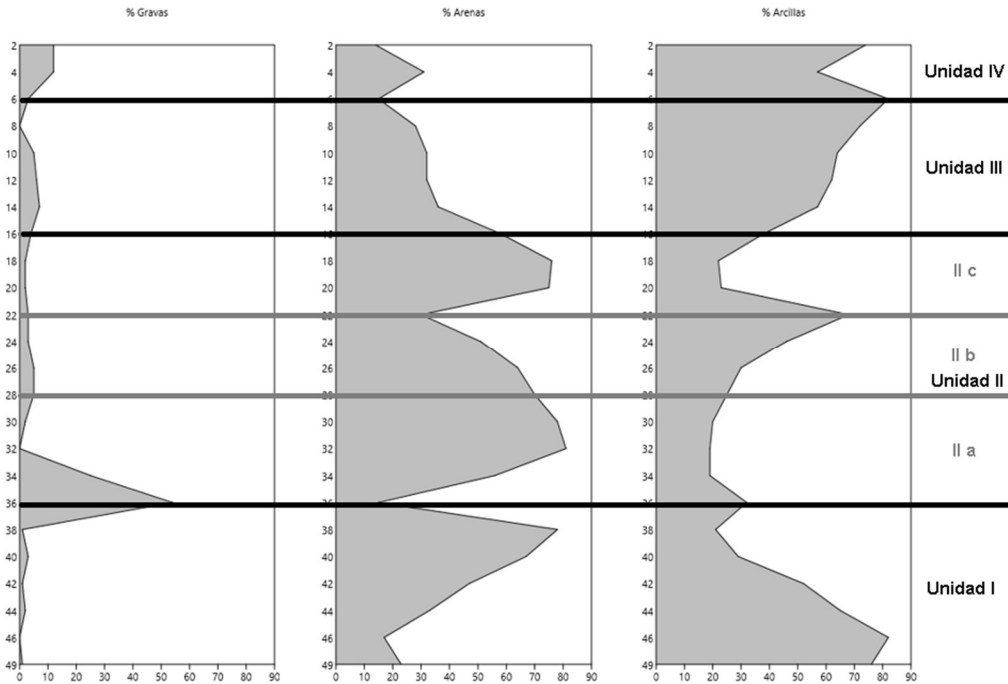


Figura 21 – Unidades sedimentarias I, II, III y IV. Se incluyen los porcentajes de gravas, arenas, limos y arcillas de las muestras estudiadas. Fuente: elaboración propia

En cuanto al contenido biogénico se observa la presencia de ostrácodos de aguas salobres (*Cyprideis torosa*, en algunos casos articulados) briozoos y gasterópodos (*Hydrobia* sp.). Las especies de foraminíferos encontradas en esta unidad son *A. tepida* y *H. germanica* cuyos caparazones se encuentran en muy buen estado de conservación y su número va disminuyendo hacia techo (muestra 36). Se consideran autóctonas por su estado de conservación.

Tabla 1 - Resultados obtenidos de los índices de foraminíferos presentes en el sondeo SAL 6. Fuente: elaboración propia.

Índices	Unidad I	Subunidad IIb	Unidad III
<b>Individuos</b>	<b>1200</b>	<b>600</b>	<b>1000</b>
<b>S</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>H = In. Div. Shannon</b>	<b>0,433</b>	<b>0,873</b>	<b>0,821</b>
<b>D = In. Dom. Simpson</b>	<b>0,737</b>	<b>0,480</b>	<b>0,511</b>
<b>J = In. Equidad</b>	<b>0,624</b>	<b>0,630</b>	<b>0,510</b>

Los resultados de los índices de diversidad observados en la Tabla 1 indican en esta unidad una diversidad baja, con un valor de 0,433, una dominancia alta con un valor de 0,737 debido a que solo hay 2 especies y 1200 individuos, y una equidad donde el valor de 0,624 indica que las especies son menores en igualdad de abundancia.

### **5.1.2. Unidad II**

La Unidad II se extiende entre – 3,9 m y –1 m y comprende un total de 31 muestras (36-6). En esta se da una alternancia de paquetes de muestras de color blanco (10YR 6/1) que va cambiando hacia techo a un gris claro (10YR 5/1) para acabar en un marón claro (10YR 6/2), diferenciándose así en tres subunidades.

#### **Subunidad Ila**

Esta subunidad tiene un espesor de 80 cm y comprende las muestras 36-28. Son predominantes las arenas, que, con un aumento progresivo desde la muestra 36 con un 15%, llegan a alcanzar el 81% en la muestra 32 y van disminuyendo hacia techo hasta alcanzar un 70% en la muestra 28. En contraste, las texturas limoarcillosas van aumentando progresivamente hacia techo, desde un 19% en la muestra 34 hasta un 25% en la muestra 28. Los cantos y gravas prácticamente están ausentes en esta unidad salvo en la muestra 36, donde ocupa el 54% del contenido sedimentario; la morfología predominante es aplanada.

Se trata de un sedimento de color blanco claro (10YR 6/1), con una peor clasificación que la unidad anterior, formado por arenas de cuarzo redondeado, yeso, mica, calcita y algunos restos vegetales.

En su contenido biogénico se observa la casi nula presencia de ostrácodos y gasterópodos de aguas salobres. Las especies de foraminíferos encontradas en esta unidad son *A. tepida*, *H. germanica*, *C. excavatum* y *A. beccari*. La densidad es muy baja, por lo que no se lograron extraer 200 foraminíferos en las muestras de esta subunidad. Se consideran autóctonas por su estado de conservación, excepto *A. beccarii* que muestra señales de rodamiento.

### **Subunidad IIb**

Esta subunidad está formada por las muestras comprendidas entre la 27 y la 22 con un espesor de 50 cm. Predominan las arenas, que llegan a alcanzar el 72% en la muestra 25, y van disminuyendo progresivamente hacia techo hasta un 30% en la muestra 22. Las texturas limoarcillosas van aumentando hacia techo desde la muestra 27 con un 35% hasta la muestra 22, con un 68%. Los cantos y gravas prácticamente están ausentes en esta subunidad.

Se trata de un sedimento de color blanco claro (10YR 6/1) formado por arenas de cuarzo, calcita y mayor cantidad de restos vegetales que la unidad anterior.

En cuanto al contenido biogénico se observa la presencia de una mayor cantidad de ostrácodos articulados y gasterópodos de aguas salobres. Las especies de foraminíferos encontradas en esta unidad son *A. tepida*, *H. germanica*, *C. excavatum* y en menor cantidad *T. aguayoi*. La cantidad de foraminíferos disminuye en el techo (muestra 21) y en la base (muestra 28). Se consideran autóctonas por su estado de conservación.

### **Subunidad IIc**

Esta subunidad tiene un espesor de 50 cm y se extiende entre las muestras 21 y 16. Son predominantes las arenas, que disminuyen progresivamente desde base (76% en la muestra 18), hacia techo (58% en la muestra 16). Por otro lado, las texturas limoarcillosas muestran unos valores alrededor del 30%. Los cantos y gravas prácticamente están ausentes en esta subunidad.

Se trata de un sedimento de color blanco/gris claro (10YR 6/1 – 5/1), formado por arenas, sin presencia de restos vegetales.

En su contenido biogénico se observa la presencia de ostrácodos y gasterópodos de aguas salobres. Las especies de foraminíferos encontradas en esta unidad son *A. tepida* y *H. germanica*. La densidad es muy baja por lo que no se llegaron a contabilizar los 200 caparazones. Se consideran autóctonas por su estado de conservación.

Los resultados de los índices de diversidad, reflejados en la Tabla 1, en esta unidad indican una diversidad alta en la Subunidad IIb con un valor de 0,873. Se observa una

dominancia prácticamente homogénea en la Subunidad IIb con un valor de 0,480. Se da una equidad donde hay una homogeneidad en la abundancia de la Subunidad IIb con un valor medio de 0,630.

### 5.1.3. Unidad III

La Unidad III se extiende entre – 1,8 m y – 1 m y comprende un total de 10 muestras (15-6). Predominan los limos y arcillas, las cuales van aumentando progresivamente hacia techo, desde un 37% en la muestra 16 hasta alcanzar el 82% en la muestra 6. En el caso de las arenas, éstas van disminuyendo hacia techo desde la muestra 16, con un 45%, hasta la muestra 6 con un 15%. Los cantos y gravas prácticamente están ausentes en esta subunidad.

Se trata de un sedimento de color gris claro hasta llegar a un marrón claro hacia techo (10YR 6/1 – 6/2) en la muestra 6. Se encuentra formado por arenas de cuarzo, calcita y con menos restos vegetales.

En cuanto al contenido biogénico se observa la presencia de una mayor cantidad de ostrácodos articulados (*C. torosa*), y gasterópodos (*Hydrobia* sp), de aguas salobres. Las especies de foraminíferos encontradas en esta unidad son *A. tepida*, *H. germanica*, *C. excavatum* y, en menor cantidad, *T. aguayoi* y *A. beccarii*. La cantidad de foraminíferos disminuye hacia techo (muestra 5). Se consideran autóctonas por su estado de conservación, a excepción de *A. beccarii* que presenta señales de transporte.

Los resultados de los índices de diversidad, que se muestran en la Tabla 1, de la Unidad III indican una diversidad con un valor de 0,821. Además, se observa una dominancia prácticamente homogénea con un valor medio de 0,511. Se da una equidad donde hay una homogeneidad en la abundancia con un valor medio de 0,510.

### 5.1.4. Unidad IV

La Unidad IV se extiende desde – 0.9 m hasta la superficie y comprende un total de 5 muestras (5-1). En esta unidad predominan las texturas limoarcillosas, que llegan a alcanzar el 80% en la muestra 3; su valor más bajo es de 53%, en la muestra 5. Las arenas tienen valores en torno al 30% y los cantos y gravas tienen valores muy bajos en esta unidad.

Se trata de un sedimento de color marrón claro (10YR 7/3 – 7/2) formado por arenas de cuarzo, granos de carbón y restos vegetales.

En cuanto al contenido biogénico no hay apenas presencia de foraminíferos, ostrácodos o gasterópodos. Se identifican ostrácodos de agua dulce.

Los resultados de los índices de diversidad no se han contemplado debido a que solo hay 2 especies y 3 individuos y el mínimo para estos índices es de 200-300 foraminíferos. Se consideran alóctonas por el estado de conservación.

## 5.2. Interpretación paleoambiental

Atendiendo a los resultados expuestos en el apartado anterior, las características sedimentológicas y micropaleontológicas, permiten distinguir cuatro paleoambientes en el sondeo SAL 6, los cuales quedan reflejados en la Figura 22:

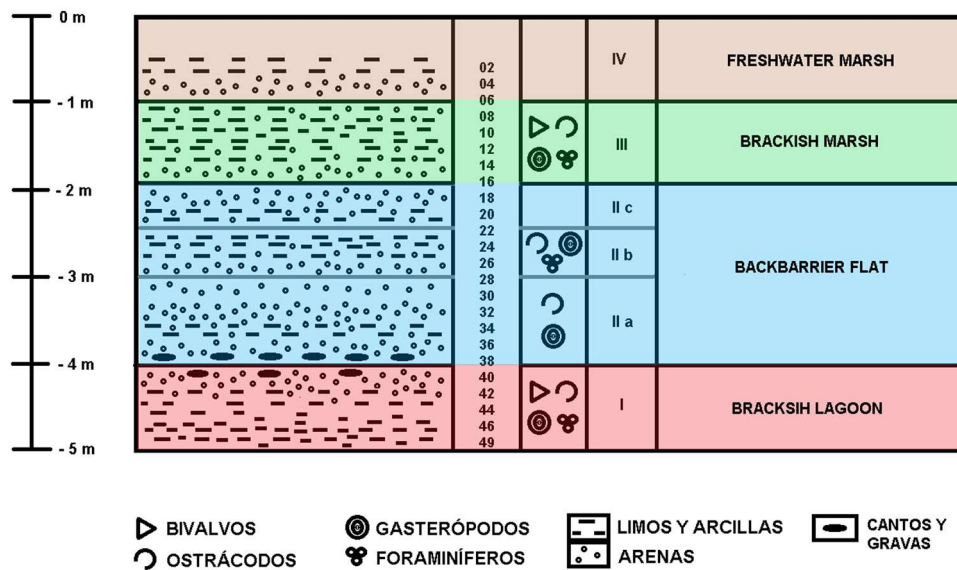


Figura 22 - Columna estratigráfica obtenida de los resultados del Sondeo SAL 6. Fuente: elaboración propia.

La Unidad I, se determinó como una laguna salobre “brackish lagoon”, es el paleoambiente más antiguo identificado. Se caracteriza por un sedimento dominado por limos y arcillas en la base que va disminuyendo hacia techo a favor de la presencia de arenas. La asociación identificada de foraminíferos permite inferir el paleoambiente salobre sin comunicación marina (*A. tepida* y *H. germanica*) la cual se considera autóctona por el estado de conservación de los caparzones. Los índices calculados corroboran esta interpretación.

Desde los – 4 m hasta los – 1,8 m, Unidad II, se ha interpretado como una “Backbarrier flat”, es decir, la parte interna de la barrera que contacta con una laguna, donde se reconocen especies de foraminíferos de aguas salobres y marinas. Se trata de un medio dominado por las arenas de cuarzo, las cuales presentan una oscilación a lo largo del testigo. Esta variación en el contenido de arena, así como los cambios en la densidad de los caparazones de foraminíferos han permitido dividir esta unidad en tres subunidades. En general, cuando aumenta el porcentaje de arena disminuye el contenido en foraminíferos. En la Subunidad IIa hay un aumento del tamaño de grano (presencia de cantos y gravas) y no se aprecia la asociación de foraminíferos salobres, por lo que se deducen condiciones de emersión de la barrera. Como señalan algunos autores (Sabatier *et al.*, 2008; Sacchi *et al.*, 2014), esto puede ser debido a eventos puntuales de tormentas o abanicos de derrame que son más frecuentes durante determinadas temporadas o podría ser el resultado de una pequeña migración de la barrera hacia la laguna. En cualquier caso, el nivel del agua de la laguna disminuye en esta subunidad y la barrera por un mecanismo u otro la invade. En la Subunidad IIb hay un aumento de limos y arcillas y una disminución de arenas hacia techo y, además, se recuperan las especies salobres *A. tepida*, *H. germanica*, *C. excavatum*. Aparece de manera puntual *T. aguayoi*, lo que corrobora, junto a la asociación dominante, la interpretación de la recuperación de la laguna salobre. En la Subunidad IIc vuelven a darse las condiciones de la Subunidad IIa, es decir, la densidad de foraminíferos disminuye de forma muy notable y hay más cantidad de arenas, lo que indicaría de nuevo la emersión de la barrera dentro de la laguna salobre.

La Unidad III se ha interpretado como una marjal salobre. En esta unidad la marjal es totalmente estable y no sufre invasión de las arenas de la barrera, al menos en el punto de sondeo. Destaca de forma notable el porcentaje de limos y arcillas y una mayor diversidad de especies de foraminíferos de aguas salobres. Hay que destacar la presencia de la especie *T. aguayoi*, asociada de forma frecuente a marjales y albuferas actuales (Guillem Martínez, 2007).

Finalmente, la Unidad IV muestra una marjal totalmente dulcificada. Está dominada por limos y arcillas y sin presencia de foraminíferos u ostrácodos salobres autóctonos. La presencia de restos de macrófitas y carbón indican un cambio respecto a la unidad anterior.

Respecto a la causa de los cambios ambientales, Carmona *et al.* (2016) indicaron en una secuencia analizada de la parte noroeste de la Albufera de Valencia que no hay

diferencia de especies de foraminíferos en la composición de los sedimentos más antiguos, ya que desde 8200 BP (Before Present; antes de ahora) hasta 1000-1200 d.C. el sedimento está dominado por *A. tepida*, *H. germanica* y *C. excavatum*, indicando una laguna costera salobre. Una posible explicación del cambio que hay en las caídas repentinas de dominancia de sedimento y densidad de foraminíferos, ostrácodos y gasterópodos podría ser un evento de inundación (un aumento de la entrada de sedimentos) o algún tipo de cambio climático rápido, Moberg *et al.* (2005), encontró un pico en la temperatura global después de un período frío. Los períodos áridos establecidos RCCI (*Rapid Climatic Change periods*) de Mayewski *et al.* (2004) y en el evento de Alborán de Cacho *et al.* (2001) también podrían ser los responsables de este cambio rápido. Otro cambio destacable ocurre cuando los foraminíferos y ostrácodos salobres (y algunos marinos) aumentan en abundancia y en diversidad, lo que indica condiciones más estables en una laguna salobre. Este cambio corresponde con el período Cálido Medieval (900-1300 d.C.).

El cambio paleoambiental más importante se produce cuando la laguna salobre pasa a ser una marjal dulceacuícola, ya que indica la total desconexión marina. Los escasos foraminíferos, con caparazones más conservados y los ostrácodos de agua dulce permite inferir este paleoambiente. El impacto humano más intenso se da en este período por la expansión agrícola y el fuerte control hidrológico de la albufera de Valencia (Sanchis Ibor, 2001; Mateu, 1987), lo que contribuyó sin duda a la dulcificación de la laguna.



## 6. CONCLUSIONES

Con el estudio estratigráfico del testigo sedimentario y el muestreo sistemático del mismo se ha obtenido una división del testigo en 4 unidades paleoambientales, que de base a techo son: Laguna salobre, "Backbarrier flat", marjal salobre y marjal dulceacuícola.

El análisis granulométrico de las muestras del sondeo SAL 6 ha mostrado una clara dominancia tanto de limos y arcillas como de arenas, la cual va oscilando a lo largo del testigo. Los valores granulométricos son claves para determinar los distintos paleoambientes. La dominancia de limos y arcillas corresponden a facies de marjal mientras que la dominancia de arenas coincide con facies de migración o invasión de la barrera dentro de la laguna. Estas facies intermitentes responden a la Unidad II, interpretada como "backbarrier flat". La zona del testigo dominada por texturas mezcladas se ha determinado como una laguna salobre. Los cantos y gravas son escasos a lo largo del testigo, salvo en las subunidades interpretadas como una emersión de la barrera.

El análisis de las arenas desde un punto de vista morfosκόpico ha dado como resultado unas arenas mayoritariamente subredondeadas, que es lo que cabe esperar de un ambiente de barrera debido a la acción del oleaje y del viento.

Se han estudiado 2.831 caparazones los cuales se han clasificado en 5 especies, todas pertenecientes al orden Rotaliida. Las especies son *A. tepida*, *H. germanica*, *C. excavatum*, *T. aguayoi* y *A. beccarii*.

La evaluación de la conservación de los caparazones estudiados ha dado como resultado una muy buena conservación durante todo el testigo, salvo en el caso de la especie *A. beccarii*, de aguas marinas, la cual ha presentado signos de transporte.

La ecología de las especies presentes en el muestreo SAL 6 ha sido clave para poder realizar la interpretación paleoambiental. Especies como *A. tepida*, *H. germanica* y *C. excavatum* pertenecen a lagunas salobres. La especie *A. beccarii* indica una influencia marina dentro de la barrera. Y por último, la especie *T. aguayoi* pertenece a ambientes de marjal.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Bellier, J. P., Mathieu, R., Granier, B., (2010). *Short Treatise on Foraminiferology (Essential on modern and fossil Foraminifera)*, 1º Edición, Francia: Carnet de Geologie.
- Blázquez Morilla, A., (1996). La plataforma continental interna: facies sedimentarias y foraminíferos bentónicos. *Cuadernos de Geografía de la Universitat de València*, 59, 3-26.
- Blázquez Morilla, A., Ferrer, C., (2012). Role of human actions on landscape changes since the Upper Holocene in the Bajo Segura Basin. *Catena*, 97, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.04.010>
- Blázquez, A., (2005). *Evolución cuaternaria de l'Albufera d'Elx: Paleoambientes y foraminíferos fósiles*, 1º Edición, Alicante: Memorias del Museo Paleontológico de Elche.
- Blázquez, A., Ferrer, C., (2003). L'Albufereta d'Alacant: foraminíferos y evolución paleoambiental. *Cuaternario y Geomorfología*, 18, 55-72.
- Brisset, E., Burjachis, F., Ballesteros, B., Fernández-López De Pablo, J., (2018). Socio-ecological adaptation to Early-Holocene sea-level rise in the western Mediterranean. *Global and Planetary Change*, 169, 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.07.016>
- Cacho, I., Grimalt, J., Canals, M., Sbaiffi, L., Shackleton, N., Schonfeld, J., Zahn, R., (2001). Variability of the western Mediterranean Sea surface temperature during the last 25,000 years and its connection with the Northern Hemisphere climatic changes. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 16, 40-52. <https://doi.org/10.1029/2000PA000502>
- Calonge García, A., Caus, E., García, J., (2001). Los foraminíferos: Presente y pasado. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 9, 144-150.
- Carmona, P., Ruíz, J., Blázquez Morilla, A., López Belzunce, M., Riera, S., y Orengo, H., (2016). Environmental evolution and mid-late Holocene climate events in the Valencia lagoon (Mediterranean coast of Spain). *The Holocene*, 26, 1750-1765. <https://doi.org/10.1177/0959683616645940>

- Climate Data (2023). Clima Valencia. Disponible en: <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/valencia-845/> [Consulta: 22-05-2023]
- España (2004) "Decreto 259/2004, de 19 de noviembre, del Consell de la Generalitat, por el que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de l'Albufera". *Diari Oficial de la Comunitat Valenciana*, 24 de noviembre de 2004 (5268), pp. 299506-299570
- España (1995) "Decreto 96/1995, de 16 de mayo, del Gobierno valenciano, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Cuenca Hidrográfica de la Albufera", *Boletín Oficial del Estado*, 16 de mayo de 1995 (2516), pp. 7607-7636.
- España (2004) "Decreto Legislativo 259/2004 del Consell de la Generalitat, por el que se aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de l'Albufera", *Boletín Oficial del Estado*, 19 de noviembre de 2004 (4890), pp. 29906-29982.
- Fatela, F., Taborda, R., (2002). Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45, 169-174. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(02\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(02)00021-X)
- García Forner, A., (1997). *Foraminíferos cuaternarios de las marjales de Oliva-Pego y Xàbia (Valencia-Alicante)*. Tesis Doctoral, Universidad de Valencia, Valencia.
- Generalitat Valenciana (2023). *Conselleria de Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica*. Disponible en: <https://parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera/geologia> [Consulta: 20-05-2023]
- Goy, J., Zazo, C., Dabrio, C., (2003). A beach-ridge progradation complex reflecting periodical sea-level and climate variability during the Holocene (Gulf of Almería, Western Mediterranean). *Geomorphology*, 50, 251-268. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00217-9](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00217-9)
- Guillem Martínez, J., (2007). *Tafonomía, taxonomía y ecología de los foraminíferos de la Albufera de Torreblanca*. Tesis doctoral, Universidad de Valencia, Valencia.

- Lee, J. J., Sang, K., ter Kuile, B., Strauss, E., Lee, P. J., Faber Jr, W. W., (1991). Nutritional and related experiments on laboratory maintenance of three species of symbiont-bearing, large foraminifera. *Marine Biology*, 109, 417-425. <https://doi.org/10.1007/BF01313507>
- Loeblich, A. R., Tappan, H., (1988). *Foraminiferal Genera and Their Classification*, 1º Edición, New York: Springer New York.
- Loeblich, A. R., Tappan, H. (1992). "Present status of foraminiferal classification", en: Y. Takayanagi, y T. Saito, *Studies in Benthic foraminifera*, Tokyo: Tokai University Press, 93-102.
- MAPA (2022). *Demografía de la población costera en 2020, Valencia, España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación .
- Mateu, E., (1987). *Arroz y paludismo. Riqueza y conflictos en la sociedad valenciana del siglo XVIII*, 1º Edición, Valencia: Ediciones Alfonso el Magnánimo.
- Mayewski, P., Rohling, E., Stager, J., Karlen, W., Maasch, K., Meeker, L., Steig, E., (2004). Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62, 243-255. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2004.07.001>
- Moberg, A., Sonechkin, D., Holmgren, K., Datsenko, N. M., Karlén, W., Lauritzen, S. E., (2005). Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature*, 433, 613-617. <https://doi.org/10.1038/nature03265>
- Molina, E., (2004). *Micropaleontología*, 2º Edición, Zaragoza: Prensas universitarias de Zaragoza.
- Murray, J., (1991). *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*, 1º Edición, London: Routledge.
- Murray, J., (2008). *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*, 1º Edición, New York: Cambridge University Press.
- Patterson, R., Fishbein, E., (1989). Re-examination of the statistical methods used to determine the number of point counts needed for micropaleontological

quantitative research. *Journal of Paleontology*, 63, 245-248.  
<https://doi.org/10.1017/S0022336000019272>

Pawlowski, J., Holzmann, M., Tyszka, J., (2013). New supraordinal classification of Foraminifera: Molecules meet morphology. *Marine Micropaleontology*, 100, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2013.04.002>

Pielou, E., (1969). *An introduction to mathematical ecology*, 1<sup>o</sup> Edition, New York: Wiley.

Rodríguez-Pérez, A., (2017). *Evolucion holocena del Marjal de Almenara: cambios eustáticos y climáticos*. Tesis Doctoral, Universidad Católica de Valencia, Valencia.

Rosselló i Verger, V. M., (1979). Els espais albuferencs del País Valencià. *Acta geològica hispànica*, 14, 487-493.  
<https://doi.org/https://raco.cat/index.php/ActaGeologica/article/view/148717>.

Rosselló I Verger, V. M., Sanchis Ibor, C., (2016). "La génesis de l'Albufera de Valencia", en: J. F. Mateu Bellés, *El territorio valenciano. Transformaciones ambientales y antrópicas*, Valencia: Publicacions de la Universitat de València 121-124.

Ruíz Muñoz, F., González-Regalado Montero, M., Pendón, J., Abad, M., Olias, M., Muñoz Pichardo, J., (2005). Correlation between foraminifera and sedimentary environments in recent estuaries of Southwestern Spain: Applications to holocene reconstructions. *Quaternary International*, 140, 21-36.  
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2005.05.002>

Sabatier, P., Dezileau, L., Condornines, M., Briquet, L., Colin, C., Bouchette, F. Clanchemanche, P., (2008). Reconstruction of paleostorm events in a coastal lagoon (Hérault, South of France). *Marine Geology*, 251, 224-232.  
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.03.001>

Sacchi, M., Molisso, F., Pacifico, A., Vigliotti, M., Sabbarese, C., Ruberti, D., (2014). Late-Holocene to recent evolution of Lake Patria, South Italy: An example of a coastal lagoon within a Mediterranean delta system. *Global and Planetary Change*, 117, 9-27. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.03.004>

- Sanchis Ibor, C., (2001). *Regadiu i canvi ambiental a l'Albufera de València*. 1º Edición, Valencia: Publicacions de la Universitat de València.
- Santisteban, C., Marco-Barba, J., Miracle, M. R., (2009). La evolución holocena de la Albufera de Valencia. *Geogaceta*, 99-102.
- Segura Beltran, F., Pardo Pascual, J., Sanjaume Saumell, E., López García, M. J., (1992). Tasas de sedimentación en l'Albufera de Valencia. *Cuadernos de Geografía de la Universitat de Valencia*, 51, 63-81.
- Sen Gupta, B. K., (1999). *Modern Foraminifera*, 1º Edición, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Shannon, C. E., & Weaver, W., (1949). *The Mathematical Theory of Communication*, 1º Edition, Urbana IL: The University of Illinois Press.
- Simpson, E., (1949). *Measurement of Diversity*, 1º Edition, London: Nature.
- Torres, T., Ortíz, J., Martín-Sánchez, D., Rodríguez Estrella, T., (2014). The long Pleistocene record from the Pego-Oliva marshland (Alicante-Valencia, Spain). *Geological Society London Special Publications*, 388, 429-452. <https://doi.org/10.1144/SP388.2>
- Usera, J., Blázquez Morilla, A., Guillem, J., Alberola, C., (2002). Biochronological and paleoenvironmental interest of foraminifera lived in restricted environments: Application to the study of the western Mediterranean holocene. *Quaternary International*, 93, 139-147. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00012-5)
- Usera, J., Blázquez, A., Guillem, J., (2006). Evolución holocena de la Marjal de Peñíscola (Castellón, España) deducida del estudio de sus foraminíferos fósiles. *Revista Española de Micropaleontología*, 38, 381-393.
- WoRMS Editorial Board (2023). *World Register of Marine Species*. Disponible en: <https://www.marinespecies.org/> [Consulta: 25-05-23]
- Zazo, C., Cendrero, A., (2015). *Explorando las costas de un pasado reciente: los cambios del nivel del mar*. Tesis doctoral, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.