



Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias Marinas

Campus Ensenada

**PALEOECOLOGÍA DE LA CORDILLERA DE ALARCÓN: EL HOLOCENO**

**TEMPRANO A TRAVÉS DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS**

Tesis

Que para obtener el título de Oceanólogo

Presenta:

**Eduardo Monreal Lara**

Ensenada, Baja California, México.

Mayo de 2025.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
CAMPUS ENSENADA



**“PALEOECOLOGÍA DE LA CORDILLERA DE ALARCÓN: EL HOLOCENO TEMPRANO A TRAVÉS DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS”**

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE OCEANÓLOGO  
PRESENTA:

**Eduardo Monreal Lara**  
364892

A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, las y los señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rúbrica:

**Dra. Gabriela de Jesús Arreguín Rodríguez**  
DIRECTORA

**Dra. Patricia Alvarado Graef**  
SINODAL

**Dra. Christina Verónica Treinen Crespo**  
SINODAL

**Dra. Violeta Zetzangari Fernández Díaz**  
SINODAL

**Dr. Juan Carlos Herguera García**  
SINODAL

**“Por la Realización Plena del Ser”**

### **Agradecimientos:**

A David Clague (Monterey Bay Aquarium Research Institute, MBARI) y Ryan Portner (San Jose State University) por proporcionar las muestras de sedimento estudiadas, las cuales fueron colectadas durante la expedición 2015093 a bordo del buque R/V Western Flyer en la expedición oceanográfica a la Cordillera de Alarcón (sur del Golfo de California) realizada por MBARI en 2015.

A la Dra. Gabriela de Jesús Arreguín Rodríguez, por todo el tiempo, la orientación, las enseñanzas y la paciencia que ha invertido en mí y en esta tesis, que forma parte del proyecto 401/3202 - CONDICIONES PALEOECOLÓGICAS EN LA CORDILLERA DE ALARCÓN (GOLFO DE CALIFORNIA) DURANTE EL HOLOCENO TEMPRANO: INFERENCIAS A PARTIR DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS. Especialmente, por la paciencia y motivación durante el trabajo en microscopio, de otra forma no habría podido lograrlo.

Al cuerpo académico Geociencias Marinas y Costeras, en especial a la Dra. Violeta Zetzangari Fernández Díaz, por todo el apoyo brindado en estos años a través del proyecto 401/1/C/28/23 – EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PÉRDIDA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS HUMEDALES DE BAJA CALIFORNIA DE CARA AL AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR POR CAMBIO CLIMÁTICO.

A la Dra. Christina Verónica Treinen Crespo, por su disposición para colaborar en una parte crucial del procesamiento de muestras que representó un ahorro significativo de tiempo, así como su apoyo y orientación en este proceso y la preparación para congresos.

Y por supuesto, a la Dra. Paty: en el conjunto de las palabras no existe un único elemento que logre describir la magnitud de mi agradecimiento. Por lo tanto:

$$\int_a^{\infty} g(t) dt$$

donde:

$g(t)$ : la función de gratitud con respecto al tiempo.

$a$ : la primera clase de cálculo, desde la pandemia.

### Dedicatoria:

*“Quisiera dedicaros unos versos  
Que valieran lo que vale vuestra luz  
Pero no cabe en un folio el universo  
Tampoco en una frase cabe mi gratitud*

*Han de saber que decidí no decir nombres  
Por si alguno se quedaba en el tintero  
Así que va por las mujeres y los hombres  
Por todos aquellos que me quieren y que quiero*

*A mi madre, por ser las columnas de mi templo  
Por enseñarme con su amor y con su ejemplo  
¿Qué más da que papá huyera?  
Si ella supo ser todo lo que él no era*

*A mis hermanos, por ser calor y abrigo  
Aconsejarme cuando busco un buen amigo  
Por perdonarme cuando no se lo que digo  
Y por estar siempre conmigo  
como el sol está en el trigo*

*Y va por ti, y por las piedras del camino  
Y por la suerte y el regalo  
de tener a veleristas a mi lado  
Deshojando los segundos  
Con ellos y mi credo ya no me da miedo el mundo*

*Especial dedicación pa' los amigos  
Que me dan su corazón sin regateos  
Que no saben de mi don ni mis rapeos  
Pero solo con mirarme saben de qué pie cojeo*

*Y Dios bendiga los clavos de mi ataúd  
Y a todos los que se dejan la piel y la juventud  
en cada texto, respetando la escritura  
Científicos honestos dan amor a esta cultura*

*Yo solo canto lo que el corazón exige  
Como el loco ruiseñor que no escapa del terremoto  
Al hada noble del amor que nos elige  
Ya os lo dije, yo no valgo nada sin vosotros.”*

## Resumen

Los foraminíferos bentónicos son un grupo de protistas unicelulares que forman una concha (o testa) relativamente fácil de identificar y de preservar, a partir de la cual se pueden identificar las distintas especies. Se encuentran en una gran variedad de ecosistemas marinos y acuáticos, y su distribución responde a los parámetros del ambiente y sus cambios, por lo cual, pueden ser utilizados como indicadores de las condiciones del lugar y tiempo en el cual habitaron. En este estudio se evaluó la estructura y composición de las comunidades de foraminíferos bentónicos en la Cordillera de Alarcón, un sitio de dispersión activo ubicado al sur del Golfo de California. En este sitio se colectó un núcleo del que se obtuvieron 34 muestras de sedimento que abarcan el Holoceno Temprano (11,700- 8,276 años AP). Estas muestras se lavaron y tamizaron para posteriormente extraer las testas presentes y caracterizarlas a nivel género (cuando fue posible, hasta especie). En cada muestra se calculó la abundancia relativa de cada especie e índices de diversidad, se identificaron biofacies por el método de diferencia de heterogeneidad acumulada y por último, se utilizó estadística multivariada para encontrar patrones de distribución similares entre las especies.

La dominancia de taxones calcáreos e infaunales sugiere condiciones predominantemente eutróficas, con alta saturación de carbonato de calcio. Se identificaron dos asociaciones principales de foraminíferos bentónicos: el subclúster A1, relacionado con condiciones mesotróficas, y el clúster B, compuesto por especies oportunistas con preferencia por ambientes eutróficos. Se identificaron seis biofacies: tres de ellas muestran diferencias positivas de heterogeneidad, y se caracterizan por un aumento en la abundancia del subclúster A1, disminución del clúster B y mayor diversidad. Las otras tres presentan diferencias negativas de heterogeneidad, y están asociadas con menor abundancia de A1, mayor proporción de B y una menor diversidad. Las biofacies con heterogeneidad positiva coinciden parcialmente con eventos climáticos de escala global, como la Oscilación Preboreal y los eventos de 10.3 ka y 8.2 ka. Los cambios observados en la estructura de la comunidad durante estos periodos podrían estar relacionados con las alteraciones ambientales provocadas por dichos eventos. Sin embargo, aún se requieren estudios adicionales para determinar con mayor precisión la magnitud de su influencia en la Cordillera de Alarcón.

Palabras clave: Paleoecología, Foraminíferos bentónicos, Holoceno Temprano, Cordillera de Alarcón.

Índice	Página
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. Foraminíferos bentónicos.....	1
1.2 Paleoclimatología y micropaleontología.....	3
<b>2. Antecedentes.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Hipótesis.....</b>	<b>9</b>
<b>4. Objetivos.....</b>	<b>9</b>
4.1 Objetivo general.....	9
4.2 Objetivos particulares.....	9
<b>5. Descripción del área de estudio.....</b>	<b>10</b>
<b>6. Metodología.....</b>	<b>12</b>
6.1. Muestreo y procesamiento.....	12
6.2. Extracción de ejemplares y clasificación taxonómica.....	14
6.3. Análisis estadístico e interpretación paleoecológica.....	14
<b>7. Resultados.....</b>	<b>19</b>
<b>8. Discusión.....</b>	<b>31</b>
8.1 Interpretación paleoecológica.....	31
8.2 Eventos climáticos relacionados.....	36
<b>9. Conclusiones.....</b>	<b>41</b>
<b>10. Referencias.....</b>	<b>43</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>60</b>
Anexo 1. Base de datos de abundancias relativas de las muestras del núcleo D746-PC65L de la cordillera de Alarcón expresadas en porcentajes (%).....	60
Anexo 2. Índices de diversidad y abundancias relativas (expresadas en porcentajes; %) de especies calcáreas, infaunales, bulimínidos s.l. y clústers.....	66
Anexo 3. Preferencias ecológicas de los taxones con abundancia >3% en al menos una de las muestras.....	67

## Lista de figuras

	Página
<b>Figura 1.</b> Conexión entre el lago Agassiz (L. Ag.) y el Noratlántico. Posición de la capa de hielo Laurentino (Laurentide Ice Sheet; LIS) y la capa de hielo Fennoescandinava (Fennoscandinavian Ice Sheet; FIS).....	7
<b>Figura 2.</b> A) Mapa batimétrico del sur del Golfo de California. B) Marco tectónico de la ubicación del área de estudio.....	11
<b>Figura 3.</b> Localización del área de muestreo del núcleo D746-PC65L, en la Cordillera de Alarcón (sur del Golfo de California).....	13
<b>Figura 4.</b> Modelo TROX .....	18
<b>Figura 5.</b> Índices de diversidad y abundancias relativas de grupos de foraminíferos bentónicos y clústers.....	21
<b>Figura 6.</b> Histogramas de índices de diversidad y abundancia de infaunales, bulimínidos s.l., subclúster A1 y clúster B de las comparaciones con diferencia significativa.....	25
<b>Figura 7.</b> Dendograma jerárquico en modo R y abundancia relativa de las especies comunes (>3%) a lo largo del Holoceno Temprano en el núcleo D746-PC65L del sitio AR3 West en la Cordillera de Alarcón.....	27
<b>Figura 8.</b> Resultado del DCA en modo R (a) y modo Q (b) a partir de la abundancia relativa de las especies comunes (>3%) en el núcleo D746-PC65L del sitio AR3 West en la Cordillera de Alarcón.....	30

**Lista de tablas**

	Página
<b>Tabla 1.</b> Rango de profundidad de taxones más comunes.....	20
<b>Tabla 2.</b> Estimación de edad de las muestras e identificación de biofacies.....	22
<b>Tabla 3.</b> Valores $p$ del test Epps-Singleton para la distribución de las biofacies.....	24
<b>Tabla 4.</b> Coeficientes de variación del test Fligner-Killeen para las biofacies.....	26

## **1. Introducción**

### **1.1. Foraminíferos bentónicos**

Los foraminíferos (orden: Foraminiferida) son un grupo de protozoarios heterótrofos unicelulares cuyo citoplasma se encuentra generalmente protegido por una concha (también llamada testa) formada principalmente por  $\text{CaCO}_3$ , así como también por materia orgánica secretada, minerales o partículas aglutinadas, y que poseen una o múltiples cámaras conectadas por aperturas llamadas foramen (Armstrong y Brasier, 2005). Se distinguen de otros protistas por la presencia de pseudópodos, los cuales se conectan al exterior por medio de la apertura principal de la testa y cumplen funciones de locomoción, alimentación, protección, entre otras (Saraswati, 2021).

Dentro de este grupo hay especies planctónicas, que suelen vivir a profundidades menores a 400 m, así como especies bentónicas, las cuales se encuentran en el fondo marino (Saraswati, 2021). Las especies bentónicas que se encuentran sobre el sedimento, ya sea de forma sésil o libre, se consideran epifaunales; mientras que los infaunales son aquellos que están inmersos en el sedimento (Saraswati, 2021). La mayoría suelen ser infaunales someros, ya que se encuentran en los primeros 10 mm; sin embargo, hay especies profundas que pueden alcanzar más de 200 mm por debajo de la superficie del sedimento (Armstrong y Brasier, 2005).

Los foraminíferos bentónicos pueden presentar tanto conchas calcáreas como aglutinadas; a diferencia de los foraminíferos planctónicos, que únicamente son calcáreos. Las testas aglutinadas (suborden: Textulariina) están formadas por material orgánico y mineral proveniente del fondo oceánico unido por un cementante orgánico, calcáreo o de óxido férrico, mientras que las testas calcáreas son las más abundantes y pueden ser de tres diferentes tipos: porcelánicas imperforadas (constituidas principalmente de calcita de magnesio), hialinas perforadas y microgranulares (Armstrong y Brasier, 2005).

La taxonomía se realiza siguiendo las características de las testas, y ha sido modificada constantemente. De acuerdo con Saraswati (2021), la primera propuesta fue realizada por D'Orbigny (1826), quien se basó en los cinco tipos de arreglos que encontró en las cámaras internas. Posteriormente, Loeblich y Tappan (1964) desarrollaron una propuesta de acuerdo a la composición de las paredes y la textura; mientras que Mikhalevich (2013) propone que es mejor tener en cuenta la morfología general de las testas. Recientemente se ha explorado una taxonomía supraordinal basada en estudios moleculares (Pawloski et al., 2013); sin embargo, aún son necesarios más estudios al respecto.

Los foraminíferos bentónicos se encuentran en prácticamente todos los nichos ecológicos, desde mares marginales hasta el océano profundo, e incluso en ambientes de agua dulce (Saraswati y Srinivasan, 2016). Además, su distribución está controlada

por los parámetros del ambiente y sus cambios (Barragán-Montilla, 2022). Gooday (2003) menciona que en aguas de fondo bien oxigenadas las comunidades de foraminíferos suelen ser muy diversas, y que la proporción de testas calcáreas respecto a las aglutinadas suele disminuir conforme aumenta la profundidad del agua. Por otra parte, el modelo TROX (TR: condiciones tróficas; OX: concentración de oxígeno) explica que la profundidad de la distribución de bentónicos infaunales está determinada por la disponibilidad de alimento en el sedimento en los ambientes oligotróficos, mientras que en ambientes eutróficos se encuentra controlada por los niveles de oxígeno (Jorissen et al., 2007). Es por ello que sus fósiles suelen ser utilizados como indicadores indirectos (proxies) del ambiente y tiempo en que fueron depositados, ya sea de acuerdo a sus características faunísticas (especies, diversidad, morfotipos) o al análisis de la composición de las testas (Gooday, 2003), pues en ellas se graban las señales químicas del agua donde crecieron (Armstrong y Brasier, 2005).

## **1.2 Paleoclimatología y micropaleontología**

El clima de la Tierra depende de la interacción entre los cuerpos de agua, la biosfera, la atmósfera, e incluso la litósfera y el hielo en el planeta, en escalas que van desde segundos hasta millones de años, lo cual lo convierte en un tema complejo y multidisciplinario (Cronin, 1999). La paleoclimatología, cuya finalidad es narrar la historia climática de la Tierra, es clave para entender cómo los ciclos biogeoquímicos y la biosfera pueden responder a los niveles crecientes de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto

invernadero (Tierney et al., 2020). Es decir, analizar la variabilidad climática en el pasado es clave para evaluar el impacto potencial de las actividades humanas en el clima del futuro (IPCC, 2007).

Muchos sistemas naturales son dependientes del clima, de forma que las condiciones del entorno dejan distintos archivos o registros tanto en medios continentales (anillos de árboles, sedimentos lacustres, espeleotemas, capas de hielo, entre otros) como oceánicos (corales y sedimentos marinos), a partir de los cuales es posible reconstruir las condiciones ambientales del pasado (Bradley, 1999; Cronin, 1999). El análisis del material disponible en estos registros (tal como los microfósiles en los sedimentos marinos, o isótopos en núcleos de hielo) permite inferir diversas variables paleoclimáticas, como son temperatura, precipitación, salinidad, cambios en el volumen de hielo, productividad biológica, actividad volcánica, circulación oceánica, entre otras (Bradley, 1999; Cronin, 1999).

La micropaleontología en general brinda la posibilidad de estudiar miles de años en una sola muestra, pues en algunos casos,  $10 \text{ cm}^3$  de sedimento pueden contener alrededor de 10,000 organismos de 300 especies diferentes correspondientes a varias generaciones (Armstrong y Brasier, 2005). En todos los reinos de la vida existen formas microscópicas; sin embargo, solo algunas de ellas son útiles en la interpretación de paleoambientes, tales como radiolarios, ostrácodos, diatomeas, silicoflagelados, entre otros (Saraswati y Srinivasan, 2016). En particular, los foraminíferos resultan útiles

para estudios del pasado ya que son fáciles de identificar y preservar, poseen una distribución bastante amplia, su abundancia alcanza alrededor de 90% de la biomasa del océano profundo (incluyendo bentónicos y planctónicos) y la antigüedad de algunas especies bentónicas data desde inicios del periodo Cámbrico (hace 541 Ma; suborden: Allogromiina) (Armstrong y Brasier, 2005).

## **2. Antecedentes**

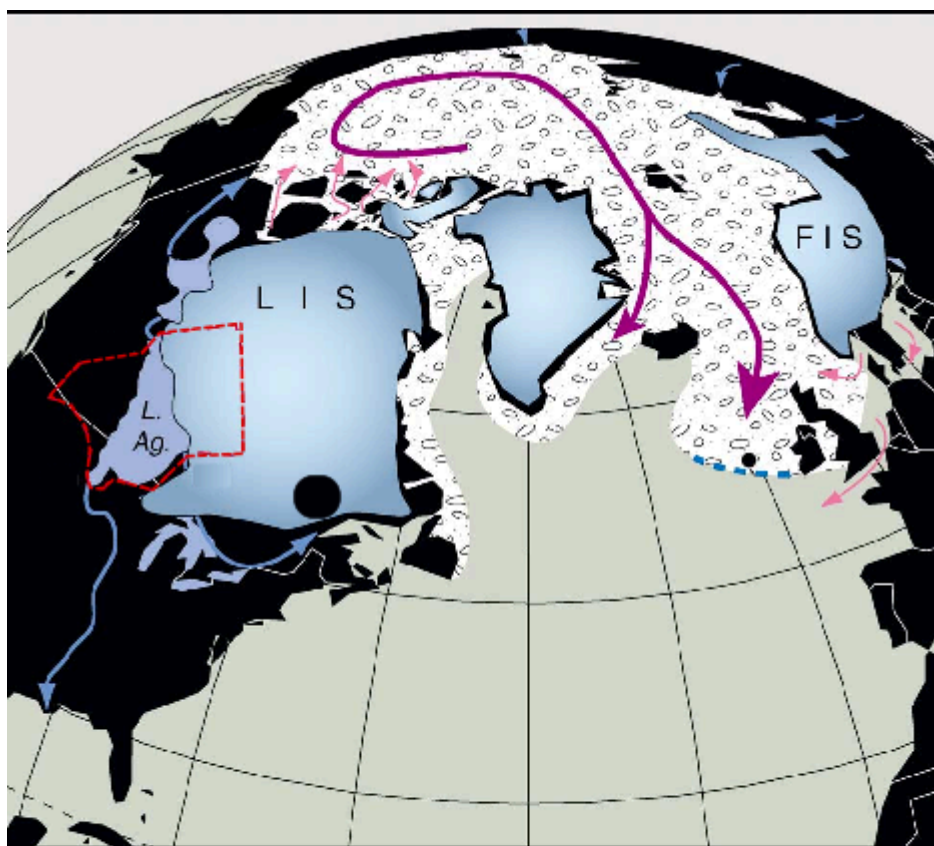
El clima depende de la interacción de varios factores en determinado momento, generando variaciones a lo largo del tiempo. El Pleistoceno (2.58-0.01 Ma antes del presente (AP)), caracterizado por condiciones glaciares, presentó 20 ciclos mayores de frío-calor con fluctuaciones de temperatura de hasta 10°C, donde las tasas de evaporación eran menores y, por lo tanto, el planeta era más seco que en el presente (Wicander y Monroe, 2010). Posteriormente, el cambio de condiciones frías a cálidas que ocurrió durante el último periodo de desglaciación dio paso al inicio del Holoceno (hace 11,700 años), el cual se considera un periodo interglaciar con un incremento en el nivel del mar de aproximadamente 30 m en el periodo entre 11,000-3,000 años antes del presente (AP) (Cronin, 1999; Hijma et al., 2025). Aunque anteriormente se consideraba que el clima durante esta época era estable, actualmente se tiene evidencia de distintos cambios climáticos ocurridos (es decir, variación en temperatura y precipitación), especialmente durante la primera mitad (Boch et al., 2009).

El Holoceno Temprano (11,700 - 8,276 AP; Cohen et al., 2013) se caracteriza por una marcada estacionalidad y por la presencia de la capa de hielo Laurentino (LIS por sus siglas en inglés) en Norte América (Shi et al., 2020), cuyo retroceso estuvo influenciado principalmente por el aumento de la insolación del verano Boreal (Carlson et al., 2008). La desglaciación de esta capa de hielo es la causa más probable de distintas anomalías climáticas que ocurrieron durante este periodo, pues el flujo de agua dulce perturbó la circulación termohalina provocando un rápido enfriamiento en la región del Noratlántico (Fisher et al., 2002; Alley y Ágústsdóttir, 2005; Boch et al., 2009).

Entre estas anomalías, se encuentra la Oscilación Preboreal (*Preboreal Oscillation*; PBO) y los eventos 10.3k y 8.2k. Se considera que el origen de la PBO está relacionado al lago glaciar Agassiz (Figura 1), el cual se formó en el margen de LIS, y que descargó un gran volumen de agua dulce en un periodo corto (Fisher et al., 2002). La PBO tuvo una duración alrededor de 230 años (entre los años 11,500 - 11,270 AP) y sus efectos incluyen enfriamiento, reducción de salinidad de aguas superficiales, así como alteraciones en la circulación termohalina y atmosférica (Fisher et al., 2002; Rasmussen et al., 2007).

En el caso del evento 10.3k, hay diferentes teorías respecto a su origen. Aunque hay evidencia de descargas glaciares en edades cercanas, es probable que la principal forzante esté relacionada a un decremento en la radiación solar reforzado por

los aportes de agua dulce (Björck et al., 2001; Li et al., 2022). Este evento tuvo una duración aproximada de 260 años (entre 10,510 y 10,250 AP), y provocó debilitamiento de monzones, condiciones secas, disminución de la temperatura superficial del mar (2.1-2.7 °C), así como cambios en la productividad y oxigenación de ecosistemas marinos (Behl y Kennet, 1996; Björck et al., 2001).



**Figura 1.** Conexión entre el lago Agassiz (L. Ag.) y el Noratlántico. Posición de la capa de hielo Laurentino (Laurentide Ice Sheet; LIS) y la capa de hielo Fennoescandinava (Fennoscandinavian Ice Sheet; FIS).

Modificado de: Fisher et al. (2002).

Por último, el evento 8.2k está caracterizado por un comienzo drástico y una etapa final lenta, con una duración aproximada de 160 años (entre 8,300 y 8,160 años

AP) (Rasmussen et al., 2012). Este evento provocó una disminución de la temperatura global en  $3.3 \pm 1.1^\circ\text{C}$  (Porinchu et al., 2019) y su mecanismo de origen es muy similar al de la PBO (Alley y Ágústsdóttir, 2005). Sus efectos han sido identificados en diferentes sitios alrededor del mundo, incluyendo principalmente intensificación de los vientos, enfriamiento en latitudes medias y altas, condiciones secas en latitudes bajas, e incluso cambios en la paleoproductividad del Golfo de California (Barrón et al., 2004; Alley y Ágústsdóttir, 2005; Boch et al., 2009; Douglas et al., 2007).

En la Cordillera de Alarcón, los estudios micropaleontológicos son escasos. Ramos-Albino (2022) analizó las asociaciones de foraminíferos bentónicos del Pleistoceno Tardío en un monte submarino asociado a este sitio, y encontró que los eventos climáticos correspondientes a la edad de sus muestras influyeron en la diversidad de la comunidad y el aporte de alimento. Por otro lado, diversos autores (Keigwin y Jones, 1990; Sancetta, 1995; Keigwin, 2002; Barron et al., 2004, 2005; Douglas et al., 2007; Staines-Urías et al., 2015) han estudiado la paleoceanografía en las cuencas del Golfo de California mediante indicadores como silica biogénica, contenido de carbonato en sedimentos, diatomeas, silicoflagelados, cocolitofóridos e incluso señales isotópicas en testas de foraminíferos bentónicos, sin embargo, la resolución para el Holoceno Temprano es limitada debido a que los intervalos de estos estudios abarcan periodos más amplios. En este contexto, el análisis de comunidades de foraminíferos bentónicos en la Cordillera de Alarcón durante el Holoceno Temprano

representa un campo poco explorado y con potencial para aportar información paleoambiental relevante.

### **3. Hipótesis**

La estructura y composición de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en la Cordillera de Alarcón está determinada tanto por condiciones locales-regionales como por la variabilidad climática global.

### **4. Objetivos**

#### **4.1 Objetivo general**

- Determinar las condiciones paleoecológicas dominantes durante el Holoceno Temprano en la Cordillera de Alarcón (Golfo de California) a partir de la estructura y composición de la comunidad de foraminíferos bentónicos.

#### **4.2 Objetivos particulares**

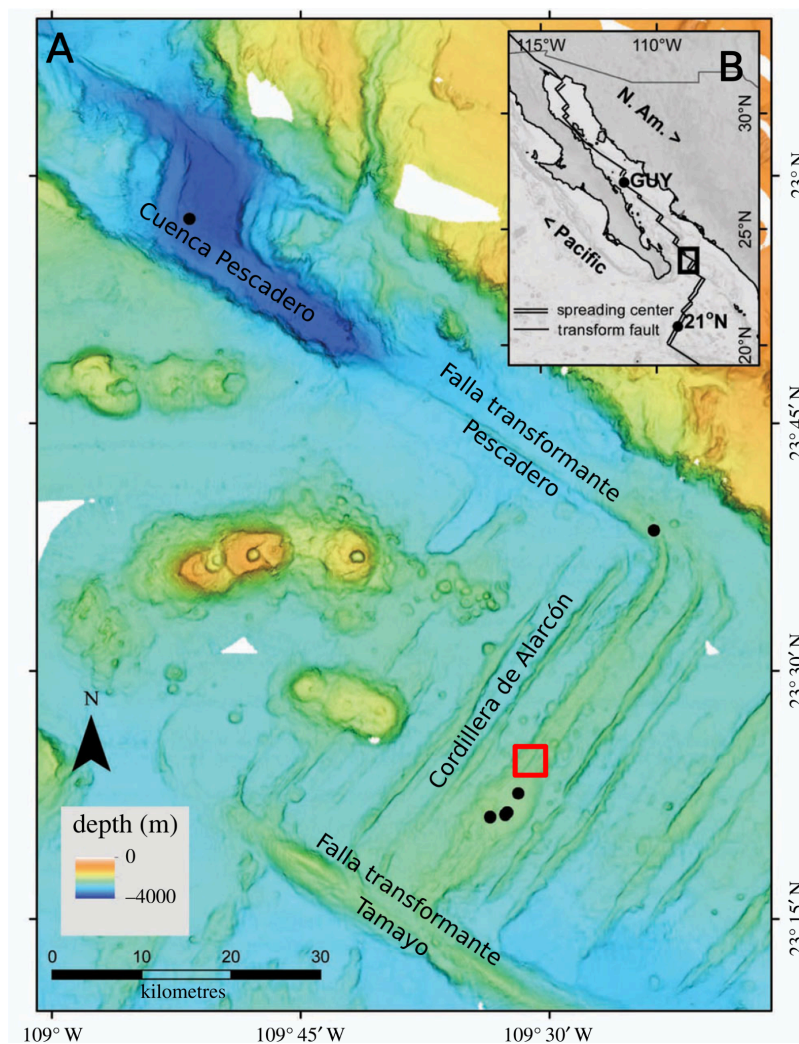
- Caracterizar las asociaciones de foraminíferos bentónicos presentes (en la Cordillera de Alarcón durante el Holoceno Temprano) a nivel género y/o especie para inferir las condiciones dominantes en el área de estudio.
- Evaluar los patrones de distribución de las especies para identificar tendencias similares y preferencias ecológicas.

- Identificar las principales condiciones que determinan la distribución de las especies a lo largo del intervalo de estudio.

## **5. Descripción del área de estudio**

La Cordillera de Alarcón es un sistema de dispersión activo del piso oceánico con una tasa de dispersión de 4.9 cm/año, se encuentra ubicada al sur del Golfo de California (Figura 2) y es el segmento de roca que se encuentra más al norte en la dorsal del Pacífico Oriental (DeMets et al., 2010; Clague et al., 2018; Vega-Ramírez, 2018). Esta formación tiene una orientación NE-SO con una extensión de 50 km, limitada por las fallas transformantes de Pescadero al norte y de Tamayo al sur (Castillo et al., 2002; Clague et al., 2018; Vega-Ramírez, 2018). Interpretaciones de anomalías magnéticas y transectos sísmicos sugieren que la extensión que dio origen a esta formación inició hace 3.6 Ma, estableciéndose completamente hace 2.5 Ma y produciendo alrededor de 135 km de corteza oceánica de 6 km de ancho (Lizarralde et al., 2007; Umhoefer et al., 2007).

En este sitio se encuentran cuatro ventilas hidrotermales con estructuras que alcanzan los 33 metros de altura y con características geoquímicas y biológicas similares entre ellas (Goffredi et al., 2017). Estos autores señalan también que la litología presente en esta región son basaltos jóvenes, y que las chimeneas formadas por los fluidos hidrotermales son depósitos de sulfuros polimetálicos.



**Figura 2.** A) Mapa batimétrico del sur del Golfo de California (modificado de Goffredi et al., 2017), se muestra la ubicación de la Cordillera de Alarcón y las fallas que la delimitan. El recuadro rojo indica la posición aproximada del sitio de la colecta del núcleo estudiado. Los puntos negros representan ventilas hidrotermales (zonas de filtración ‘seeps’ en el caso de la Falla Pescadero). B) Marco tectónico de la ubicación del área de estudio.

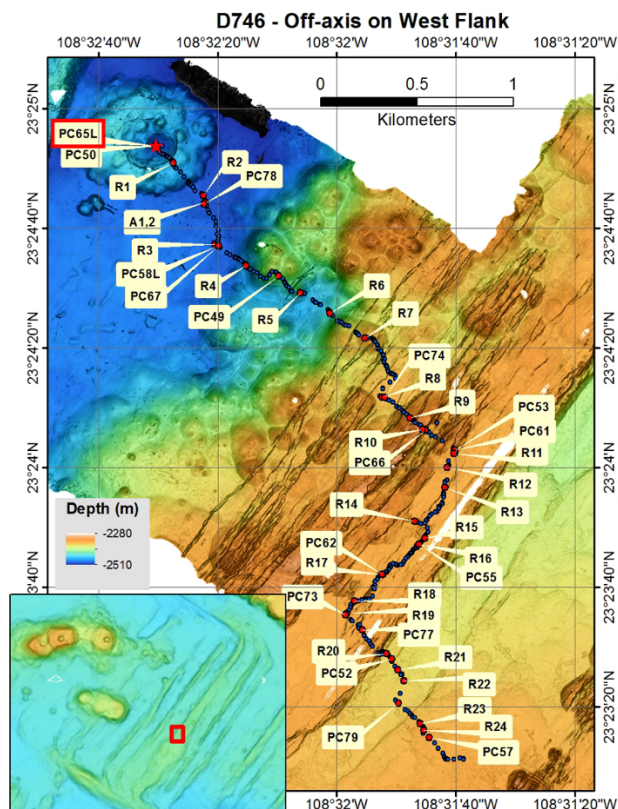
## 6. Metodología

### 6.1. Muestreo y procesamiento

Se analizaron 34 muestras procedentes del núcleo D746-PC65L del sitio AR3 West ubicado en la Cordillera de Alarcón (Figura 3). El núcleo fue colectado a 2503 m de profundidad en el año 2015, durante la expedición 2015093 a bordo del buque R/V Western Flyer. Para el muestreo se utilizó un vehículo sumergible operado remotamente (ROV) y un nucleador de empuje largo (*long push core*) desarrollado en el Instituto de Investigaciones del Acuario de la Bahía de Monterey (MBARI, por sus siglas en inglés), California, EUA. El brazo manipulador del ROV empujó el nucleador dentro del fondo oceánico para obtener el núcleo con una longitud total de 116 cm.

El núcleo fue submuestreado en 2019 en el Departamento de Geología de la Universidad de San José California, EUA. A partir de los 40 cm de profundidad, se tomaron muestras de un centímetro de grosor, en intervalos de 1 cm aproximadamente. El intervalo comprendido entre los 72 y 77 cm no se muestreó dado que no había sedimento disponible. Las 34 muestras obtenidas fueron tamizadas en húmedo para eliminar la fracción fina de sedimento y poder extraer los foraminíferos bentónicos. Para ello, las muestras se colocaron en remojo con agua y detergente, y se lavaron sobre un tamiz de 63 micras. Se realizó un segundo lavado en algunas muestras (ver Anexo 1) utilizando  $\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$  al 5% debido al grado de cohesión que presentaba el

sedimento. Este proceso de lavado de las muestras se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, México.



**Figura 3.** Localización del área de muestreo del núcleo D746-PC65L, en la Cordillera de Alarcón (sur del Golfo de California). El núcleo fue tomado en la parte interna oeste del cono (marcado con estrella roja). Imagen proporcionada por David Clague, líder de la expedición oceanográfica 2015093.

De acuerdo con el fechamiento calibrado obtenido con  $^{14}\text{C}$ , la edad de las muestras se encuentra entre los años 8,304 y 11,962 AP; datos obtenidos por David Clague, MBARI); es decir, corresponden al Groenlandiense (Holoceno Temprano; Cohen et al., 2013). Dado que solamente se conoce la edad en tres profundidades del núcleo

(47-49 cm: 8,304 años AP; 74-76 cm: 9,973 años AP y 115-116 cm: 11,962 años AP), se realizó una interpolación lineal basada en los puntos de referencia para de estimar la edad aproximada en cada muestra, con lo cual se asumen tasas de sedimentación constante entre los intervalos.

## **6.2. Extracción de ejemplares y clasificación taxonómica**

La fracción mayor a 63 micras de cada muestra se observó en microscopio para la extracción de aproximadamente 300 testas de foraminíferos bentónicos, las cuales se colocaron en celdillas micropaleontológicas e identificaron a nivel género y, cuando fue posible, hasta nivel especie. Para ello, se siguieron los conceptos taxonómicos de Loeblich y Tappan (1987) para los niveles superiores, y para nivel especie se consideró la nomenclatura de Van Morkhoven et al. (1986), Machain-Castillo et al. (2010), Erdem y Schönfeld (2017), y Ramos-Albino (2022). La muestra correspondiente a la profundidad 65.5 cm no se considera representativa y ha sido excluida de todos los cálculos, pues solo se encontraron 4 ejemplares debido a la poca cantidad de sedimento disponible (ver Anexo 1).

## **6.3. Análisis estadístico e interpretación paleoecológica**

Se calculó la abundancia relativa de cada taxón por muestra, así como los porcentajes de los ejemplares de acuerdo a la composición de su concha (aglutinada y calcárea) y a su posición de vida (infaunales y epifaunales). Para la determinación de los

microhábitats se consideró la morfología de las testas, de acuerdo con los criterios definidos por Corliss (1985, 1991). Además, se obtuvo la proporción del grupo bulimínidos *sensu lato* (*s.l.*), el cual incluye géneros de las superfamilias Buliminacea, Bolivinaea, Turrilinacea y Pleurostomellacea (Sen Gupta, 1999).

Para evaluar la diversidad, se calculó el índice de diversidad de Fisher- $\alpha$  y el índice de heterogeneidad de Shannon-Weaver en cada muestra. El índice de Fisher- $\alpha$  (Fisher et al., 1943) es una herramienta cuantitativa para modelar la relación entre el número de especies y el número de individuos en una muestra, mediante la fórmula:

$$S = \alpha \ln\left(1 + \frac{n}{\alpha}\right)$$

donde:

- $S$ : número total de especies en la muestra.
- $n$ : número total de individuos en la muestra.
- $\alpha$ : diversidad de la comunidad.

Valores altos de  $\alpha$  indican comunidades más diversas con presencia de especies raras, mientras un  $\alpha$  bajo sugiere una comunidad menos diversa dominada por pocas especies comunes. Debido a la no linealidad de esta expresión matemática, se utilizó el método Newton-Raphson para obtener los valores de  $\alpha$ , dicho método utiliza la derivada de la función como aproximación mejorada de la raíz, realizando iteraciones hasta hallar el valor de  $\alpha$  para los valores de  $S$  y  $n$  propuestos (Chapra y Canale, 2007).

El índice de Shannon-Weaver es una medida de información relacionada con la proporción de cada especie en determinada comunidad, y se encuentra definido como:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

donde:

- $H'$ : índice de heterogeneidad de Shannon-Weaver.
- $p_i$ : proporción de individuos  $i$  con respecto al total de individuos.

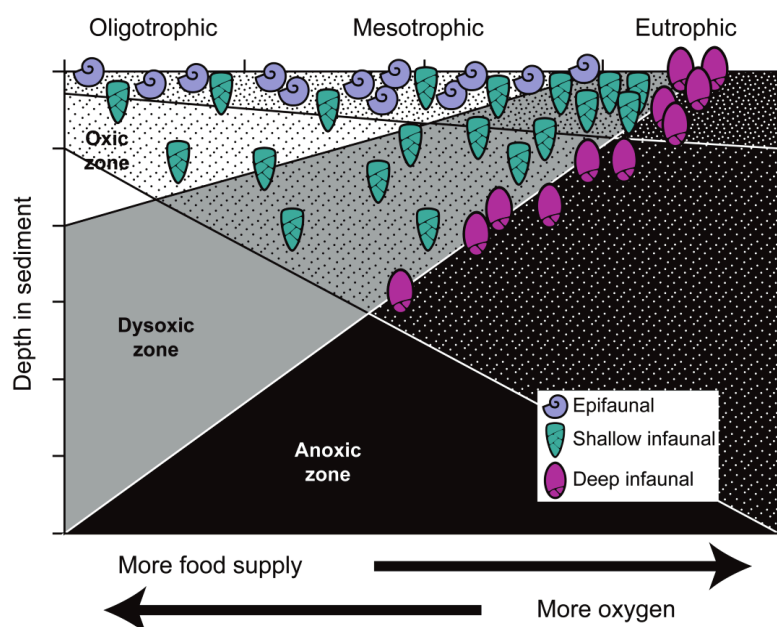
En este caso, valores mayores de  $H'$  están relacionados a una comunidad diversa donde las especies tienen abundancias similares (Shannon, 1948; Buzas y Hayek, 2011).

Se utilizó el método de diferencias de Heterogeneidad (dH) para identificar biofacies, el cual consiste en restar los valores de  $H'$  calculados a partir de la abundancia acumulada iniciando por la muestra más profunda (Arreguín-Rodríguez et al., 2023). De esta forma, cuando hay un cambio de signo en dos o más muestras consecutivas, se considera como evidencia de perturbación en las asociaciones de foraminíferos. Además, se realizaron pruebas estadísticas para comparar las distribuciones (test de Epps-Singleton) y coeficientes de variación (test de Fligner-Killeen) entre las biofacies (Hammer et al., 2001). Los test se aplicaron primero a la totalidad las muestras en biofacies positivas contra las muestras en biofacies negativas, y posteriormente de forma particular al comparar biofacies contiguas.

Para identificar especies con distribución similar a lo largo del intervalo estudiado, se realizó un análisis de clúster jerárquico en modo R empleando el método de aglomeramiento promedio simple (*unweighted pair-group average*, UPGMA) con la correlación de Pearson como medida de similitud (Hammer et al., 2001). Además, se realizaron Análisis de Correspondencia sin Tendencia (*Detrended Correspondence Analysis*, DCA) para las especies (modo R) y las muestras (modo Q) con la finalidad de identificar patrones de distribución asociados a variables paleoambientales. Tanto el análisis clúster como los DCA fueron elaborados únicamente tomando en cuenta las especies comunes; es decir, aquellas que presentaron una abundancia >3% en al menos una de las muestras, excluyendo especies raras o poco abundantes (<3%).

Para la interpretación paleoecología se consideraron proxies basados en las características de las asociaciones de foraminíferos bentónicos, tales como abundancia de especies indicadoras, la abundancia de bulimínidos *s.l.* y la abundancia relativa de morfogrupos, lo cual incluye la proporción entre epifaunales-infaunales y calcáreos-aglutinados. El grupo bulimínidos *s.l.* tolera condiciones de oxígeno reducidas y prospera en condiciones eutróficas (Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993; Thomas, 1998; Fontanier et al., 2002; Gooday, 2003; Jorissen et al., 1995, 2007), mientras que la relación entre calcáreos-aglutinados puede ser indicador de la saturación o corrosividad del carbonato, y/o de variación en el aporte de sedimentos terrígenos (Kaminski et al., 1988).

El modelo TROX (Jorissen et al., 1995, 2007) establece que la relación epifaunales-infaunales funciona como indicador de las condiciones de oxigenación y disponibilidad de alimento en el fondo oceánico. De esta forma, el dominio de taxones epifaunales se asocia a condiciones oligotróficas y bien oxigenadas, mientras que el dominio de taxones infaunales indica condiciones eutróficas y poca oxigenación (Figura 4).



**Figura 4.** Modelo TROX de Jorissen et al. (1995). Tomado de Arreguín-Rodríguez (2017).

Los cálculos de índices de diversidad, las abundancias relativas de las especies y grupos, así como sus gráficas fueron elaboradas en Jupyter Notebook con lenguaje Python, mientras que las pruebas estadísticas, el análisis clúster y los DCA se realizaron con el software Paleontological Statistics versión 4.03 (PAST; Hammer et al., 2001).

## 7. Resultados

Se identificaron 90 especies de 29 géneros, de las cuales sólo 25 especies presentaron una abundancia >3% en al menos una de las muestras. Los taxones más comunes (>3% en al menos una muestra) sugieren una profundidad batial (Tabla 1) durante el Groenlandiense. Dominan las especies calcáreas (rango 97.36-100% en todo el intervalo estudiado) e infaunales (rango 66.08-89.47%), principalmente *Uvigerina hootsi* (promedio 29.86%), *Uvigerina peregrina* (promedio 15%), *Uvigerina hispida* (promedio 9.08%) y *Oridorsalis umbonatus* (promedio 8.03%). El grupo bulíminidos *s.l.* presentó abundancias entre 40.82 y 78.36% (promedio 62.9%).

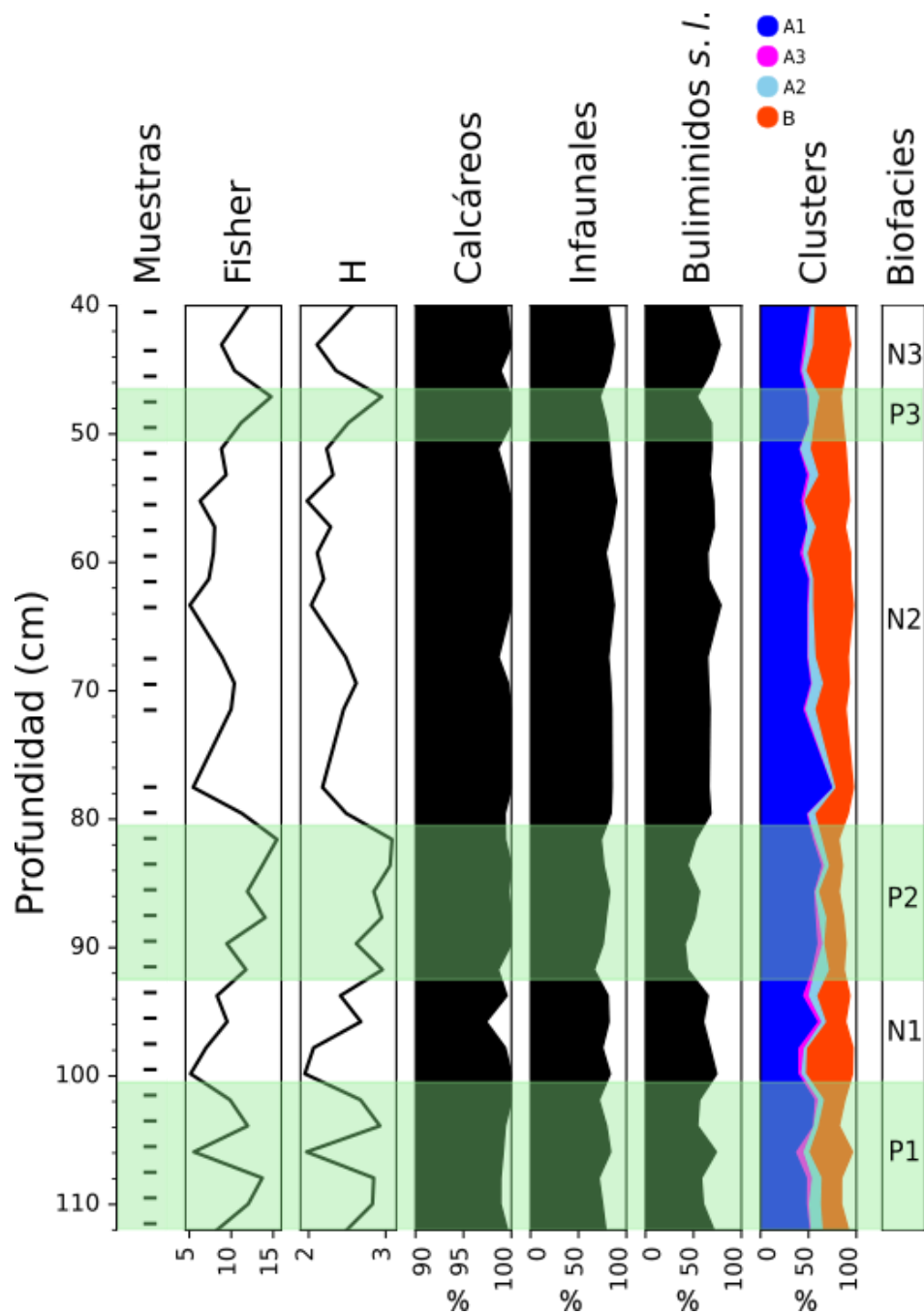
Los valores de Fisher- $\alpha$  oscilan entre 5.08 y 15.45, mientras que  $H'$  toma valores de 1.95 a 3.08. Ambos índices muestran un comportamiento similar entre sí durante todo el intervalo de estudio (Figura 5); es decir, en la parte basal (desde los 111 cm aproximadamente) se observa mayor variabilidad y tendencia positiva hacia la parte central (hasta los 80 cm aproximadamente), donde se observa un descenso marcado seguido de una lenta recuperación hacia la parte superior.

**Tabla 1.** Intervalo de profundidad de taxones más comunes. Para mayor detalle ver Anexo 3.

Intervalo	Profundidad (m)																
		<i>Alabamina creta</i>	<i>Bulimina</i> spp.	<i>Cibicides</i> spp.	<i>Cibicides wuellerstorffi</i>	<i>Elphidium</i> spp.	<i>Gyrogonoides</i> spp.	<i>Lagena</i> spp.	<i>Oridorsalis</i> spp.	<i>Oridorsalis umbonatus</i>	<i>Pleurostomella</i> spp.	<i>Praeglobobulimina ovata</i>	<i>Pullenia bulloides</i>	<i>Uvigerina hispida</i>	<i>Uvigerina hootsi</i>	<i>Uvigerina peregrina</i>	<i>Uvigerina subperegrina</i>
Nerítico	0-200																
Batial superior	200-600																
Batial medio	600-1000																
Batial inferior	1000-2000																
Abisal superior	2000-3000																
Abisal inferior	3000-4500																

Con base en las diferencias de heterogeneidades acumuladas (dH) se identificaron 6 biofacies las cuales han sido nombradas iniciando desde la zona inferior hacia la superior. Las biofacies con la inicial P corresponden a  $dH > 0$  (biofacies positivas) mientras que la inicial N se asignó a aquellas con  $dH < 0$  (biofacies negativas) (Tabla 2). Las principales características de estas biofacies son:

- **P1:** incluye 6 muestras (111.5-101.5 cm) y está ubicada en la parte basal del intervalo de estudio, presenta altos valores de diversidad a excepción de la muestra 105.5, el promedio de la abundancia de infaunales es de 76.25% y para los bulimínidos *s.l.* es 62.06%.



**Figura 5.** Índices de diversidad y abundancias relativas de grupos de foraminíferos bentónicos y clústers.

La zona sombreada en verde representa biofacies positivas ( $dH > 0$ ).

**Tabla 2.** Estimación de edad de las muestras e identificación de biofacies.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Edad (años)</b>	<b>dH</b>	<b>Biofacies</b>
40.5	-	0.0024	<b>N3</b>
43.5	-	-0.0140	
45.5	-	-0.0108	
47.5	8,273.1	0.0138	<b>P3</b>
49.5	8,396.7	0.0003	
51.5	8,520.4	-0.0074	<b>N2</b>
53.5	8,644.0	-0.0059	
55.5	8,767.6	-0.0163	
57.5	8,891.2	-0.0076	
59.5	9,014.9	-0.0104	
61.5	9,138.5	-0.0024	
63.5	9,262.1	-0.0214	
67.5	9,509.4	-0.0125	
69.5	9,633.0	-0.0108	
71.5	9,756.6	-0.0149	
77.5	10,095.8	-0.0103	
79.5	10,194.0	-0.0203	
81.5	10,292.2	0.0346	
83.5	10,390.4	0.0422	
85.5	10,488.7	0.0274	
87.5	10,586.9	0.0439	
89.5	10,685.1	0.0064	
91.5	10,783.3	0.0547	
93.5	10,881.6	-0.0194	<b>N1</b>
95.5	10,979.8	0.0206	
97.5	11,078.0	-0.0432	
99.5	11,176.2	-0.0491	
101.5	11,274.4	0.0080	<b>P1</b>
103.5	11,372.7	0.1489	
105.5	11,470.9	-0.0807	
107.5	11,569.1	0.1077	
109.5	11,667.3	0.2031	
111.5	11,765.6	0.0000	

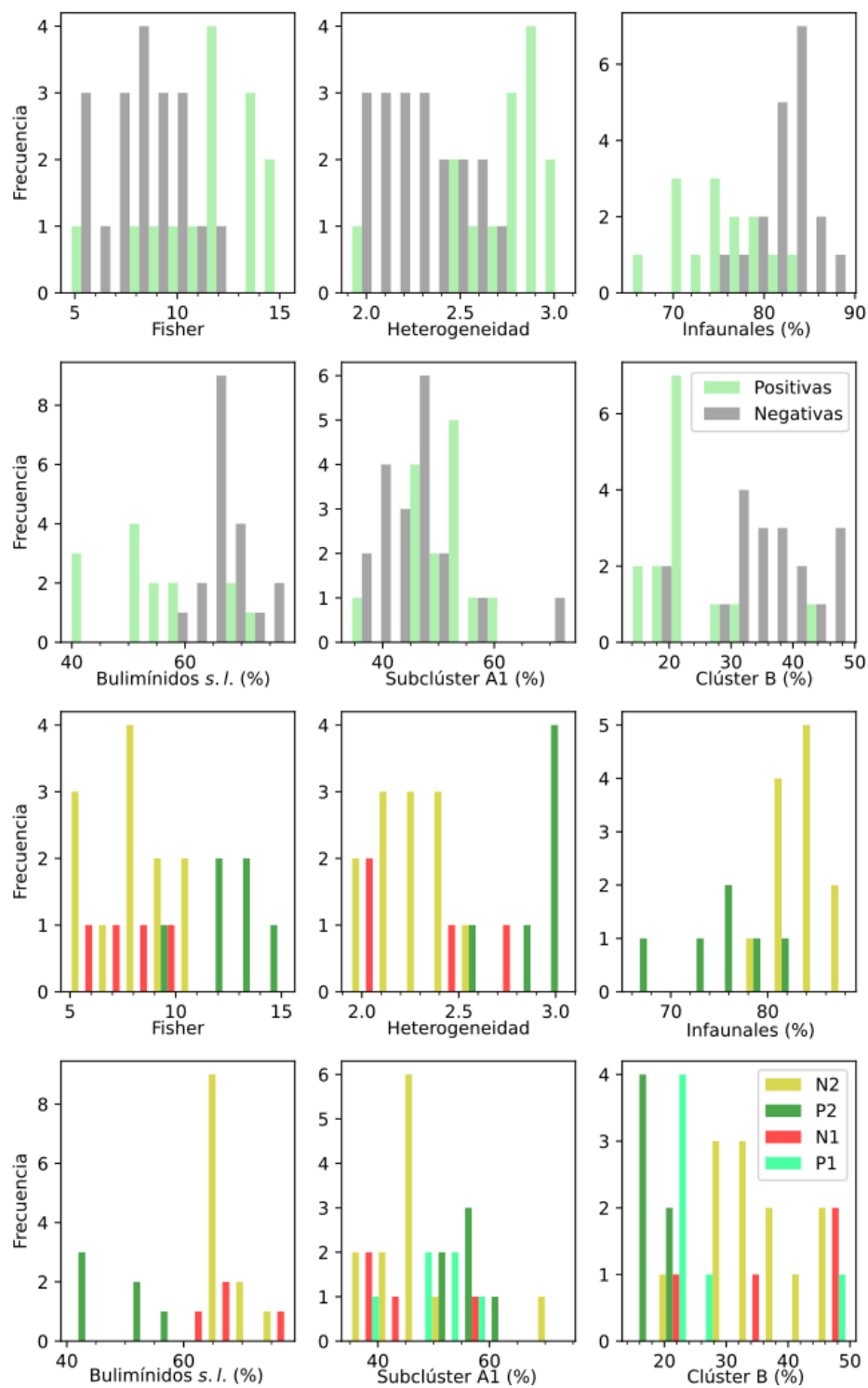
- **N1:** abarca 4 muestras (99.5 - 93.5 cm), inicia con diversidad menor que aumenta hacia el final de la biofacie, mientras que los promedios de infaunales y bulimínidos *s.l.* aumenta ligeramente con respecto a P1 (79.94% y 66.51%, respectivamente); sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la distribución de los índices de diversidad (Tabla 3).
- **P2:** comprende 6 muestras (91.5 - 81.5 cm) en las que se observan cambios significativos con respecto a la biofacie anterior (N1), que son mayor diversidad y menor promedio de bulimínidos *s.l.* (47.91%), mientras que los infaunales no presentan diferencias estadísticas con respecto a la biofacie anterior (75.30% en promedio).
- **N2:** es la más extensa con 12 muestras (79.5 - 51.5 cm), los valores de diversidad son significativamente menores, y durante este periodo aumentó el promedio de infaunales (83.83%). De igual manera, los buliminidos *s.l.* presentan un aumento (68.04% en promedio) y coeficiente de variación menor que la biofacie anterior (Tabla 4).
- **P3:** está formada por sólo 2 muestras (49.5 - 47.5 cm), debido a esto, no se han realizado pruebas estadísticas para comparar con la biofacie anterior. Se puede apreciar un aumento en la diversidad, y los promedios de infaunales (75.67%) y bulimínidos *s.l.* (60.92%) son menores que en la biofacie anterior.

- **N3:** incluye las 3 muestras superiores del intervalo estudiado (45.5 - 40.5 cm). A pesar de que se observa menor diversidad y mayores promedios de infaunales y bulimínidos *s.l.* (83.27% y 70.45% respectivamente), no es posible determinar si las diferencias son estadísticamente significativas.

**Tabla 3.** Valores *p* del test Epps-Singleton para la distribución de las biofacies. Los valores en negritas presentan diferencias significativas. Las comparaciones N2-P3 y P3-N3 no se han realizado debido a que P3 sólo comprende 2 muestras y es necesario un mínimo de 3.

Biofacies	Fisher	H	Calcáreos	Infaunales	Bulimínidos <i>s.l.</i>	A1	A2	A3	B
Positivas-Negativas	<b>7.0E-03</b>	<b>6.3E-07</b>	0.35	<b>7.2E-05</b>	<b>1.9E-04</b>	<b>5.5E-04</b>	0.91	0.75	<b>8.0E-05</b>
P1-N1	0.63	0.73	0.81	0.06	0.17	<b>2.6E-15</b>	0.61	0.73	<b>1.4E-05</b>
N1-P2	<b>1.4E-02</b>	<b>3.8E-02</b>	0.86	0.86	<b>8.0E-06</b>	<b>2.8E-02</b>	0.18	0.66	0.21
P2-N2	<b>5.1E-03</b>	<b>1.2E-09</b>	1.00	<b>2.1E-03</b>	<b>1.2E-42</b>	<b>1.5E-14</b>	0.39	0.44	<b>3.1E-08</b>

En general, las biofacies positivas ( $dH > 0$ ) están caracterizadas por una alta diversidad (Fisher- $\alpha$  y  $H'$ ), menor proporción de especies infaunales y menor abundancia y estabilidad de bulimínidos *s.l.* (Figura 6). Por otra parte, las biofacies negativas ( $dH < 0$ ) son menos diversas, tienen mayor proporción de especies infaunales, y los bulimínidos *s.l.* son más abundantes y estables. La distribución de la proporción de especies con testas calcáreas, así como la variabilidad de la misma, no presenta diferencias significativas en todo el intervalo de estudio (ver Tablas 3 y 4).



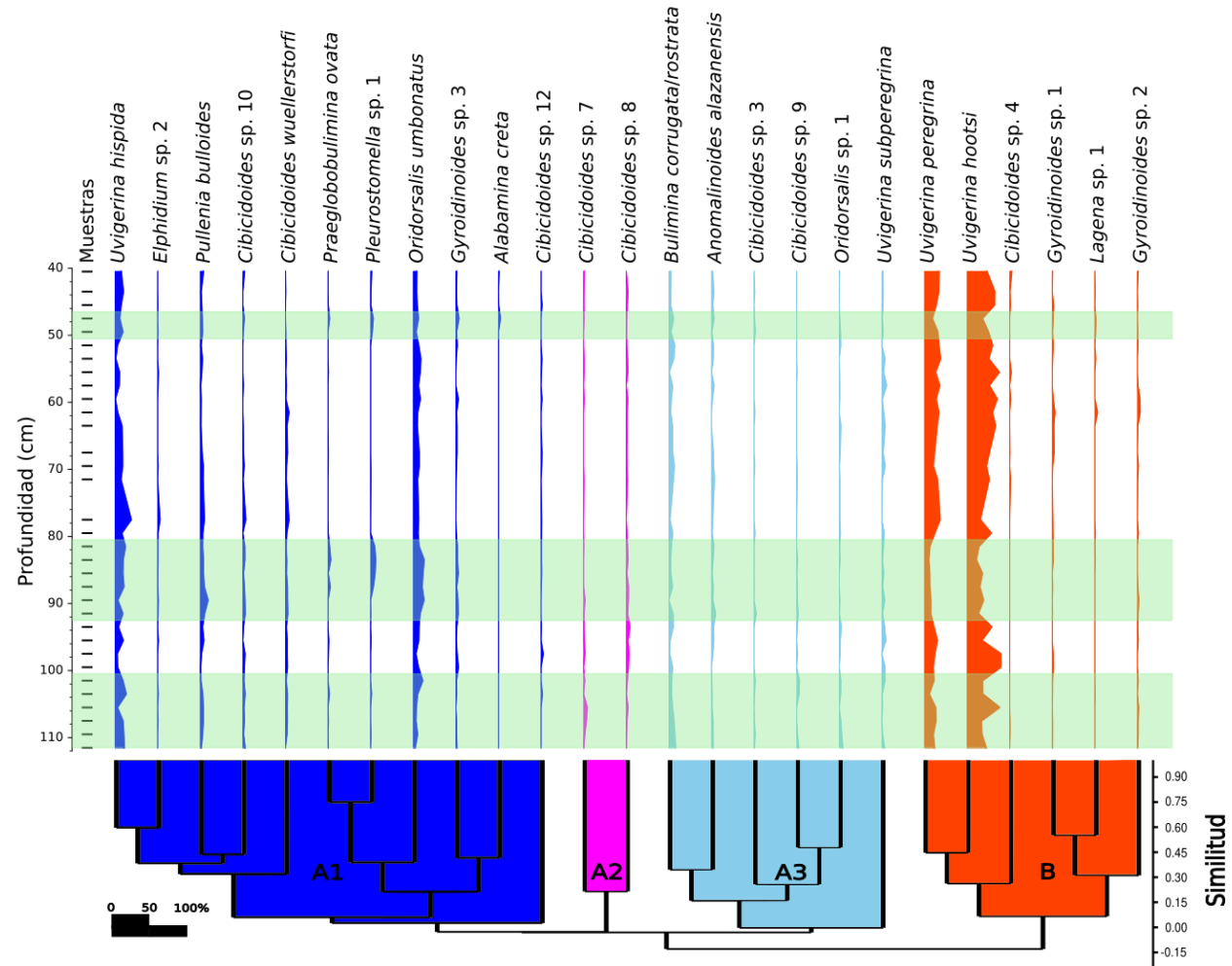
**Figura 6.** Histogramas de índices de diversidad y abundancia de infaunales, bulimínidos *s.l.*, subclúster A1 y clúster B de las comparaciones con diferencia significativa de acuerdo a la Tabla 3.

**Tabla 4.** Coeficientes de variación del test Fligner-Killeen para las biofacies. Los valores en negritas presentan diferencias significativas (positivas con negativas; N2 con P2). Las comparaciones P3-N2 y N3-P3 no se han realizado debido a que P3 sólo comprende 2 muestras y es necesario un mínimo de 3. \*No se realizó la prueba debido a la presencia de valores no admitidos por el test (ceros).

Biofacies	Fisher	H	Calcáreos	Infaunales	Bulimínidos s.l.	A1	A2	A3	B
Positivas	23.16	10.67	0.51	6.22	<b>17.83</b>	12.51	*	47.87	32.43
Negativas	23.87	9.66	0.71	3.97	<b>6.78</b>	17.99	*	46.79	23.33
N2	23.57	23.57	0.54	3.36	<b>5.83</b>	18.79	*	49.25	22.12
P2	16.61	16.61	0.56	7.19	<b>12.46</b>	6.36	47.32	65.28	17.05
N1	24.89	24.89	1.18	4.41	8.65	21.49	31.39	43.77	34.79
P1	29.01	29.01	0.45	6.28	13.18	14.67	86.05	38.15	35.02

El agrupamiento jerárquico en modo-R dió como resultado dos clústers principales de especies de foraminíferos bentónicos (Figura 7). El clúster A se divide en tres subclústers (A1, A2, A3), y al igual que el clúster B, incluye taxones epifaunales e infaunales. Las principales características de estos grupos son:

- **Subclúster A1:** está dominado por las especies infaunales *Uvigerina hispida* y *Oridorsalis umbonatus*. Durante las biofacies positivas, este subclúster muestra una abundancia promedio mayor (51.55%) que en las biofacies negativas (46.42%). Aunque los cambios en A1 son difíciles de identificar de forma gráfica, el test Epps-Singleton muestra diferencias significativas entre biofacies (Tabla 3), es decir, el subclúster A1 es más abundante en las biofacies positivas que en las negativas (Figura 6).

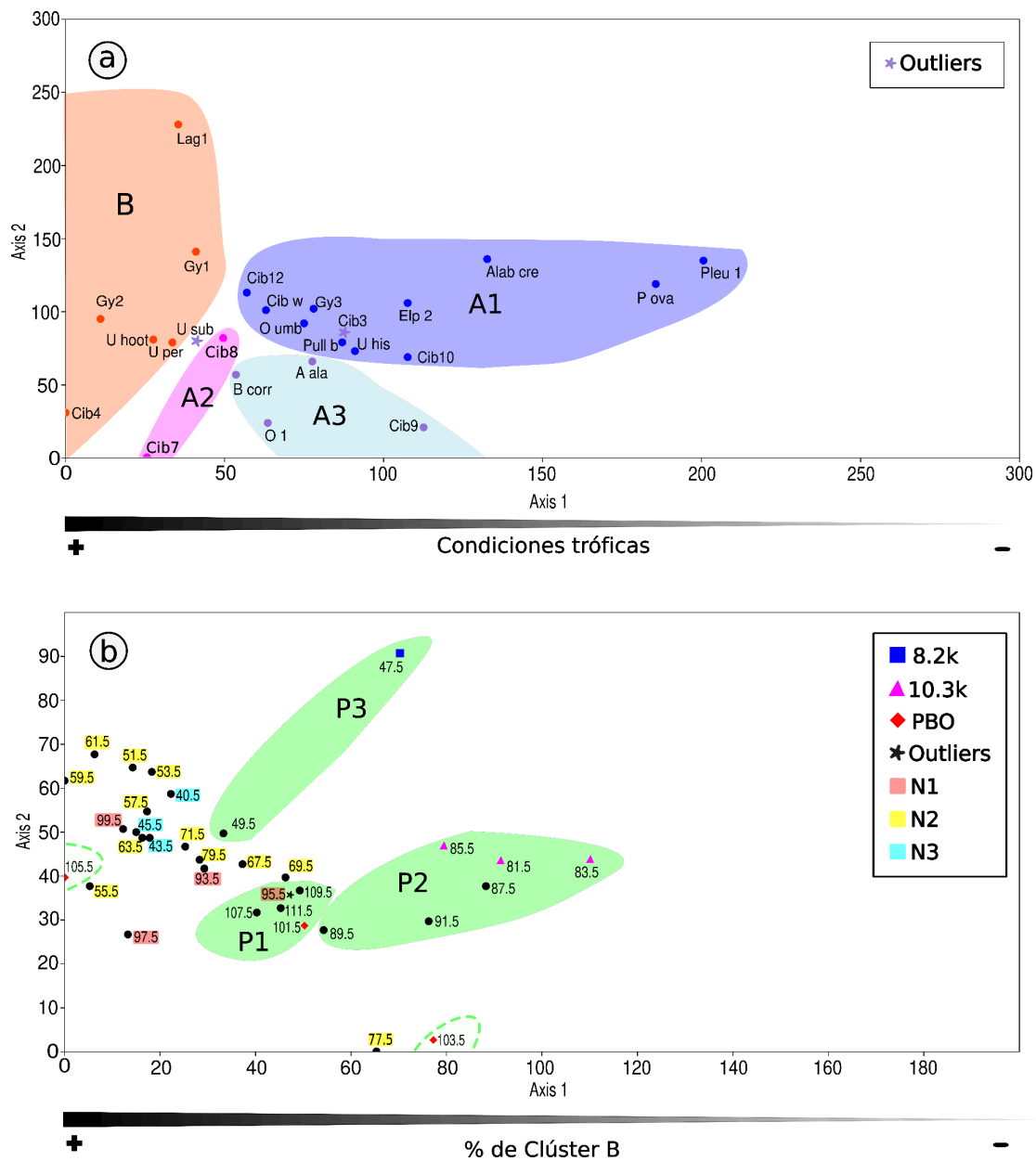


**Figura 7.** Dendrograma jerárquico en modo R y abundancia relativa de las especies comunes (>3%) a lo largo del Holoceno Temprano en el núcleo D746-PC65L del sitio AR3 West en la Cordillera de Alarcón. El sombreado verde indica las biofacies positivas (dH > 0).

- **Subclúster A2:** está conformado por *Cibicidoides* sp. 7 y *Cibicidoides* sp. 8, ambas epifaunales. Es un subclúster con poca abundancia y con una distribución similar durante todo el intervalo de estudio, siendo ligeramente más abundante entre los 108-88 cm aproximadamente (Figura 5). El promedio del subcluster A2 en las biofacies positivas es de 2.79% y 2.15% en biofacies negativas.
- **Subclúster A3:** a pesar de que la mayoría de las especies son epifaunales, dominan los infaunales *Uvigerina subperegrina* y *Bulimina corrugata/rostrata*. En biofacies positivas el promedio de abundancia del subcluster A3 es 7.96%, mientras que en biofacies negativas es 6.65%. La abundancia de este subclúster parece ser mayor en las biofacies positivas que en las negativas; sin embargo, no hay diferencias estadísticamente significativas en la distribución de A3 a lo largo del núcleo (Tabla 3).
- **Clúster B:** está dominado por los infaunales *Uvigerina peregrina* y *Uvigerina hootsi*, dos de las especies más abundantes en el núcleo. El promedio de la abundancia es menor en las biofacies positivas (23.62%) que en las biofacies negativas (36.56%) (Figura 5). Además, se encontraron diferencias significativas para la distribución entre las biofacies P1-N1 y P2-N2.

En general, el clúster A presenta mayores abundancias en las biofacies positivas, mientras que el clúster B aumenta en biofacies negativas. El test Fligner-Killeen no muestra diferencias significativas en los coeficientes de variación de cada clúster al comparar biofacies (Tabla 4), es decir se pueden considerar estables.

En el DCA en modo R, las especies del clúster B se encuentran distribuidas en los valores más bajos con respecto al eje horizontal (Figura 8a), y están agrupadas en la zona media-inferior del eje vertical, a excepción de *Lagena* sp. 1. El clúster A se distribuye mayormente en la zona media-inferior en ambos ejes. El subclúster A1 se mantiene en la parte central del eje vertical y mayormente en la zona media-inferior del eje horizontal; sin embargo, algunas especies de este subclúster (*P. ovata* y *Pleurostomella* sp. 1) se posicionan en valores superiores con respecto al eje horizontal. Las especies de los subclústers A2 y A3 se encuentran ubicadas en la zona inferior del eje vertical, mientras que, en relación al eje horizontal, se observa que las especies de A3 se distribuyen más hacia la derecha que las del subclúster A2. Las especies *U. subperegrina* y *Cibicidoides* sp. 3 se consideran outliers, pues su posición en el DCA no corresponde con el resto de las especies de su clúster (A3).



**Figura 8.** Resultado del DCA en modo R (a) y modo Q (b) a partir de la abundancia relativa de las especies comunes (>3%) en el núcleo D746-PC65L del sitio AR3 West en la Cordillera de Alarcón. Las muestras encerradas en línea punteada verde (103.5 y 105.5) corresponden a la biofacie P1.

Las biofacies positivas se distribuyen cerca de la zona central en ambos ejes del DCA en modo Q (Figura 8b). Las biofacies P1 y P2 se localizan ligeramente por debajo del valor medio del eje vertical; mientras que en relación al eje horizontal, P1 presenta valores menores que P2. La biofacie P3 obtiene valores más elevados para el eje vertical, especialmente la muestra 47.5. Las muestras correspondientes a las biofacies negativas se encuentran localizadas en valores bajos con respecto al eje horizontal y hacia la parte central en relación al eje vertical. Cabe destacar que no se ha identificado una tendencia de agrupación evidente de cada biofacie negativa (N1, N2, N3).

## **8. Discusión**

### **8.1 Interpretación paleoecológica**

La mayor abundancia de taxones infaunales y calcáreos a lo largo de todo el intervalo estudiado sugiere una dominancia de condiciones principalmente eutróficas con alta saturación de carbonato de calcio (Kaminsky et al., 1988; Jorissen et al., 1995, 2007). Sin embargo, es posible observar algunos cambios puntuales que son reflejados por la variabilidad en la abundancia de algunas especies, principalmente aquellas correspondientes al subclúster A1 y el clúster B.

Las preferencias ecológicas de las especies con abundancia >3% en al menos una muestra son variadas en cuanto a condiciones tróficas y oxigenación (ver Anexo 3). El subclúster A1 contiene especies relacionadas a ambientes óxicos, subóxicos y disóxicos, así como a diferentes condiciones tróficas y tipos de alimento. Por ejemplo,

las dos especies con mayor abundancia en A1 (*U. hispida* y *O. umbonatus*) presentan modo de vida infaunal, suelen estar asociadas a ambientes meso-eutróficos y se relacionan con flujos de materia orgánica degradada o alterada (Mackensen et al., 1995; Fontanier et al., 2016). Sin embargo, *O. umbonatus* también ha sido identificada en medios oligotróficos (Arreguín-Rodríguez y Alegret, 2016); es decir, que es una especie capaz de tolerar una amplia gama de condiciones, incluyendo una baja disponibilidad de alimento (Mackensen et al., 1985). Asimismo, *Pullenia bulloides*, una especie con una abundancia común dentro de A1, es considerada indicadora de baja productividad (Burke et al., 1993); mientras que, *Cibicidoides wuellerstorfi* (con abundancia menos común en A1) se correlaciona con ambientes caracterizados tanto por un alto aporte de alimento (Mackensen et al., 1985), como por bajos flujos de carbono orgánico (ver Jorissen et al., 2007). Por lo tanto, considerando las preferencias ecológicas de las especies con mayor abundancia dentro del subclúster A1 se sugiere que este grupo refleja condiciones principalmente mesotróficas.

Los dos taxones que conforman el subclúster A2 pertenecen al género *Cibicidoides* que, al presentar un modo de vida epifaunal, suele estar asociado a medios oligotróficos. Es decir, condiciones óxicas con poca disponibilidad de alimento (Schonfeld, 2001). No obstante, aunque son taxones comunes, la abundancia total de A2 es relativamente baja en comparación con otros grupos (A1, A3 y B), y estable a lo

largo del intervalo estudiado, por lo que en este caso el subclúster A2 no se considera un grupo con valor paleoecológico significativo.

Dos de las especies dominantes en el subclúster A3 (*B. corrugata/rostrata* y *U. subperegrina*) pertenecen al grupo de los bulimínidos *s.l.*, los cuales al ser organismos infaunales suelen estar correlacionados con abundantes aportes de alimento y baja oxigenación (Widmark y Speijer, 1997; Fontanier et al., 2002; Jorissen et al., 2007). Particularmente, *U. subperegrina* ha sido asociada al margen superior de la Zona de Mínimo Oxígeno (Wilson et al., 2011). Las condiciones de relativa baja oxigenación son también inferidas por la presencia de *Oridorsalis* sp. 1 en el subclúster A3, dado que Kaiho (1994) señala que *Oridorsalis* spp. es un indicador subóxico. Por otra parte, de acuerdo con Seidenkrantz et al. (2000), la especie epifaunal *Anomalinoidea alazanensis* ha sido identificada en zonas caracterizadas por un descenso en la productividad, sugiriendo condiciones opuestas a las preferencias ecológicas de los bulimínidos. Dado que la abundancia de *B. corrugata/rostrata* y *U. subperegrina* es mayor que la de *A. alazanensis*, se sugiere que el subclúster A3 refleja condiciones eu-mesotróficas.

Las especies más abundantes del clúster B, *U. hootsi* y *U. peregrina*, son los componentes principales del grupo bulimínidos *s.l.* Como se mencionó anteriormente, este grupo está asociado a ambientes caracterizados por abundantes aportes de alimento y baja oxigenación (Widmark y Speijer, 1997; Fontanier et al., 2002; Jorissen et al., 2007). Específicamente, ambas especies se adaptan a condiciones que varían de

óxicas a disóxicas, e incluso *U. hootsi* es considerada especie indicadora de zonas de mínimo oxígeno (Finger, 1990); mientras que varios autores señalan que *U. peregrina* está relacionada a condiciones eutróficas (Miller y Lohman, 1982; Schmiedl et al., 1997; Gooday y Ratburn, 1999). Además, de acuerdo con Burke et al. (1993), un alto porcentaje de especies del género *Uvigerina* indica un aumento en la productividad. Por lo tanto, se considera que el clúster B refleja condiciones eutróficas.

Considerando las preferencias ecológicas antes expuestas y la variación de la abundancia relativa de los clústers a lo largo del intervalo estudiado (Figuras 5 y 7) se sugiere que las biofacies negativas (N1, N2 y N3) reflejan un aumento en la disponibilidad de alimento en comparación con las biofacies positivas (P1, P2 y P3). En los intervalos correspondientes a las biofacies negativas dominan marcadamente *U. hootsi* y *U. peregrina* (clúster B); es decir, dichas especies estuvieron beneficiadas por el aumento en la disponibilidad de alimento. Algunos autores sugieren que *U. peregrina* es una especie oportunista que responde rápidamente (es decir, incrementa su abundancia) al incremento de fitodetritus relacionados con blooms de fitoplancton (Fontanier et al., 2003; Deprez et al., 2015). Además, otros autores señalan que esta especie es capaz de adaptarse a distintos tipos de alimento (Schmiedl et al., 1997; Jorissen et al., 2007), lo que le podría proporcionar una ventaja ecológica sobre otras especies. Dado que la tendencia de *U. hootsi* es muy similar a la de *U. peregrina* a lo largo de todo el intervalo estudiado, se sugiere que también presenta un

comportamiento oportunista y, probablemente la misma ventaja ecológica. Asimismo, cabe señalar que especies del género *Gyroidinoides*, considerado también oportunista (Schmiedl et al., 2003), son comunes dentro del clúster B, mostrando un aumento ligero en su abundancia relativa durante las biofacies negativas. Comunidades marcadas por el dominio de especies oportunistas, suelen presentar valores de diversidad bajos (Deprez et al., 2015; Stassen et al., 2015; Arreguín-Rodríguez et al., 2018), tal como se observa en las muestras estudiadas. Es decir, en las biofacies negativas, dominadas por las especies oportunistas (*U. peregrina* y *U. hootsi*), se registran valores bajos en los índices de diversidad (Figura 5), mostrando diferencias estadísticamente significativas al compararlos con las biofacies positivas (Tabla 3, Figura 6). De tal manera que en las biofacies positivas la diversidad aumenta, disminuye el dominio de las especies oportunistas del clúster B y prevalecen condiciones mesotróficas.

La distribución de las especies a lo largo del gráfico del DCA en modo R está dada por las preferencias ecológicas de los clústers más representativos (Figura 8a). Considerando que el clúster B se asocia a medios eutróficos y que el subclúster A1 representa ambientes mesotróficos, se sugiere que el eje horizontal del DCA refleja variaciones en disponibilidad de alimento. Hacia valores más elevados a lo largo del eje horizontal se encuentran las especies que se adaptan a condiciones mesotróficas (niveles intermedios de alimento y oxígeno), mientras que en los valores bajos de dicho eje se ubican las especies que prefieren condiciones eutróficas (mayores niveles de

alimento y menores de oxígeno). Las especies del subclúster A3 han sido asociadas con ambientes eu-mesotróficos, por ello su posición entre A1 y B en el DCA (Figura 8a) coincide con la interpretación del eje horizontal. No obstante, la ubicación del subclúster A2 parece no encajar con las preferencias oligotróficas sugeridas para el género *Cibicoides* con base en su modo de vida epifaunal. Sin embargo, existen excepciones y algunas especies de *Cibicoides* pueden estar correlacionadas a mayores aportes de alimento e incluso en algunas regiones se han reconocido asociaciones de especies de *Uvigerina* y *Cibicoides* (Loubere, 1991).

En el DCA modo Q se observa claramente que las muestras de las biofacies negativas se encuentran en los valores más bajos del eje horizontal; es decir, hacia donde aumenta la abundancia de las especies del clúster B. Además, dentro de cada una de las biofacies positivas, las muestras con un menor porcentaje de especies del clúster B son las que se posicionan más hacia la derecha en cada caso; es decir, hacia los valores más elevados del eje horizontal. Dichas muestras corresponden a los eventos climáticos ocurridos en el intervalo de tiempo estudiado PBO, 10.3k y 8.2k (ver sección 8.2). En ninguno de los dos gráficos de DCA se identificó algún patrón o tendencia en el eje vertical que pudiera ser correlacionado con alguna variable en específico.

## **8.2 Eventos climáticos relacionados**

Los estudios paleoecológicos de la Cordillera de Alarcón durante el Holoceno Temprano son muy escasos; sin embargo, estudios en cuencas cercanas muestran que

el Golfo de California fue un ambiente con alta productividad (Barron et al., 2004; Douglas et al., 2007) marcado por la presencia de sedimentos laminados (Behl y Kennet, 1996; Barron et al., 2004). De acuerdo con Keigwin (2002) este tipo de sedimentos se desarrollan en ambientes donde el contenido de oxígeno es constantemente bajo de forma que la bioturbación es muy poca, es decir, los sedimentos laminados se relacionan a niveles bajos de oxígeno. No obstante, cabe señalar que en el núcleo empleado en el presente estudio (D746-PC65L) no se observaron evidencias de laminación.

En el centro del Golfo de California, Barron et al. (2004, 2005) encontraron una secuencia de sedimentos laminados con edad 11,650-11,550 años AP, así como un aumento en la abundancia de *Octatis pulchra*, un silicoflagelado relacionado a alta productividad. Es decir, de acuerdo con dichos autores, las condiciones en el inicio del Holoceno Temprano en el centro del Golfo de California fueron eutróficas y poco oxigenadas. A su vez, Staines-Urías et al. (2015) reportaron alta productividad primaria al sur del Golfo de California (Cuenca Alfonso) a inicios del Holoceno (aprox. 11,000 años AP). En la Cordillera de Alarcón, se observan fluctuaciones en las condiciones tróficas del fondo oceánico, variando entre condiciones mesotróficas (subclúster A1, biofacies positivas) a eutróficas (clúster B, biofacies negativas). Estos cambios podrían correlacionarse con una variabilidad en la productividad primaria en superficie de acuerdo con el concepto de acoplamiento bento-pelágico; es decir, el proceso por el

cual la materia orgánica producida en aguas superficiales llega al fondo (e.g., Gooday, 2003). De tal forma que las asociaciones de foraminíferos bentónicos presentes sugieren la presencia de suficiente alimento disponible en la Cordillera de Alarcón durante el Holoceno Temprano.

Algunas de las anomalías climáticas registradas a nivel global durante el Holoceno Temprano (PBO, evento 10.3k y evento 8.2k) coinciden con las edades estimadas de algunas muestras del intervalo estudiado, específicamente con muestras que corresponden a biofacies positivas (condiciones mesotróficas). La Oscilación Preboreal (muestras 105.5 - 101.5 cm; 11,500 - 11,270 años AP; Rasmussen et al., 2007), se caracterizó a nivel global por cambios en la circulación termohalina, aumento en las precipitaciones, disminución de la temperatura y menor productividad superficial (Fisher et al., 2002; Magny y Bégeot, 2004; Devendra et al., 2023), pero sus efectos no han sido documentados de forma clara en el Golfo de California.

El evento 10.3k (muestras 85.5 - 81.5 cm; 10,510 - 10,250 años AP; Li et al., 2022), se caracterizó por una disminución en la temperatura superficial del mar a nivel global, así como con disminución de sílice biogénico, materia orgánica y  $^{13}\text{C}$  en sedimentos lacustres, lo cual se asocia a una baja productividad (Björck et al., 2001). En el Golfo de California, Keigwin y Jones (1990) han encontrado valores máximos en  $\delta^{18}\text{O}$  alrededor de 10,500 años AP, así como una mayor preservación de carbonato y secuencias de sedimentos no laminados; en conjunto, estos elementos son evidencia

de una oscilación climática caracterizada por condiciones frías, cuya edad coincide con el inicio de 10.3k. Dado que los sedimentos laminados se relacionan con bajos niveles de oxígeno, la secuencia de sedimentos no laminados (entre los años 10,800 - 10,300 años AP) es indicador de una mejor oxigenación (Keigwin y Jones, 1990), que puede estar relacionada a una disminución de las surgencias y, por lo tanto, a menor productividad (Keltz y Niemits, 1982). En la Cordillera de Alarcón se observan los valores más bajos en la abundancia relativa de las especies del clúster B durante el intervalo que coincide con el evento 10.3k (Figura 5). Las especies más abundantes del clúster B (*U. peregrina* y *U. hootsi*) se asocian con condiciones marcadamente eutróficas; por lo tanto, su disminución durante el evento 10.3k refleja un descenso en la disponibilidad de alimento, lo cual coincide con la baja productividad reportada a nivel global en dicho evento.

El inicio del evento 8.2k (8,300 - 8,140 años AP; Rasmussen et al., 2007) coincide temporalmente con la muestra superior de la biofacie P3 (muestra 47.5 cm, 8,273 años AP); sin embargo, debido a que no se cuenta con edades estimadas para la biofacie contigua (N3), no hay forma de determinar la extensión total de dicho evento. Barron et al. (2004) reportaron un corto pero abrupto incremento de productividad hace aproximadamente 8,200 años AP en la cuenca Guaymas, así como también un aumento en la abundancia de *Roperia tessellata*, una diatomea que en esta zona se asocia con aguas mezcladas por la intensificación de los vientos del noroeste (Sancetta,

1995). Lo anterior se relaciona con un cambio en la circulación atmosférica, que es uno de los efectos del evento 8.2k (Dean et al., 2002; Barron et al., 2004). En la Cordillera de Alarcón no se observan evidencias de un aumento en la productividad durante el inicio del evento 8.2k. Sin embargo, el aumento en la abundancia del clúster B durante la biofacie N3 podría corresponder con las condiciones eutróficas mencionadas por Barron et al. (2004). No obstante, esto debe tomarse con cautela, dado que no se cuenta con edades estimadas para las tres muestras superiores del núcleo, y por ende no se tiene certeza que pertenezcan al evento 8.2k.

Es posible que la variación entre condiciones mesotróficas y eutróficas que se observa a lo largo del intervalo estudiado esté vinculada con la ocurrencia de los eventos climáticos antes mencionados. Sin embargo, se requieren más estudios para poder analizar detalladamente los efectos de dichos eventos en los fondos oceánicos. Por lo cual, analizar la señal isotópica contenida en las testas de los foraminíferos bentónicos sería una herramienta clave para estudiar la correlación de los cambios descritos con la variabilidad ecológica que se observa en las asociaciones, así como contar con edades para todas las muestras estudiadas. No obstante, al momento que se realiza esta investigación, no ha sido posible realizar estos estudios.

## 9. Conclusiones

La variabilidad climática del Holoceno Temprano ha sido estudiada en diferentes partes del mundo, incluyendo el Golfo de California. Sin embargo, aún son necesarios más estudios para evaluar los efectos de dicha variabilidad climática en las comunidades bentónicas de la Cordillera de Alarcón. En el presente trabajo, se ha evaluado la estructura y composición de las comunidades de foraminíferos bentónicos en la Cordillera de Alarcón durante el Holoceno Temprano, y se ha encontrado que:

- A lo largo del intervalo de estudio, dominan los taxones calcáreos e infaunales, lo cual sugiere condiciones principalmente eutróficas y con alta saturación de carbonato de calcio.
- Se identificaron dos asociaciones principales de foraminíferos: el subclúster A1, que sugiere un ambiente mesotrófico; el clúster B, caracterizado por condiciones eutróficas y dominio de especies oportunistas.
- En el intervalo de estudio, se identificaron 6 biofacies: 3 de ellas positivas, asociadas a condiciones mesotróficas, caracterizadas por un aumento en la abundancia del grupo A1, una disminución del clúster B y una mayor diversidad específica. En contraste, las 3 biofacies negativas se caracterizan por la dominancia del clúster B, lo que sugiere una mayor

disponibilidad de alimento, junto con una disminución de A1 y una menor diversidad.

- La edad estimada de algunas muestras coincide con eventos climáticos de escala global, tales como PBO, 10.3k y 8.2k. Para poder determinar con mayor certeza los efectos de dichos eventos en las comunidades bentónicas se requieren estudios a mayor resolución, incluyendo muestras de los intervalos previos y posteriores a cada evento, acompañados de análisis geoquímicos y geocronológicos.

## 10. Referencias

- Alley, R. B. y Ágústssdóttir, A. M. (2005). The 8k event: cause and consequences of a major Holocene abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews*. 24 (2005): 1123-1149. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.12.004>.
- Andresen, C. S., Björck, S., Jessen, C. y Rundgren, M. (2007). Early Holocene terrestrial climatic variability along a North Atlantic Island transect: palaeoceanographic implications. *Quaternary Science Reviews*. 26 (2007): 1989-1998. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.12.017>.
- Armstrong, H. A. y Brasier, M. D. (2005). *Microfossils* (2a ed., 296 pp.). Blackwell Publishing. Oxford, UK.
- Arreguín-Rodríguez, G. J. (2017). Analysis of paleoenvironmental changes during Paleogene hyperthermal events based on benthic foraminifera. Tesis de Doctorado, Universidad de Zaragoza, España.
- Arreguín-Rodríguez, G. J. y Alegret, L. (2016). Deep-sea benthic foraminiferal turnover across early Eocene hyperthermal events at Northeast Atlantic DSDP Site 550. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 451 (2016): 62-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.03.010>.
- Arreguín-Rodríguez, G. J., Alegret, L. y Thomas, E. (2016). Late Paleocene-middle Eocene benthic foraminifera on a Pacific seamount (Allison Guyot, ODP Site 865): Greenhouse climate and superimposed hyperthermal events. *Paleoceanography*. 31: 346-364. <https://doi.org/10.1002/2015PA002837>.

- Arreguín-Rodríguez, G. J., Thomas, E., D'haenens, S., Speijer, R. P. y Alegret, L. (2018). Early Eocene deep-sea benthic foraminiferal faunas: Recovery from the Paleocene Eocene Thermal Maximum extinction in a greenhouse world. *PlosOne*. 13 (2): e0193167. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193167>.
- Arreguín-Rodríguez, G. J., Thomas, E. y Alegret, L. (2022). Some like it cool: Benthic foraminiferal response to Paleogene warming events. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 593 (9/10): 110925. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.110925>.
- Arreguín-Rodríguez, G. J., Alvarado-Graef, P., Mejía-Piña, K. G. y Monreal-Lara, E. (2023, 25 al 29 de septiembre). Diversidad de foraminíferos bentónicos: método para identificar perturbaciones. XXII Congreso Nacional de Oceanografía, IV Reunión de Ciencias Marinas. Boca del Río, Veracruz, México. (Resumen de Congreso).
- Barragán-Montilla, S. (2022). Filling the deep-ocean data gap with benthic foraminifera. *Nature Reviews Earth and Environment*. 3: 553. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00332-6>.
- Barron, J. A., Bukry, D. y Bischoff, J. L. (2004). High resolution paleoceanography of the Guaymas Basin, Gulf of California, during the past 15 000 years. *Marine Micropaleontology*. 50 (2004): 185-207. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(03\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(03)00071-9).
- Barron, J. A., Bukry, D. y Dean, W. E. (2005). Paleoceanographic history of the Guaymas Basin, Gulf of California, during the past 15,000 years based on diatoms,

- silicoflagellates, and biogenic sediments. *Marine Micropaleontology*. 56 (2005): 81-102. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2005.04.001>.
- Behl, R. J. y Kennet, J. P. (1996) Brief interstadial events in the Santa Barbara basin, NE Pacific, during the past 60 kyr. *Nature*. 379 (1996): 243-246. <https://doi.org/10.1038/379243a0>.
- Björck, S., Kromer, B., Johnsen, S., Bennike, O., Hammarlund, D., Lemdahl, G., Possnert, G., Rasmussen, T. L., Wohlfarth, B., Hammer, C. U. y Spurk, M. (1996). Synchronized Terrestrial-Atmospheric Deglacial Records Around the North Atlantic. *Science*. 274 (5290): 1155-1160. [DOI: 10.1126/science.274.5290.1155](https://doi.org/10.1126/science.274.5290.1155).
- Björck, S., Muscheler, R., Kromer, B., Andressen, C. S., Heinemeier, J., Johnsen, S., Conley, D., Koc, N., Spurk, M. y Veski, S. (2001). High-resolution analyses of an early Holocene climate event may imply decreased solar forcing as an important climate trigger. *Geology*. 2001 (29): 1107-1110. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<1107:HRAOAE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<1107:HRAOAE>2.0.CO;2).
- Boch, R., Spötl, C. y Kramers, J. (2009). High-resolution isotope records of early Holocene rapid climate change from two Coeval stalagmites of Katerloch Cave, Austria. *Quaternary Science Reviews*. 28 (23-24): 2527-2538. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.05.015>.
- Bradley, R. S. (1999). *Paleoclimatology: Reconstructing climates of the quaternary*. (2a Ed., 614 pp.). Academic Press, Elsevier. San Diego, CA, E.U.A.

- Burke, S. C. (1981). Recent benthic foraminifera of the Ontong Java Plateau. *Journal of Foraminiferal Research*. 11 (1): 1-19. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.11.1.1>.
- Burke, S. K., Berger, W. H., Coulbourn, W. T. y Vincent, E. (1993). Benthic foraminifera in box core ERDC 112, Ontong Java Plateau. *Journal of Foraminiferal Research*. 23 (1): 19-39. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.23.1.19>.
- Buzas, M. A. y Hayek, L. C. (2011). Community Structure: Global evaluation and the role of within community Beta-Diversity. *Journal of Foraminiferal Research*. 41 (2): 138-154. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.41.2.138>.
- Carlson A. E., LeGrande A. N., Oppo D. W., Came, R. E., Schimdt, G. A., Anslow, F. S., Licciardi, J. M. y Obbink, E. A. (2008). Rapid early Holocene deglaciation of the Laurentide ice sheet. *Nature Geoscience*. 1 (9): 620–624. <https://doi.org/10.1038/ngeo285>.
- Castillo, P. R., Hawkins, J. W., Lonsdale, P., Hilton, D. R., Shaw, A. M. y Glascock, M. D. (2002). Petrology of Alarcon Rise Lavas, Gulf of California: Nascent Intracontinental Ocean Crust. *Journal of Geophysical Research*. 107 (B10): ECV 5-1-ECV 5-15. <https://doi.org/10.1029/2001jb000666>.
- Chapra, S. C. y Canale, R. P. (2007). *Métodos Numéricos Para Ingenieros*. (5ta. Ed., pp.). McGraw-Hill Interamericana. México, D.F.
- Clague, D. A., Caress, D. W., Dreyer, B. M., Lundsten, L., Paduan, J. B., Portner, R. A., Spelz, R. M., Bowles, J. A., Castillo, P. R., Guardado-France, R., Saout, M. L., Martin, J. F., Río, M. A. S. R. y Zierenberg, R. A. (2018). Geology of the Alarcon

- Rise, Southern Gulf of California. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 19 (3): 807-837. <https://doi.org/10.1002/2017gc007348>.
- Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L. y Fan, J. X. (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36, 199-204.
- Corliss, B. H. (1985). Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. *Nature*. 314: 435-438. <https://doi.org/10.1038/314435a0>.
- Corliss, B. H. (1991). Morphology and microhabitat preferences of benthic foraminifera from the northwest Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*. 17: 195-236. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(91\)90014-W](https://doi.org/10.1016/0377-8398(91)90014-W).
- Cronin, T. M. (1999). *Principles of Paleoclimatology* (560 pp.). Columbia University Press. New York, E.U.A.
- Dean, W. E., Forester, R. M. y Bradbury, J. P. (2002). Early Holocene change in atmospheric circulation in the Northern Great Plains: An upstream view of the 8.2 ka cold event. *Quaternary Science Review*. 21 (2002): 1763-1775. <https://doi.org/10.1029/2004PA001030>.
- DeMets, C., Gordon, R. G. y Argus, D. F. (2010). Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International*. 181: 1–80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>.
- Deprez, A., Teseur, S., Stassen, P., D'haenens, S., Steurbaut, E., King, C., Claeys, P. y Speijer, R.P. (2015). Early Eocene environmental development in the northern Peri-Tethys (Aktulagay, Kazakhstan) based on benthic foraminiferal assemblages

and stable isotopes (O, C). *Marine Micropaleontology*. 115: 59-71.

<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2014.11.003>.

Devendra, D., Lacka, M., Szymanska, N., Szymczak-Zyla, M., Krajewska, M., Weiner, A. K.

M., De Schepper, S. y Simon, M. H. (2023). The development of ocean currents and the response of the cryosphere on the Southwest Svalbard shelf over the Holocene. *Global and Planetary Change*. 228 (2023): 104213.

<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2023.104213>.

D'haenens, S., Bornemann, A., Stassen, P. y Speijer, R. P. (2012). Multiple early Eocene

benthic foraminiferal assemblage and  $\delta^{13}\text{C}$  fluctuations at DSDP Site 401 (Bay of Biscay — NE Atlantic). *Marine Micropaleontology*. 88-89 (2012): 15-35.

<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2012.02.006>.

D'Orbigny, A. D. (1826). Tableau methodique de la classe des Cephalopodes. *Annales des Sciences Naturelles*. 7 (96): 245-314.

Douglas, R., Gonzalez-Yajimovich, O., Ledesma-Vazquez, J. y Staines-Urias, F. (2007).

Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. *Quaternary Science Review*. 26 (2007):

115-119. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.05.003>

Erdem, Z. y Schönfeld, J. (2017). Pleistocene to Holocene benthic foraminiferal assemblages from the Peruvian continental margin. *Palaeontologia Electronica*, 20

(2): 35A, 1-32. <https://doi.org/10.26879/764>.

- Finger, K.L. (1990). Atlas of California Neogene Foraminifera. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication 28: 1-271.
- Fisher, R. A., Corbet, A. S. y Williams, C. B. (1943). The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *The Journal of Animal Ecology*. 12 (1): 42-58.  
<https://doi.org/10.2307/1411>.
- Fisher, T. G., Smith, D. G. y Andrews, J. T. (2002). Preboreal oscillation caused by a glacial Lake Agassiz flood. *Quaternary Science Reviews*. 21 (2002): 873-878.  
[https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(01\)00148-2](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(01)00148-2).
- Fontanier, C., Jorissen, F. J., Licari, L., Alexandre, A., Anschutz, P. y Carbonel, P. (2002). Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition and microhabitats. *Deep-Sea Research Part I*. 49: 751–785.  
[https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(01\)00078-4](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00078-4).
- Fontanier, C., Jorissen, F. J., Chaillou, G., David, C., Anschutz, P. y Lafon, V. (2003). Seasonal and interannual variability of benthic foraminiferal faunas at 550m depth in the Bay of Biscay. *Deep-Sea Research Part I*. 50: 457–494.  
[https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(02\)00167-X](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(02)00167-X).
- Fontanier, C., Garnier, E., Brandily, C., Dennielou, B., Bichon, S., Gayet, N., Rovere, T., Grémare, A. y Deflandre, B. (2016). Living (stained) benthic foraminifera from the Mozambique Channel (eastern Africa): Exploring ecology of deep-sea unicellular

meiofauna. Deep-Sea Research Part I. 115: 159-174.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2016.06.007>.

Foster, L. C., Schmidt, D. N., Thomas, E., Arndt, S. y Ridgwell, A. (2013). Surviving rapid climate change in the deep sea during the Paleogene hyperthermals. Proceedings of the National Academy of Sciences. 110 (23): 9273-9276.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1300579110>.

Goffredi, S. K., Johnson, S. B., Tunnicliffe, V., Caress, D. W., Clague, D. A., Escobar, E., Lundsten, L., Paduan, J. B., Rouse, G. W., Salcedo, D. L., Soto, L. A., Spelz, R. M., Zierenberg, R. A. y Vrijenhoek, R. C. (2017). Hydrothermal vent fields discovered in the southern Gulf of California clarify role of habitat in augmenting regional diversity. Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences. 284 (1859):

1-10. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0817>.

Gooday, A. J. (2003). Benthic foraminifera (Protista) as tools in deep-water palaeoceanography: environmental influences on faunal characteristics. Advance Marine Biology. 46: 1–90. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(03\)46002-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(03)46002-1).

Gooday, A. J. y Ratburn, A. E. (1999). Temporal variability in living deep-sea benthic foraminifera: a review. Earth-Science Reviews. 46 (1999): 187–212.

[https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00010-0).

Hammer, Ø., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica. 4 (1): 9pp.

- Hess, S., Kuhnt, W., Hill, S., Kaminski, M. A., Holbourn, A. y de Leon, M. (2001). Monitoring the recolonization of the Mt Pinatubo 1991 ash layer by benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology*. 43 (2001): 119-142. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(01\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(01)00025-1).
- Hijma, M. P., Bradley, S. L., Cohen, K. M., van der Wal, W., Barlow, N. L., Blank, B., Frechen, M., Hennekam, R., van Heteren, S., Kiden, P., Mavritsakis, A., Meijninger, B. M. L., Reichart, G. J., Reinhardt, L., Rijdsdijk, K. F., Vink, A. y Busschers, F. S. (2025). Global sea-level rise in the early Holocene revealed from North Sea peats. *Nature*. 639 (8055): 652-657. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08769-7>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. En: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. y Miller, H.L. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, NY, USA.
- Jorissen, F. J., De Stigter, H. C. y Widmark, J. G. V., (1995). A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*. 26: 3–15. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(95\)00047-X](https://doi.org/10.1016/0377-8398(95)00047-X).
- Jorissen, F., Fontanier, C. y Thomas, E. (2007). Paleoceanographical proxies based on Deep-Sea Benthic Foraminiferal Assemblage characteristics. En: *Developments in Marine Geology*. 1: 263-325. [https://doi.org/10.1016/s1572-5480\(07\)01012-3](https://doi.org/10.1016/s1572-5480(07)01012-3).

- Kaiho, K. (1994). Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology*. 22 (8): 719-722.  
<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2024.102432>.
- Kaminski, M. A., Gradstein, F. M., Berggren, W. A., Geroch, S., Beckmann, J. P. (1988). Flysch-type agglutinated foraminiferal assemblages from Trinidad: taxonomy, stratigraphy and paleobathymetry. *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*. 41: 155–227.
- Keigwin, L. D. (2002). Late Pleistocene-Holocene paleoceanography and ventilation of the Gulf of California. *Journal of Oceanography*. 58: 421-432.  
<https://doi.org/10.1023/A:1015830313175>.
- Keigwin, L. D. y Jones, G. A. (1990). Deglacial climatic oscillations in the Gulf of California. *Paleoceanography*. 5 (6): 1009-1023.  
<https://doi.org/10.1029/PA005i006p01009>.
- Kelts, K. y Niemitz, J. (1982). Preliminary sedimentology of late Quaternary diatomaceous muds from Deep Sea Drilling Project site 480, Guaymas Basin slope, Gulf of California. *Initial Repository Deep Sea Drilling Project*. 64: 1191-1210. <https://doi.org/10.2973/DSDP.PROC.64.159.1982>.
- Li, M., Wang, F., Cai, B., Cao, Q., Cheng, H., Shen., C., Tan, M. y Edwards, L. (2022). Timing and structure of 10.9 and 10.3 ka BP events revealed by annually laminated stalagmite records from Shihua cave, northern China.

Paleoceanography and Paleoclimatology. 37: e2022PA004459.

<https://doi.org/10.1029/2022PA004459>.

Lizarralde, D., Axen, G. J., Brown, H. E., Fletcher, J. M., González-Fernández, A., Harding, A. J. y Umhoefer, P. J. (2007). Variation in styles of rifting in the Gulf of California.

Nature. 448 (7152): 466-469. <https://doi.org/10.1038/nature06035>.

Loeblich, A. R. y Tappan, H. (1964). Protiista 2 Sarcodina Chiefly "Thecamoebians" and Foraminiferida. En: Moore, R. C. (Ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology, Part C (511-900). Geological Society of America and University of Kansas Press.

Loeblich, A. R. y Tappan, H. (1987). Foraminifera Genera and Their Classification (970 pp.). Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.

Loubere, P. (1991). Deep-sea benthic foraminiferal assemblage response to a surface ocean productivity gradient: A test. Paleoceanography. 6 (2): 193-204.

<https://doi.org/10.1029/90PA02612>.

Lutze, G. F. y Coulbourn, W. T. (1984). Recent benthic foraminifera from the continental margin of northwest Africa: Community structure and distribution. Marine Micropaleontology. 8 (5): 361-401.

[https://doi.org/10.1016/0377-8398\(84\)90002-1](https://doi.org/10.1016/0377-8398(84)90002-1).

Machain-Castillo, M. L., Gío-Argáez, F. R., Cuesta-Castillo, L. B., Alcalá-Herrera, J. A. y Sen Gupta, B. K. (2010). Last Glacial Maximum deep water masses in southwestern Gulf of Mexico: Clues from benthic foraminifera. Boletín de la

Sociedad Geológica Mexicana. 62 (3): 453-467.

<https://doi.org/10.18268/BSGM2010v62n3a9>.

Mackensen, A., Sejrup, H.P. y Jansen, E. (1985). The distribution of living benthic foraminifera on the continental slope and rise off Southwest Norway. *Marine Micropaleontology*. 9: 275-306. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(85\)90001-5](https://doi.org/10.1016/0377-8398(85)90001-5).

Mackensen, A., Schmiedl, G., Harloff, J. y Giese, M. (1995). Deep-Sea Foraminifera in the South Atlantic Ocean: Ecology and Assemblage Generation. *Micropaleontology*. 41 (4): 342-358. <https://doi.org/10.2307/1485808>.

Magny, M. y Bégeot, C. (2004). Hydrological changes in the European midlatitudes associated with freshwater outbursts from Lake Agassiz during the Younger Dryas event and the early Holocene. *Quaternary Research*. 61 (2004): 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2003.12.003>.

McCloy, C., Ingle, J. C. y Barron, J. A. (1988). Neogene Stratigraphy, Foraminifera, Diatoms, and Depositional History of Maria Madre Island, Mexico: Evidence of Early Neogene Marine Conditions in the Southern Gulf of California. *Marine Micropaleontology*. 13 (1988): 193-212. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(88\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0377-8398(88)90003-5).

Mikhalevich, V. I. (2013). New insights into the systematics and evolution of the Foraminifera. *Micropaleontology*. 59: 493-527. <https://doi.org/10.47894/mpal.59.6.01>.

Miller, K. G. y Lohman, G. P. (1982). Environmental distribution of recent benthic foraminifera on the northeast United States continental slope. *Geological Society of America Bulletin*. 93: 200-206.

[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1982\)93<200:EDORBF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1982)93<200:EDORBF>2.0.CO;2).

Murray, J. W. (1991). *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. (2da. Ed., 397 pp.). Routledge. E.U.A.

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

Porinchu, D. F., MacDonald, G. M., Moser, K. A., Rolland, N., Kremenetski, K., Seppä, H y Rühland, K. M. (2019). Evidence of abrupt climate change at 9.3 ka and 8.2 ka in the central Canadian Arctic: Connection to the North Atlantic and Atlantic Meridional Overturning Circulation. *Quaternary Science Reviews*. 219 (2019): 204-217. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.07.024>.

Ramos-Albino, F. R. (2022). *Caracterización de las asociaciones de foraminíferos bentónicos del Pleistoceno Tardío en un monte submarino de la Cordillera de Alarcón, Golfo de California (63 pp.)*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, México.

Rasmussen, S. O., Vinther, B. M., Clausen, H. y Andersen, K. H. (2007). Early Holocene climate oscillations recorded in three Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*. 26 (15-16): 1907-1914. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2007.06.015>.

- Rasmussen, T. L., Forwick, M. y Mackensen, A. (2012). Reconstruction of inflow of Atlantic water to Isfjorden, Svalbard during the Holocene: correlation to climate and seasonality. *Marine Micropaleontology*. 94-95 (2012): 80-90.  
<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2012.06.008>.
- Sancetta, C. (1995). Diatoms in the Gulf of California: Seasonal flux patterns and the sediment record for the last 15,000 years. *Paleoceanography*. 10 (1): 67-84.  
<https://doi.org/10.1029/94PA02796>.
- Saraswati, P. K. (2021). *Foraminiferal Micropaleontology for Understanding Earth's History* (329 pp.). Editorial Elsevier. India.
- Saraswati, P. K. y Srinivasan, M. S. (2016). *Micropaleontology: Principles and Applications* (224 pp.). Editorial Springer. Suiza.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-14574-7>.
- Schmiedl, G., Mackensen, A. y Müller, P. J. (1997). Recent benthic foraminifera from the eastern South Atlantic Ocean: Dependence on food supply and water masses. *Marine Micropaleontology*. 32 (1997): 249-287.  
<https://doi.org/10.1594/PANGAEA.53139>.
- Schmiedl, G., Mitschele, A., Beck, S., Emeis, K.-C., Hemleben, C., Schulz, H., Sperling, M. y Weldeab, S. (2003). Benthic foraminiferal record of ecosystem variability in the eastern Mediterranean Sea during times of sapropel S5 and S6 deposition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 190 (2003): 139-164.  
[https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(02\)00603-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(02)00603-X).

Schönfeld, J. (2001). Benthic foraminifera and pore-water oxygen levels profiles: A re-assessment of species boundary conditions at the western Iberian margin. *Journal of Foraminiferal Research*. 31 (2): 86-107.

<https://doi.org/10.2113/0310086>.

Seidenkrantz, M. S., Kouwenhoven, T. J., Jorissen, F. J., Shackleton, N. J. y van der Zwaan, G. J. (2000). Benthic foraminifera as indicators of changing Mediterranean-Atlantic water exchange in the late Miocene. *Marine Geology*. 163: (387-407). [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(99\)00116-4](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(99)00116-4).

Sen Gupta, B. K. (1999). Introduction to modern foraminifera, en *Systematics of Modern foraminifera*, editado por: B. K. Sen Gupta, pp. 7–36, Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands.

Sen Gupta, B. K. y Machain-Castillo, M. L. (1993). Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*. 20: 3–4.

[https://doi.org/10.1016/0377-8398\(93\)90032-S](https://doi.org/10.1016/0377-8398(93)90032-S).

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27 (3): 379-423.

<https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.

Shi, X., Lohmann, G., Sidorenko, D. y Yang, H. (2020). Early-Holocene simulations using different forcings and resolutions in AWI-ESM. *The Holocene*. 30 (7): 996-1015.

<https://doi.org/10.1177/0959683620908634>.

- Smith, P. B. (1964). Ecology of benthonic species. Geological Survey Professional Paper 429 - B. <https://doi.org/10.3133/pp429B>.
- Stassen, P., Thomas, E. y Speijer, R.P. (2015). Paleocene-Eocene Thermal Maximum environmental change in the New Jersey Coastal Plain: benthic foraminiferal biotic events. *Marine Micropaleontology*. 115: 1-23.  
<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2014.12.001>.
- Staines-Urías, F., González-Yajimovich, O. y Beaufort, L. (2015). Reconstruction of past climate variability and ENSO-like fluctuations in the southern Gulf of California (Alfonso Basin) since the last glacial maximum. *Quaternary Research*. 83 (2015): 488-501. <http://dx.doi.org/10.1016/j.yqres.2015.03.007>.
- Thomas, E. (1998). The biogeography of the late Paleocene benthic foraminiferal extinction. In: Aubry, M.P., Lucas, S., Berggren, W.A. (Eds.), *Late Paleocene–Early Eocene Biotic and Climatic Events in the Marine and Terrestrial Records*. Columbia University Press, New York. pp. 214–243.  
<https://doi.org/10.1017/S0016756801324950>.
- Thomas, E., Zachos, J. C. y Bralower, T. J. (2000). Deep-sea environments on a warm earth: latest Paleocene-early Eocene. En: *Warm climates in Earth history*. 5: 132-160. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511564512.006>.
- Tierney, J. E., Poulsen, C. J., Montañez, I. P., Bhattacharya, T., Feng, R., Ford, H. L., Hönisch, B., Inglis, G. N., Petersen, S., Sahoo, N., Tabor, C. R., Thirumal, K., Zhu, J., Burls, N. J., Fodter, G. L., Goddérís, Y., Huber, B. T., Ivany, L. C., Turner, S. K., ...,

Zhang, Y. G. (2020). Past climates inform our future. *Science*. 370 (6517): 1-9.

<https://doi.org/10.1126/science.aay3701>.

Umhoefer, P. J., Schwennicke, T., Del Margo, M. T., Ruiz-Geraldo, G., Ingle, J. C. y McIntosh, W. C. (2007). Transtensional fault-termination basins: An important basin type illustrated by the Pliocene San Jose Island Basin and related basins in the Southern Gulf of California, Mexico. *Basin Research*. 19 (2): 297-322.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2007.00323.x>.

Van Morkhoven, F. P. C. M., Berggren, W. A. y Edwards, A. S. (1986). Cenozoic cosmopolitan deep-water benthic foraminifera (421 pp.). *Bulletin des Centres de Recherche Exploration—Production Elf-Aquitaine Memoir Vol. 11*. Pau, France.

Vega-Ramírez, L. A. (2018). Análisis estructural de la Cordillera de Alarcón en Golfo de California a partir de datos batimétricos de alta resolución (60 pp.). Tesis de Maestría, CICESE, México. Repositorio Institucional CICESE:

<http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2069>.

Wicander, R. y Monroe, J. (2010). *Historical Geology*. (6a. Ed., 442 pp.). Thomson Brooks/Cole. E.U.A.

Widmark, J. G. V (2000). Biogeography of terminal Cretaceous benthic foraminifera: deep-water circulation and trophic gradients in the deep South Atlantic. *Cretaceous Research*. 21 (2000): 367-379.

<https://doi.org/10.1006/cres.1999.0193>.

Widmark, J. G. V. y Speijer, R. P. (1997). Benthic foraminiferal ecomarker species of the terminal Cretaceous (late Maastrichtian) deep-sea Tethys. *Marine Micropaleontology*. 31: 135–155.

[https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(97\)00008-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(97)00008-X).

Wilson, B., Ramkissoon, M. y McLean, A. (2011). The biostratigraphic and palaeoenvironmental significance of foraminifera in the Middle Miocene Calcareous Silt Member (Tamana Formation) near Gasparillo West Quarry, central Trinidad. *Cenozoic Research*. 8 (1-2): 3-12.

<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2020.101942>.

Zhu, X. (2001). Characteristics of *Uvigerina* in the Northwestern Indian Ocean: Paleo-environmental implications. *Chinese Science Bulletin*. 46 (S1): 115-119.

<https://doi.org/10.1007/BF03187250>.

## 11. Anexos

**Anexo 1.** Base de datos de abundancias relativas de las muestras del núcleo D746-PC65L de la cordillera de Alarcón expresadas en porcentajes (%).

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>40.5</b>	<b>43.5</b>	<b>45.5</b>	<b>47.5</b>	<b>49.5</b>	<b>51.5</b>	<b>53.5</b>	<b>55.5</b>	<b>57.5</b>	<b>59.5</b>	<b>61.5</b>	<b>63.5*</b>	<b>65.5**</b>	<b>67.5</b>	<b>69.5*</b>	<b>71.5</b>	<b>77.5*</b>	<b>79.5*</b>	<b>81.5</b>	<b>83.5</b>	<b>85.5</b>	<b>87.5</b>	<b>89.5</b>	<b>91.5</b>	<b>93.5</b>	<b>95.5</b>	<b>97.5</b>	<b>99.5*</b>	<b>101.5</b>	<b>103.5</b>	<b>105.5*</b>	<b>107.5*</b>	<b>109.5</b>	<b>111.5</b>	
<i>Alabamina creta</i>	1.0	0.0	0.4	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Alabamina midwayensis</i>	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Allomorphina pacifica</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Anomalinoidea alazanensis</i>	1.6	3.5	1.9	3.8	0.6	2.8	2.5	0.0	3.8	1.4	0.0	0.0	25.0	2.7	3.1	4.2	1.7	1.0	3.6	2.3	1.0	2.6	2.0	5.9	2.9	3.4	1.9	0.0	0.6	1.0	0.9	2.3	2.3	2.6	
<i>Anomalinoidea sp. 1</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	
<i>Anomalinoidea sp. 2</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	
<i>Anomalinoidea sp. 3</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Anomalinoidea sp. 4</i>	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Anomalinoidea sp. 5</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Astalocus sp. 1</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Buchnerina sp. 1</i>	1.0	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.6	2.3	1.5	0.0	1.3	0.0	0.0	1.4	0.0	1.7	0.0	0.0	1.0	0.7	1.0	1.0	2.0	0.3	1.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Bulimina corrugata/rostrata</i>	3.1	3.0	2.7	6.8	3.0	8.5	7.0	0.6	5.3	3.6	2.6	5.3	0.0	5.4	7.9	6.4	1.7	5.5	3.6	2.6	3.0	5.2	0.0	5.9	6.3	1.9	1.3	5.2	4.0	3.7	5.3	7.4	8.6	9.8	
<i>Bulimina subacuminata</i>	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.8	1.1	1.7	1.3

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>40.5</b>	<b>43.5</b>	<b>45.5</b>	<b>47.5</b>	<b>49.5</b>	<b>51.5</b>	<b>53.5</b>	<b>55.5</b>	<b>57.5</b>	<b>59.5</b>	<b>61.5</b>	<b>63.5*</b>	<b>65.5**</b>	<b>67.5</b>	<b>69.5*</b>	<b>71.5</b>	<b>77.5*</b>	<b>79.5*</b>	<b>81.5</b>	<b>83.5</b>	<b>85.5</b>	<b>87.5</b>	<b>89.5</b>	<b>91.5</b>	<b>93.5</b>	<b>95.5</b>	<b>97.5</b>	<b>99.5*</b>	<b>101.5</b>	<b>103.5</b>	<b>105.5*</b>	<b>107.5*</b>	<b>109.5</b>	<b>111.5</b>	
<i>Cassidulina crassa</i>	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cassidulina laevigata</i>	1.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cassidulina</i> sp. 1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cassidulina</i> sp. 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cibicides</i> sp. 1	0.0	0.5	1.5	2.3	1.2	1.4	0.6	0.0	2.3	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	2.8	0.0	1.5	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.6	2.3	2.1	
<i>Cibicides</i> sp. 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	
<i>Cibicides</i> sp. 3	0.0	1.0	0.0	0.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.7	0.0	0.6	1.7	0.4	
<i>Cibicides</i> sp. 4	3.1	0.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	
<i>Cibicides</i> sp. 5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	
<i>Cibicides</i> sp. 6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	1.1	1.1	0.0	
<i>Cibicides</i> sp. 7	1.0	0.5	0.4	0.8	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	2.0	0.7	0.5	1.1	1.9	0.0	1.7	0.0	5.3	4.0	1.7	0.4	
<i>Cibicides</i> sp. 8	0.0	2.5	1.5	0.8	0.6	0.7	1.9	2.3	0.0	2.2	1.3	1.2	0.0	0.9	1.0	1.7	0.0	1.0	1.9	2.6	1.0	3.2	3.1	2.1	5.3	2.6	3.9	3.0	1.7	0.3	2.7	1.1	0.6	0.4	
<i>Cibicides</i> sp. 9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0	1.3	0.3	1.0	1.0	2.1	1.0	0.0	1.3	0.0	4.0	3.3	0.0	0.0	1.1	3.0	
<i>Cibicides</i> sp. 10	2.6	0.0	0.0	2.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.6	0.0	0.9	2.1	0.4	4.3	0.0	2.9	3.0	1.0	2.3	3.1	3.5	1.0	0.0	3.2	2.2	1.7	3.3	1.8	2.3	1.1	3.4	
<i>Cibicides</i> sp. 11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Cibicides</i> sp. 12	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	1.3	0.6	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	1.4	1.0	0.0	0.9	0.7	0.6	0.7	1.0	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	3.2	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>40.5</b>	<b>43.5</b>	<b>45.5</b>	<b>47.5</b>	<b>49.5</b>	<b>51.5</b>	<b>53.5</b>	<b>55.5</b>	<b>57.5</b>	<b>59.5</b>	<b>61.5</b>	<b>63.5*</b>	<b>65.5**</b>	<b>67.5</b>	<b>69.5*</b>	<b>71.5</b>	<b>77.5*</b>	<b>79.5*</b>	<b>81.5</b>	<b>83.5</b>	<b>85.5</b>	<b>87.5</b>	<b>89.5</b>	<b>91.5</b>	<b>93.5</b>	<b>95.5</b>	<b>97.5</b>	<b>99.5*</b>	<b>101.5</b>	<b>103.5</b>	<b>105.5*</b>	<b>107.5*</b>	<b>109.5</b>	<b>111.5</b>	
<i>Cibicoides</i> sp. 13	0.5	1.0	2.7	1.5	2.4	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cibicoides</i> sp. 14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Cibicoides</i> sp. 15	1.0	0.0	0.8	0.0	0.6	1.4	0.6	0.0	1.5	0.0	0.0	1.2	0.0	1.4	1.0	0.8	0.9	1.0	1.0	2.0	2.0	1.3	0.0	0.0	1.0	1.1	0.6	1.5	2.3	0.0	0.0	1.1	0.6	0.9	
<i>Cibicoides wuellerstorfi</i>	0.0	0.5	0.0	0.0	0.6	0.7	1.3	0.6	1.5	0.7	5.1	2.3	0.0	3.2	1.7	1.3	5.1	2.1	1.0	2.0	1.7	2.9	3.1	3.5	1.5	2.6	2.6	3.0	1.1	3.0	2.7	2.8	2.3	0.0	
<i>Elphidium</i> sp. 1	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.3	0.8	0.7	0.0	0.6	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.7	1.0	0.0	0.0	0.3	2.0	0.3	0.5	1.9	0.6	0.0	0.0	2.0	0.0	0.6	0.6	0.0	
<i>Elphidium</i> sp. 2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.6	0.0	0.0	1.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	3.4	0.7	0.6	0.7	0.3	0.3	1.0	0.7	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.6	0.0	0.0	
<i>Epistominella</i> sp. 1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Fissurina</i> sp. 1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Gaudryinella</i> sp. 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Glandulodosaria</i> sp. 1	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.3	2.0	0.0	0.0	0.8	0.6	0.0	1.1	0.0	0.9	0.6	0.6	0.0	
<i>Gyroidinoides</i> sp. 1	0.5	0.0	1.9	1.5	0.6	1.4	0.6	0.0	0.0	1.4	3.8	2.3	0.0	2.7	0.7	0.0	0.9	1.0	1.3	1.7	0.0	0.6	0.0	0.3	0.0	0.0	1.3	1.5	0.6	0.3	0.0	0.6	0.6	0.6	0.4
<i>Gyroidinoides</i> sp. 2	1.0	0.0	0.4	0.0	0.6	0.7	0.0	0.0	0.8	3.6	3.8	0.6	0.0	0.0	1.4	0.4	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.6	2.0	1.0	0.5	1.1	0.0	0.0	1.1	0.0	1.8	1.1	1.1	0.4	
<i>Gyroidinoides</i> sp. 3	1.6	1.0	1.5	4.5	1.2	2.1	0.6	0.0	0.0	3.6	1.3	1.8	25.0	1.8	1.0	0.4	0.0	0.7	2.3	2.3	3.6	1.3	3.1	3.5	1.5	0.8	1.9	3.7	1.1	1.3	0.0	1.1	1.1	1.7	
<i>Gyroidinoides</i> sp. 4	0.0	0.0	0.4	1.5	0.6	1.4	0.6	1.2	2.3	1.4	0.0	0.6	0.0	0.9	0.0	0.4	0.0	0.3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.0	1.0	1.0	0.4	0.0	0.7	1.7	0.0	0.9	0.6	2.3	0.4	
<i>Gyroidinoides</i> sp. 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	





Profundidad (cm)	40.5	43.5	45.5	47.5	49.5	51.5	53.5	55.5	57.5	59.5	61.5	63.5*	65.5**	67.5	69.5*	71.5	77.5*	79.5*	81.5	83.5	85.5	87.5	89.5	91.5	93.5	95.5	97.5	99.5*	101.5	103.5	105.5*	107.5*	109.5	111.5	
<i>Praeglobobulimina spinescens</i>	1.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.7	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	2.1	0.0	0.3	1.0	0.7	2.0	1.0	2.0	1.4	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.6	0.6	0.0
<i>Pullenia bulloides</i>	4.7	1.5	2.3	3.0	3.6	1.4	3.2	2.3	0.8	1.4	1.3	1.2	0.0	2.7	4.5	4.2	6.0	3.8	3.6	4.6	4.6	5.8	11.2	6.3	3.4	5.3	1.9	0.7	1.1	3.7	4.4	4.5	3.4	1.7	
<i>Pullenia jarvisi</i>	0.5	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.1	0.0	0.0
<i>Pullenia quinqueloba</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Pyrgo sp. 1</i>	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	2.9	1.0	1.7	0.3	0.0	1.4	0.0	0.4	0.0	0.0	0.6	1.0	0.0	1.1	0.6	0.0	
<i>Rosalina sp. 1</i>	0.0	0.0	0.8	0.0	2.4	0.7	1.3	0.0	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Siphouvigerina sp. 1</i>	0.0	0.0	0.0	1.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.8	0.0	0.3	0.0	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.6	1.7	0.0	1.1	1.7	1.3	
<i>Troco-biseriado indeterminado</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<i>Uvigerina hispida</i>	8.9	11.9	8.7	6.8	11.3	3.5	1.3	6.4	6.0	0.7	3.8	9.9	25.0	10.8	11.0	8.5	23.1	9.7	14.9	11.6	11.3	12.7	4.1	11.2	4.9	11.7	3.2	3.7	11.3	16.0	3.5	11.4	12.6	13.2	
<i>Uvigerina hootsi</i>	28.3	39.3	38.8	21.8	30.4	36.2	30.6	45.6	31.6	42.8	35.9	40.4	0.0	31.5	27.4	31.4	18.8	34.3	16.9	13.2	21.9	18.2	23.5	16.1	35.0	21.1	47.7	47.8	22.0	22.3	46.0	20.5	21.1	27.2	
<i>Uvigerina peregrina</i>	20.9	20.4	16.7	11.3	19.0	20.6	22.9	15.8	21.8	16.7	20.5	18.1	0.0	14.4	12.7	18.6	22.2	14.9	7.8	6.3	7.6	7.8	9.2	9.1	13.6	18.5	14.8	12.7	13.6	7.0	15.9	16.5	12.6	14.5	
<i>Uvigerina subperegrina</i>	1.6	2.0	1.5	0.8	1.8	0.0	4.5	2.3	6.8	0.7	2.6	4.7	0.0	1.8	4.8	0.8	0.0	3.1	2.3	1.0	2.6	1.3	4.1	1.0	3.9	5.7	0.0	4.5	4.5	0.7	0.9	0.0	1.1	3.8	
<i>Vernullina ciclostomata</i>	0.5	0.0	1.1	0.0	0.0	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.3	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	1.0	0.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.7	0.9	1.1	1.1	0.4	

\*Muestras que pasaron por un segundo lavado con  $\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6$  al 5%.

\*\*La muestra 65.5 no es representativa dado que solo se encontraron 4 ejemplares en ella, por lo tanto, no se utilizó para realizar ningún cálculo.

**Anexo 2.** Índices de diversidad y abundancias relativas (expresadas en porcentajes; %) de especies calcáreas, infaunales, bulimínidos *s.l.* y clústers.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>40.5</b>	<b>43.5</b>	<b>45.5</b>	<b>47.5</b>	<b>49.5</b>	<b>51.5</b>	<b>53.5</b>	<b>55.5</b>	<b>57.5</b>	<b>59.5</b>	<b>61.5</b>	<b>63.5</b>	<b>67.5</b>	<b>69.5</b>	<b>71.5</b>	<b>77.5</b>	<b>79.5</b>	<b>81.5</b>	<b>83.5</b>	<b>85.5</b>	<b>87.5</b>	<b>89.5</b>	<b>91.5</b>	<b>93.5</b>	<b>95.5</b>	<b>97.5</b>	<b>99.5</b>	<b>101.5</b>	<b>103.5</b>	<b>105.5</b>	<b>107.5</b>	<b>109.5</b>	<b>111.5</b>
Fisher- $\alpha$	12.0	8.8	10.4	14.8	11.2	8.8	9.4	6.3	8.0	7.9	7.3	5.1	8.9	10.4	10.0	5.5	11.3	15.5	13.7	11.9	14.1	9.5	11.8	8.3	9.5	7.0	5.2	9.9	12.0	5.6	13.7	12.0	8.3
Heterogeneidad (H')	2.6	2.1	2.4	3.0	2.5	2.2	2.3	2.0	2.3	2.1	2.2	2.0	2.5	2.6	2.5	2.2	2.5	3.1	3.1	2.9	3.0	2.6	3.0	2.4	2.7	2.1	2.0	2.7	2.9	2.0	2.9	2.8	2.5
Especies calcáreas	99.5	100	98.9	100	100	98.6	99.4	100	100	100	100	100	98.7	99.7	100	100	99.3	99.4	100	99.7	100	100	98.6	99.5	97.4	99.4	100	100	99.3	99.1	98.9	98.9	99.6
Especies infaunales	80.6	87.1	82.1	72.2	79.2	82.3	84.7	89.5	85.0	78.3	83.3	87.1	81.1	83.2	84.3	84.6	83.7	73.4	76.2	82.1	78.6	75.5	66.1	80.6	81.5	74.8	82.8	71.2	79.0	83.2	71.0	74.9	78.3
Buliminidos <i>s.l.</i>	64.9	77.6	68.8	53.4	68.5	68.8	66.9	70.8	71.4	64.5	65.4	78.4	64.4	65.4	67.0	65.8	67.8	52.0	43.7	56.0	51.3	40.8	43.7	65.1	60.0	67.1	73.9	55.9	54.0	73.5	58.0	60.0	71.1
Subclúster A1	49.7	43.3	39.9	47.4	48.8	39.0	47.1	40.9	47.4	39.9	48.7	47.4	47.3	51.0	43.2	73.5	46.7	53.6	62.3	54.6	56.2	58.2	52.5	42.7	58.1	38.1	38.1	55.4	53.3	35.4	47.2	46.9	50.2
Subclúster A2	1.1	3.0	1.9	1.5	0.6	0.7	2.6	2.9	0.0	2.9	1.3	1.2	0.9	1.0	2.1	0.0	1.0	2.3	2.7	1.0	3.3	5.1	2.8	5.8	3.8	5.8	3.0	3.4	0.3	8.0	5.1	2.3	0.9
Subclúster A3	4.7	7.5	4.6	11.3	5.4	11.4	9.6	0.6	9.0	5.1	3.9	5.3	8.1	12.0	10.6	3.4	8.0	7.1	5.3	4.0	8.1	2.0	15.0	9.2	5.3	3.2	5.2	6.2	5.3	6.2	10.2	12.6	12.8
Clúster B	31.9	39.8	41.8	23.3	31.0	37.6	31.2	48.0	31.6	45.7	39.7	42.7	34.7	28.1	32.6	19.7	35.3	18.2	14.9	21.9	18.8	23.5	16.4	35.0	21.1	49.0	49.3	22.6	22.7	46.0	21.6	22.3	27.7

**Anexo 3.** Preferencias ecológicas de los taxones con abundancia >3% en al menos una de las muestras.

<b>Taxón</b>	<b>Modo de vida</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Oxígeno</b>	<b>Condiciones tróficas (cantidad, calidad, tipo)</b>	<b>Otros</b>
Alabamina creta	Epifaunal	Batial a Abisal (1500-3200m) <sup>1,2</sup>	Indicador subóxico (0.25 a 6ml/l) <sup>3</sup>	Fitodetrítico <sup>2</sup>	-
Anomalinoides alazanensis	Epifaunal <sup>4</sup>	-	-	Relacionado a descenso en la productividad <sup>5</sup>	Abundantes en intervalos ricos en carbonatos <sup>6</sup>
Bulimina corrugata/ rostrata	Infaunal	Nerítico a Abisal (95-2500 m) <sup>2</sup>	-	-	-
Cibicidoides spp.	Epifaunal	Nerítico a Abisal (70-5400) <sup>2</sup>	1.3 a 6 ml/l <sup>7</sup>	-	Asociados a corrientes de fondo activas <sup>8,9</sup>
Cibicidoides wuellerstorfi	Epifaunal <sup>7</sup>	Abisal (2000-3000m) <sup>10</sup>	Indicador de condiciones óxicas <sup>7</sup> ; Tolera poco contenido de oxígeno (<2 ml/l) <sup>10,11</sup>	Prefiere alta productividad primaria <sup>7</sup> ; Puede ser suspensívoro <sup>12</sup>	-
Elphidium spp.	Infaunal <sup>2</sup>	Nerítico a Batial <sup>2</sup>	-	Herbívoro, detritívoro <sup>2</sup>	-
Gyroidinoides spp.	Infaunal <sup>7</sup>	Batial (2000m) <sup>2</sup>	Condiciones bien ventiladas a poco oxígeno (0.25 a 6 ml/l) 3,7,11,13	Ambientes meso-oligotróficos <sup>13</sup>	Oportunistas <sup>13</sup>
Lagena sp.	Infaunal	Nerítico a Batial (100-1600m) <sup>2,14</sup>	Indicador subóxico (0.25 a 6ml/l) <sup>3</sup>	-	Estrategias parasitarias <sup>2</sup>
Oridorsalis spp.	Epifaunal	Nerítico a Abisal (193-3700) <sup>2</sup>	Indicador subóxico (0.25 a 6ml/l) <sup>3</sup>	-	-

<b>Taxón</b>	<b>Modo de vida</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Oxígeno</b>	<b>Condiciones tróficas (cantidad, calidad, tipo)</b>	<b>Otros</b>
Oridorsalis umbonatus	Infaunal <sup>15</sup>	Batial a Abisal (1000-5500) <sup>2</sup>	Ambientes óxicos <sup>13,16</sup>	Oligotrófico <sup>17</sup> ; Meso-eutrófico <sup>13</sup> ; Bajos flujos constantes de materia orgánica degradada <sup>16</sup>	Oportunistas <sup>17</sup>
Pleurostomella spp.	Infaunal	Abisal (1113 m) <sup>3</sup>	Indicador subóxico (0.25 a 6ml/l) <sup>3</sup>	Alto suministro de alimento <sup>8</sup>	-
Praeglobobulimina ovata	Infaunal profundo <sup>7,11</sup>	Batial a Abisal (700-3000m) <sup>7,11</sup>	<1.6 ml/l a 6 ml/l <sup>7,11</sup>	-	Es posible que sobrevivan a base de bacterias <sup>7</sup>
Pullenia bulloides	Infaunal <sup>2</sup>	Nerítico a Abisal (100-5128) <sup>2</sup>	Indicador subóxico (0.25 a 6ml/l) <sup>3</sup>	Detritívoro <sup>2</sup> ; Asociado a baja productividad <sup>18</sup>	-
Uvigerina hispida	Infaunal <sup>19</sup>	Nerítico a Batial (100-2000) <sup>2</sup>	Sedimento oxigenado <sup>19</sup> ; Indicador de poco oxígeno <sup>20</sup>	Meso-eutróficos, materia orgánica alterada <sup>19</sup>	Relacionados a alta productividad en la superficie y surgencias <sup>20</sup>
Uvigerina hootsi	Infaunal	Batial (500-1500 m) <sup>21,22</sup>	Indicador de ZMO <sup>22</sup>	-	-
Uvigerina peregrina	Infaunal <sup>7,23</sup>	Batial a Abisal (700-2500m) <sup>11,24</sup>	Ambientes bien oxigenados (4.09 a 6 ml/l), alta tolerancia a condiciones disóxicas <sup>7,11,23,24,25</sup>	Relacionada a condiciones eutróficas <sup>24,25,26</sup> ; Adaptable a diferentes tipos de alimento <sup>11,25</sup>	Oportunista <sup>27</sup> ; Relacionada a surgencias y a circulación termohalina lenta <sup>28,29</sup>
Uvigerina subperegrina	Infaunal	Nerítico a Batial (100-2000m) <sup>2</sup>	Asociada al margen superior de la ZMO <sup>30</sup>	-	-

- |                                   |                                       |                            |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 1 Widmark, 2000                   | 11 Jorissen et al., 2007              | 21 McCloy et al., 1988     |
| 2 Murray, 1991                    | 12 Hess et al., 2001                  | 22 Finger, 1990            |
| 3 Kaiho, 1994                     | 13 Schmiedl et al., 2003              | 23 Fontanier et al., 2002  |
| 4 Ramos-Albino, 2022              | 14 Smith, 1964                        | 24 Miller y Lohman, 1982   |
| 5 Seidenkrantz et al., 2000       | 15 Foster et al., 2013                | 25 Schmiedl et al., 1997   |
| 6 D'haenens et al., 2012          | 16 Mackensen et al., 1995             | 26 Gooday y Ratburn, 1999  |
| 7 Schönfeld, 2001                 | 17 Arreguín-Rodríguez y Alegret, 2016 | 27 Deprez et al., 2015     |
| 8 Thomas et al, 2000              | 18 Burke et al., 1993                 | 28 Burke, 1981             |
| 9 Arreguín-Rodríguez et al., 2016 | 19 Fontanier et al., 2016             | 29 Lutze y Coulbourn, 1984 |
| 10 Mackensen et al., 1985         | 20 Zhu, 2001                          | 30 Wilston et al., 2011    |