

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS**



**CARACTERIZACIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE
FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS DEL PLEISTOCENO
TARDÍO EN UN MONTE SUBMARINO DE LA CORDILLERA
DE ALARCÓN, GOLFO DE CALIFORNIA**

PROYECTO DE TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO

PRESENTA:
FERNANDA RUBÍ RAMOS ALBINO

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. GABRIELA DE JESÚS ARREGUÍN RODRÍGUEZ

ENSENADA, B.C. A MARZO 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS

Ensenada B.C, a 22 de marzo del 2022

P. BIOL. Fernanda Rubí Ramos Albino
P r e s e n t e

Por este medio comunicamos a usted que después de haber leído detenidamente el trabajo como Tesis Profesional bajo el Título:

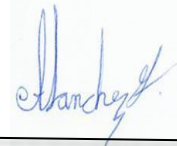
Caracterización de las asociaciones de foraminíferos bentónicos del Pleistoceno tardío en un monte submarino de la Cordillera de Alarcón, Golfo de California.

Consideramos que reúne los requisitos para aprobar la parte escrita de su examen Profesional



Directora

Dra. Gabriela de Jesús
Arreguín Rodríguez



Co-Director

Dr. Alejandro Sánchez
González



Sinodal
Dr. Ronald Michael
Spelz Madero



Sinodal
M.C. Andrea Ghia
Ramírez



Sinodal
Dr. Andrés Martínez
Aquino

Agradecimiento

La presente Tesis se llevó a cabo con financiación del Proyecto UABC-PTC-762 de PRODEP titulado —Registro de eventos paleoclimáticos y evaluación del cambio climático reciente a partir de la respuesta de foraminíferos bentónicos en el Golfo de California y Golfo de México—. Se agradece asimismo a David Clague (Monterey Bay Aquarium Research Institute, MBARI) y Ryan Portner (San Jose State University) por proporcionar las muestras de sedimento estudiadas, que fueron colectadas en la expedición oceanográfica a la Cordillera de Alarcón (sur del Golfo de California) realizada por MBARI en 2012.

Agradezco principalmente a mi directora de tesis, la Dra. Gabriela Arreguín Rodríguez, por su ayuda en todos los sentidos, orientación, enseñarme todo lo que estuvo en sus manos y darme la oportunidad de trabajar con usted. Gracias por formar parte de mi comité a mis maestros durante la carrera, a quienes más admiro, como docentes y personas: al Dr. Alejandro Sánchez, a la M.C. Andrea Guía Ramírez y al Dr. Ronald Spelz. Agradezco a la Facultad de Ciencias y Facultad de Ciencias Marinas, principalmente a la Dra. Mary Carmen Ruiz. A mis amistades, que me brindaron su apoyo y palabras de ánimo durante la realización de este trabajo: Guadalupe Martínez, Danara Cota, Fernanda Manriquez, Norman Castro, Carolina Rodríguez, Keila Martínez, Krupskaya Hidalgo, Jesús Antonio Rivera y Víctor Mathos. Por último y más importante, agradezco y dedico esta tesis a mis padres, Yolanda Albino y Abel Ramos, por su apoyo incondicional, alentarme a ser una mejor persona y darme todo lo que estuvo a su alcance.

Resumen

Resumen de la tesis de Fernanda Rubí Ramos Albino presentada como requisito parcial para la obtención de la Licenciatura en Biología. Ensenada, Baja California, México. Febrero de 2022.

Título de tesis: *Caracterización de las asociaciones de foraminíferos bentónicos del Pleistoceno tardío en un monte submarino de la Cordillera de Alarcón, Golfo de California.*

Resumen aprobado:



Directora

Dra. Gabriela de Jesús Rodríguez

Los foraminíferos bentónicos son un exitoso grupo de protistas distribuidos en todos los océanos y cuentan con un amplio registro fósil, por lo que son indicadores idóneos para realizar reconstrucciones paleoclimáticas y paleoecológicas del fondo oceánico. En el presente trabajo, se estudiaron las asociaciones de foraminíferos bentónicos del Pleistoceno Tardío en un monte submarino en la Cordillera de Alarcón al Sur del Golfo de California (Sitio D391-PC41L). En el intervalo estudiado, se reconocieron dos eventos climáticos, asociados a los ciclos glaciares-interglaciares que se presentaron durante el Pleistoceno. En el Último Glacial Máximo (Last Glacial Maximum, o LGM por sus siglas en inglés, ~25 a 19 ka) los casquetes de hielo y glaciares de montaña alcanzaron la extensión máxima territorial a nivel global, creando condiciones extremadamente frías y secas. Las consecuencias asociadas al LGM fueron cambios en la circulación oceánica, disminución de nutrientes, modificación de la solubilidad del CO₂, y disminución de la concentración de oxígeno en la mayoría de los océanos. El otro evento reconocido fue el Evento Heinrich 1 (H1, ~16.8 ka), que corresponde a una oscilación cálida en la que ocurrieron diversas descargas de icebergs en el océano Atlántico, y que pudieron tener implicaciones en el clima a escala global, incluyendo cambios en la circulación oceánica, salinidad, oxigenación de las aguas de fondo y disponibilidad de nutrientes.

La estructura de las asociaciones de foraminíferos bentónicos permitió hacer inferencias paleoambientales en la región sur del Golfo de California durante el Pleistoceno Tardío en condiciones oceanográficas muy particulares, como los patrones de circulación que se crean alrededor de los montes submarinos. La heterogeneidad y diversidad de las asociaciones de foraminíferos bentónicos fue alta, tal como se espera en montes submarinos, descendiendo ligeramente durante el evento LGM. Dominaron los taxones infaunales en el sitio Sitio D391-PC41L, ya que estos organismos viven enterrados en el sedimento y no se ven afectados por el tipo de corrientes asociados a los montes submarinos. La dominancia de taxones como *Bolivina* cf. *costata/tongi*, *Bolivina* cf. *striatula* y *Neowigerina hispida/Uvigerina spinosa* durante el LGM indicó un alto suministro de alimento al

fondo oceánico. En contraste, el aumento en abundancia de taxones como *Takayanagia delicata*, *Paralabamina* sp., y *Epistominella exigua multiloculata*, durante el intervalo H1, sugiere un descenso en la cantidad de alimento disponible con presencia de pulsos intermitentes de fitodetritus.

Abstract

Benthic foraminifera are a successful group of protists distributed across all the oceans with an extensive fossil record, making them useful tools for paleoclimatic and paleoecological reconstructions of the bottom of the ocean. Late Pleistocene benthic foraminiferal assemblages of a seamount in the Alarcon Ridge in the southern Gulf of California (Site D391-PC41L) are studied here. The studied sediments include two remarkable climatic cooling events during the Pleistocene. During the Last Glacial Maximum (LGM, ~25 to 19 kyrs), ice sheets and mountain glaciers reached the last global maximum, resulting in extremely cold and dry conditions. The consequences associated with the LGM are changes in ocean circulation, reduction in nutrients availability, perturbation of CO₂ solubility due to changes in temperature, and decreased oxygen concentration in most oceans. The Heinrich Event 1 (H1, ~16.8 kyrs) is associated with a warm oscillation, during which several iceberg discharges occurred in the Atlantic Ocean. These discharges have an effect on the climate at global scale, since they lead to changes in ocean circulation, salinity, bottom water oxygenation, and nutrients availability.

The analysis of structure and composition of benthic foraminiferal assemblages allowed to infer the paleoenvironmental conditions in the southern Gulf of California during the Late Pleistocene on a seamount, which is an unusual setting due to intensified currents over seamounts. The heterogeneity and diversity of benthic foraminifera were high, as expected for a seamount setting, and showed a slight decrease during the LGM. Infaunal taxa dominated at Site D391-PC41L, as these organisms live buried and are not affected by the type of currents associated with seamounts. The dominance of taxa such as *Bolivina* cf. *costata/tongi*, *Bolivina* cf. *striatula* and *Neovigerina hispida/Uvigerina spinosa* during the LGM indicate high food supply to the ocean floor. On the other hand, the increase in abundance of taxa such as *Takayanagia delicata*, *Paralabamina* sp. and *Epistominella exigua multiloculata* during the H1 interval suggests a decrease in the amount of food available with the presence of intermittent pulses of phytodetritus.

Índice

	Página
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
2.1 Foraminíferos bentónicos como indicadores climáticos.....	2
2.2 Pleistoceno	3
3. Descripción del área de estudio.....	5
4. Hipótesis	7
5. Objetivos	8
5.1 Objetivos generales	8
5.2 Objetivos específicos	8
6. Metodología	8
6.1 Muestras y clasificación taxonómica	8
6.2 Análisis cuantitativo	10
6.3 Análisis estadístico	11
6.4 Interpretación paleoecológica	12
7. Resultados	14

7.1 Foraminíferos bentónicos	14
7.2 Análisis clúster	16
7.3 Análisis de Correspondencia de Tendencias (Detrended Correspondence Analysis o DCA)	21
7.4 Eventos	22
7.5 Paleoprofundidad	24
8. Discusión	24
8.1 Foraminíferos bentónicos en montes submarinos	24
8.2 Inferencias paleoecológicas	27
8.2.1 Clúster A	27
8.2.2 Clúster B.....	28
8.2.3 Clúster C	28
8.3 Interpretación paleoecológica	29
8.4 Eventos climáticos	30
8.4.1 LGM	30
8.4.2 H1	31
9. Conclusión	33
10. Bibliografía	35
11. Anexos	53

Lista de figuras

- Figura 1. Mapa batimétrico del sur del Golfo de California y marco tectónico.
- Figura 2. A) Mapa de la trayectoria seguida por el ROV Doc Ricketts durante la inmersión D391 en el monte submarino asociado a la Cordillera de Alarcón durante la expedición oceanográfica 2012 en la porción sur del Golfo de California. B) Foto del núcleo D391-PC41L.
- Figura 3. Modelo TROX
- Figura 4. Índices de diversidad (Fisher- α) y heterogeneidad (Shannon-Weaver) de las asociaciones de foraminíferos bentónicos del núcleo D391-PC41L comparados con las abundancias relativas de taxones calcáreos-aglutinados, morfogrupos infaunales-epifaunales, y grupos supragenéricos (bulimínidos *s.l.*, bulimínidos *s.s.*, bolivínidos *s.s.*).
- Figura 5. Resultados del análisis clúster en modo R. Se identifican tres clústeres principales (A, B y C) y tres subclústeres (B1, B2 y B3) a partir de las abundancias relativas de las especies de foraminíferos bentónicos del núcleo D391-PC41L.
- Figura 6. Abundancias relativas de los 39 taxones más comunes (>2%) y de los clústeres.
- Figura 7. Resultados del análisis DCA en modo R (a) y modo Q (b) a partir de las abundancias relativas de las especies de foraminíferos bentónicos del núcleo D391-PC41L.

Figura 8 Gráfico de dispersión de número de ejemplares contra número de especies para corroborar la representatividad de las muestras.

Lista de tablas

Tabla I Rango de profundidad de foraminíferos bentónicos comunes en el núcleo D391-PC41L.

Tabla II Datos de abundancias relativas (especies, infaunales-epifaunales, calcáreos-aglutinados, grupos bulimínidos *s.s*, buliminidos *s.l* y bolivinidos *s.s* y clúster a, b y c) e índices estadísticos (índice de Fisher e índice de Shannon-Weaver).

Tabla III. Lista taxonómica de las especies comunes.

Tabla IV Tabla de preferencias ecológicas.

Tabla V Grupos supragenéricos basados en las características morfológicas, los géneros remarcados son aquellos encontradas en las muestras.

1. Introducción

A lo largo del tiempo geológico, la Tierra ha experimentado diversos eventos que han modificado las condiciones climáticas en el planeta, incluyendo intervalos de enfriamiento masivo o calentamiento extremo, los cuales pueden estar asociados con la geometría orbital de la Tierra y/o la tectónica de placas (e.g., Zachos et al., 2001; Westerhold et al., 2020). A pesar de que se conoce la existencia de estos eventos, aún falta mucho por entender con relación a la respuesta de los diversos ecosistemas a estos cambios climáticos y, de esta manera, tener las bases para proyectar las modificaciones que la variabilidad climática actual puede ocasionar en dichos ecosistemas. Además, el estudio del clima en la actualidad requiere (frecuentemente) contar con un punto de comparación con escenarios pasados. Por ende, el estudio de los ecosistemas y las condiciones climáticas es un tema de mucha relevancia en la actualidad, el cual se puede llevar a cabo mediante reconstrucciones paleoambientales y paleoecológicas.

En la naturaleza existen diversos archivos climáticos que guardan el registro del clima en la Tierra, tanto en medios terrestres como marinos (Hays, 2009). Entre ellos se encuentran por ejemplo los anillos de crecimiento de los árboles, sedimentos marinos y lacustres, capas de hielo o glaciares, espeleotemas, rocas sedimentarias, y corales. De estos archivos se obtienen, a su vez, diferentes indicadores climáticos o *proxys* tales como la anchura de los anillos (e.g., Hughes et al., 1982), isótopos estables (e.g., Thomas y Shackleton, 1996), elementos traza (e.g., Elliot et al., 2009), biomarcadores (e.g., Wang et al., 2012), microfósiles (e.g., Arreguín-Rodríguez et al., 2016, 2018), composición de los sedimentos (e.g., Conley y Schelske, 2002).

Cada uno de estos indicadores tienen sus ventajas y desventajas, y por ende, la elección dependerá de la finalidad de cada estudio, la región geográfica, el tiempo geológico que se quiera estudiar y la disponibilidad de material o presupuesto.

En el presente trabajo se estudian las asociaciones de foraminíferos bentónicos (microfósiles) del Pleistoceno Tardío, obtenidos a partir de un núcleo de sedimento marino colectado en un monte submarino de la Cordillera de Alarcón, en el sur del Golfo de California. Debido al número relativamente bajo de este tipo de estudios en el Golfo de California (e.g., Murray, 2014), este trabajo representa una oportunidad para contribuir al estudio y el conocimiento de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en dicha localidad. El Pleistoceno Tardío fue una etapa caracterizada por una gran variabilidad climática, por lo que se espera que estos microfósiles reflejen dichas condiciones.

2. Antecedentes

2.1 Foraminíferos bentónicos como indicadores climáticos

Los foraminíferos bentónicos son un exitoso grupo taxonómico de protistas de gran abundancia y diversidad que habitan en todos los océanos. Se encuentra sobre el sedimento y dentro de él a una profundidad de 1-10 cm, formando microhábitats que se van agotando de oxígeno a medida que se alejan de la superficie (Jorissen et al., 2007). Estos organismos cuentan con un amplio registro fósil, encontrándose desde el Cámbrico, en contraste con los foraminíferos planctónicos cuyos registros se encuentran a partir del Jurásico (Sen Gupta, 2002).

La primera aplicación práctica de los foraminíferos bentónicos ocurrió a principios del siglo XX, cuando Cushman (1928) los utilizó como marcadores bioestratigráficos. Sin embargo, actualmente se sabe que el uso de estos organismos en bioestratigrafía no es óptimo debido a su lenta tasa evolutiva (Boltovskoy, 1980). Desde hace algunos años, y en la actualidad, los foraminíferos bentónicos son ampliamente utilizados para determinar paleobatimetrías y diversos parámetros fisicoquímicos, tales como la saturación de carbonato, salinidad, concentración de oxígeno, flujo de materia orgánica, patrones hidrodinámicos (Jorissen et al., 1995, 2007), y además son sensibles a variaciones climáticas (Cannariato et al., 1999). De tal manera que estas aplicaciones, aunadas a la fácil preservación en el registro fósil, abundancia y amplia distribución geográfica, hace que los foraminíferos bentónicos sean indicadores (*proxys*) idóneos para realizar reconstrucciones paleoclimáticas y paleoecológicas del fondo oceánico (p. ej., Holbourn et al., 2013).

2.2 Pleistoceno

El Pleistoceno es una época reciente del tiempo geológico comprendida entre los ~2.58 Ma y 11.7 ka (International Commission on Stratigraphy, 2021), marcando el inicio del periodo Cuaternario. Esta época se caracteriza principalmente por oscilaciones climáticas asociadas a ciclos glaciares (i.e., presencia-ausencia de grandes casquetes glaciares), entre cuyos efectos se encuentran cambios en el nivel del mar, dependiendo del avance o retroceso de los glaciares (Monroe y Wicander, 2014). Por ejemplo, el último periodo glacial propició la expansión de las capas de hielo continental (Lambeck et al., 2002; Liu et al., 2011), cubriendo hasta el 30% de la superficie terrestre, siendo mayor a la actual (Monroe y Wicander, 2014), y

ocasionando un descenso en el nivel del mar de hasta 120-135 m con respecto al nivel actual (Peltier y Fairbanks, 2006). Durante este último periodo glacial ocurrió el evento conocido como “Último Glacial Máximo” y los eventos Heinrich.

Durante el Último Glacial Máximo (LGM por sus siglas *Last Glacial Maximum* en inglés, ~25 a 19 ka), las capas de hielo polares y los glaciares de montaña a nivel global alcanzaron su máximo en extensión territorial (Clark et al., 2009). Fue un período de condiciones extremadamente frías y secas; los océanos albergaban en general los mismos organismos que los océanos modernos pero con la diferencia de una disminución global del nivel del mar de ~120 metros con respecto al nivel actual (Peltier, 2007). Las causas que propiciaron este evento fueron la disminución del 30% en la concentración de CO₂ en la atmósfera en comparación con la era pre- industrial (Neftel et al., 1982; Galbraith y Skinner, 2020). Algunas de las consecuencias asociadas al LGM fueron cambios en la circulación oceánica, disminución de nutrientes y transferencia vertical de materia orgánica, además que la temperatura modificó la solubilidad del CO₂ (Galbraith y Skinner, 2020). También dio lugar a la disminución de la concentración de oxígeno en la mayoría de los océanos, especialmente por debajo de los 1,400 m de profundidad (Hoogakker et al., 2015; McCorkle y Emerson, 1988; Galbraith y Skinner, 2020).

Los eventos Heinrich (Heinrich et al., 1988) hacen referencia a periodos de tiempo en los que ocurrieron repentinas fusiones de icebergs en el océano, y se clasifican de H1 a H6 según la escala de tiempo (Bond et al., 1993), siendo el H6 el más antiguo (66 ka) y el H1 el más reciente (16.8 ka). Dichas fusiones fueron provocadas por la circulación termohalina que propició el transporte de aguas más

cálidas y saladas, provenientes de zonas ecuatoriales hacia el Atlántico Norte (Little et al., 1997). Estas descargas de icebergs promovieron la formación de la masa de agua profunda del Atlántico Norte caracterizada por la alta concentración salina y, a su vez, los eventos Heinrich pudieron tener implicaciones en el clima a escala global (Waelbroeck et al., 2001; Goldstein y Hemming, 2003), como cambios en la circulación oceánica, salinidad y de la oxigenación de las aguas de fondo (Tamburini et al., 2002; Hoogakker et al., 2016; Rodríguez-Tovar et al., 2020).

3. Descripción del Área de Estudio

El Golfo de California (GC) es una cuenca estructural cuyo origen está relacionado con el proceso de separación de la península de Baja California del margen continental en el oeste de México, derivado del movimiento relativo de las placas Norteamérica y Pacífico (ver Figura 1b).

El GC comenzó a formarse hace 12 ma, a partir de un *rift* de margen continental y ha evolucionado rápidamente (en la escala del tiempo geológica) en comparación con otros sistemas de *rift* continentales (Stock y Hodges, 1989, Umhoefer, 2011, Fletcher et al., 2007). El eje del GC, el cual representa la frontera de placas Norteamericana y del Pacífico, está actualmente caracterizado por un sistema de fallas transformantes escalonadas y con sentido de cizalla lateral derecha, las cuales conectan en sus extremos un conjunto de cuencas de tipo *pull-apart*. Muchas de estas cuencas han evolucionado con deformación progresiva hasta romper la corteza continental y generar nuevo piso oceánico. El primer registro de la primera cuenca donde dio lugar el rompimiento de la corteza continental del GC fue en la cuenca de Guaymas y se sugiere que sucedió hace 6 ma (Lizarralde et al., 2007).

A partir de los 6 ma, otras cuencas tales como la Cordillera de Alarcón han registrado de manera similar el rompimiento de la corteza continental y la formación de nuevo piso oceánico. Se encuentra localizada en el extremo sur del GC delimitada por las fallas transformes Pescadero y Tamayo. La Cordillera de Alarcón es probablemente uno de los mejores ejemplos de un centro de dispersión oceánica relacionado con la apertura del GC, y el cual registra 350 km de extensión cortical antes de la expansión del piso marino hace 2-4 ma, produciendo 135 km de corteza oceánica (Lizarralde et al., 2007; Clague et al., 2018; Ramírez, 2018).

El magmatismo relacionada con el proceso de dispersión oceánica a lo largo del GC ha generado la formación de una serie de montes submarinos localizado en la porción noroeste del eje neovolcánico. Asociado a dicha cordillera se encuentra una serie de montes submarinos distribuidos a lo largo de la porción noroeste (Goffredi et al., 2017). Los montes submarinos son lugares en los que, por el tipo de corrientes (rápidas y variables) y topografía compleja, hay una gran interacción con el fito y zooplancton. Por ejemplo, a través del flujo vertical enorme se provee de nutrientes a la zona fótica, aumentando la productividad primaria (Clark et al., 2010); además, tienen gran influencia en la circulación oceánica y termohalina y mejoran la bioproductividad. El impacto de los montes submarinos en la circulación oceánica es de importancia geológica porque afecta las tasas de sedimentación, la distribución de especies e influyen en las interpretaciones paleoecológicas (Roden, 1987). Estos montes submarinos, localizados fuera del eje neovolcánico, han preservado por miles de años sedimentos marinos en los que se pueden encontrar microfósiles (por

ejemplo, foraminíferos bentónicos), lo que permite hacer reconstrucciones paleoclimáticas y paleoecológicas.

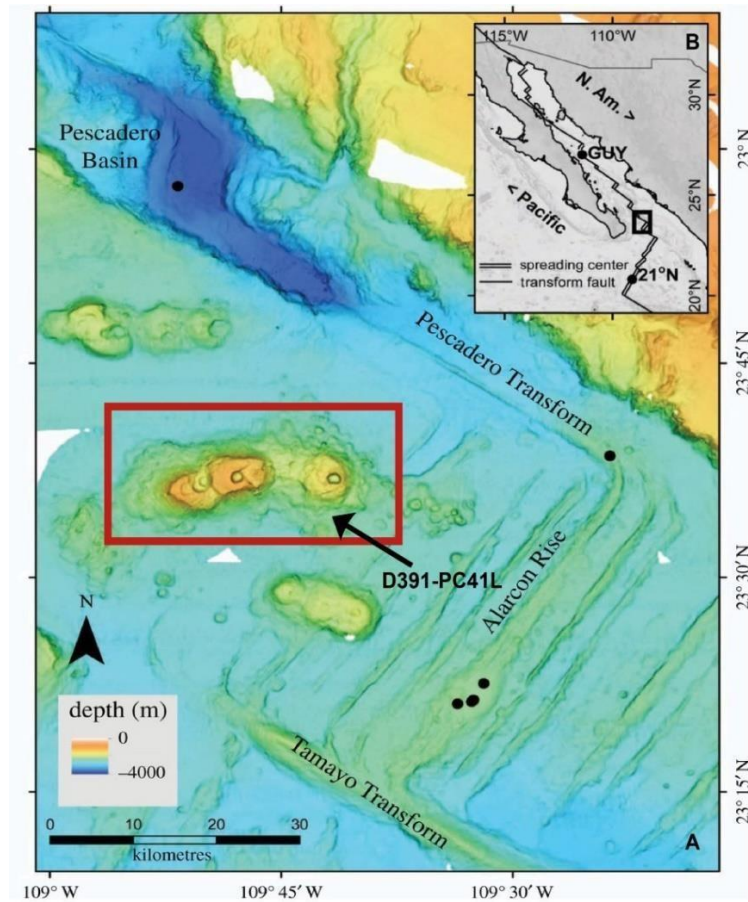


Figura 1. A) Mapa batimétrico del sur del Golfo de California (tomado de Goffredi et al., 2017), se muestra la ubicación de la cuenca de Pescadero y la Cordillera de Alarcón así como las fumarolas (*seeps*) de la falla transforme de Pescadero (puntos negros) y en el recuadro rojo se muestran los montes submarinos asociados a la Cordillera de Alarcón. B) Marco tectónico del Golfo de California que muestra la localización del área de estudio.

4. Hipótesis

La estructura de las asociaciones de foraminíferos bentónicos permitirá hacer inferencias respecto a las condiciones paleoambientales predominantes en la región sur del Golfo de California durante el Pleistoceno Tardío.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Analizar las asociaciones de foraminíferos bentónicos del Pleistoceno Tardío de un monte submarino asociado a la Cordillera de Alarcón en el sur del Golfo de California.

5.2 Objetivos específicos

- Realizar la interpretación paleoecológica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos a partir de indicadores como abundancias relativas de especies y morfogrupos, proporción de taxones aglutinados/calcáreos y la relación entre taxones epifaunales e infaunales.
- Determinar perturbaciones en el ambiente con base en los índices de diversidad (Fisher- α) y heterogeneidad (Shannon-Weaver).

6. Metodología

6.1 Muestras y clasificación taxonómica

Se analizó la fracción >63 micras de nueve muestras extraídas a partir del núcleo de sedimento marino D391-PC41L. Cada muestra corresponde a una profundidad por debajo de la cima del núcleo (es decir, por debajo del fondo oceánico): 0.5-1.5 cm, 8-9 cm, 16-17 cm, 23-24 cm, 35-37 cm, 46-47 cm, 55-56 cm y 68.5-69.5 cm. Dicho núcleo fue recolectado en el cráter de un monte submarino durante la expedición oceanográfica a la Cordillera de Alarcón en la parte sur del Golfo de California realizada por el Instituto de Investigaciones del Acuario de la Bahía de Monterey (MBARI), en el año 2012 (Figura 2). De acuerdo a la datación

con Carbono-14, las muestras colectadas de dicho núcleo tienen una edad entre 19,000 y 37,000 años aproximadamente (D. Clague, comunicación personal, febrero 2021), por lo que corresponden al Pleistoceno Tardío (International Commission on Stratigraphy, 2021)

La revisión sistemática y exhaustiva del sedimento permitió la extracción de ~200 ejemplares de foraminíferos bentónicos en promedio de cada una de las muestras estudiadas (ver Anexos, tabla II), excluyendo los valores máximos y mínimos obtenidos (muestras 0.5-1.5 cm y 8-9 cm, respectivamente). Para corroborar la representatividad de las muestras, se graficó el número de ejemplares contra el número de especies identificadas en cada caso (ver anexos, figura 8) siguiendo el procedimiento de Thomas (1985). Si bien la autora señala que a partir de los 200 ejemplares deja de haber dependencia entre número de ejemplares y especies encontradas, en este caso se observa que el número de especies en muestras con 98 ejemplares es semejante al de aquellas con mayor número de ejemplares (e.g., 281 ejemplares, figura 8). Por consiguiente, con excepción de la muestra 8-9 cm (muy pocos ejemplares y dependencia entre número de ejemplares y especies), todas las demás muestras fueron consideradas para los análisis cuantitativos y estadísticos.

Los ejemplares extraídos se colocaron en una celdilla micropaleontológica para su registro permanente e identificación taxonómica. En la medida de lo posible, cada ejemplar se identificó a nivel especie siguiendo la clasificación genérica de Loeblich y Tappan (1988), y los conceptos taxonómicos de Van Morkhoven et al. (1986) y Arreguín-Rodríguez et al. (2018). En total se reconocieron 96 taxones

distintos, de los cuales 20 ejemplares se identificaron a nivel género y 76 a nivel de especie. Hubo algunos casos en los que no se logró definir con certeza el nombre de la especie, pero si se diferenciaron de otros ejemplares del mismo género; y en casos muy excepcionales se quedaron algunos taxones indeterminados (ver anexos, tabla II).

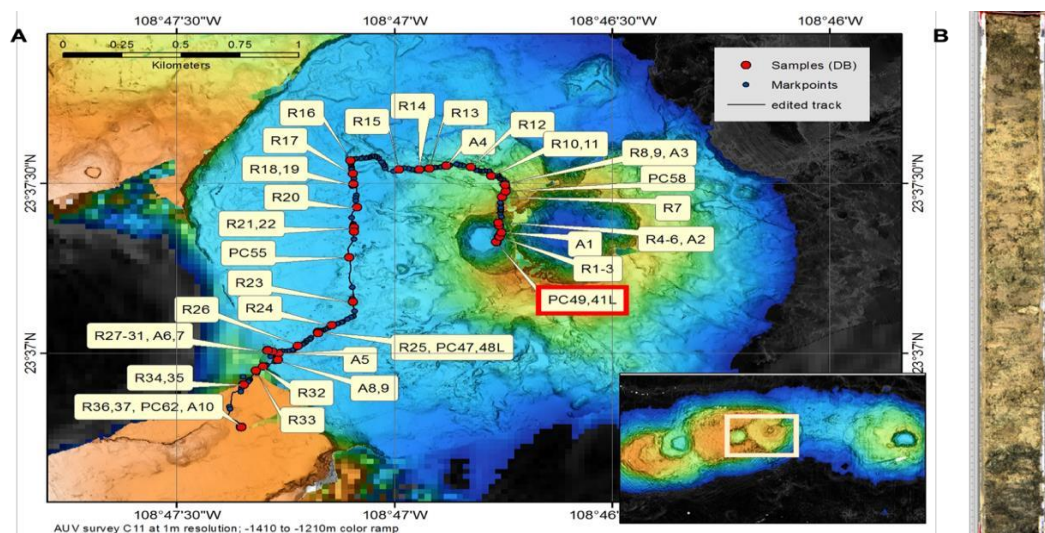


Figura 2. A) Mapa de la trayectoria seguida por el ROV *Doc Ricketts* en el monte submarino asociado a la Cordillera de Alarcón durante la expedición oceanográfica 2012 en la porción sur del Golfo de California, y en donde se muestra la localización exacta del núcleo D391-PC41L (recuadro rojo). B) Foto del núcleo D391-PC41L a partir del cual se obtuvieron las muestras para el presente estudio. Ambas imágenes fueron proporcionadas por David Clague, líder de la expedición oceanográfica. Otras abreviaturas: R = muestras de roca; A = Animales y/o muestras de organismos.

6.2 Análisis cuantitativo

A partir de los ejemplares extraídos de cada muestra, se calcularon las abundancias relativas (porcentajes) de cada especie y de grupos supragenéricos como bulimínidos *sensu stricto* (*s.s.*), bolivínidos *s.s.* y bulimínidos *sensu lato* (*s.l.*). Dentro del grupo de los bulimínidos *s.s.* se incluyen los géneros de la superfamilia Buliminacea, y en el de los bolivínidos *s.s.* los géneros de la superfamilia Bolvininacea; mientras que el grupo bulimínidos *s.l.* comprende ambos grupos sugragenéricos (bulimínidos *s.s.* y bolivínidos *s.s.*), así como los géneros de las

superfamilias Loxostomatacea, Turrilinacea, Fursenkoinacea, Pleurostomellacea y Stilostomellacea, y algunos otros géneros más (e.g., *Cassidulina*, *Globocassidulina*) de acuerdo a lo sugerido por Sen Gupta (2002) y Alegret y Thomas (2013).

Se calcularon índices de diversidad y heterogeneidad de las asociaciones de foraminíferos bentónicos, incluyendo el índice de Fisher- α y el de Shannon-Weaver. El índice de Fisher (Fisher et al., 1943) es un modelo de abundancia que correlaciona el número de individuos con el número de especies. Es un indicador independiente de la escala y se calcula mediante la fórmula $S = a * \ln(1+n/a)$, donde S es el número de taxones o riqueza, n el número de individuos y a el alfa de Fisher. Por otro lado, el índice de heterogeneidad de Shannon-Weaver (Shannon, 1948; Hayek y Buzas, 1997) representa la abundancia como la uniformidad de las especies presentes. Se calcula con la fórmula $H' = -\sum p_i \ln p_i$, donde p_i es la proporción de individuos que se encuentran por especie.

6.3 Análisis estadísticos

Se aplicaron análisis multivariados (clúster y DCA) utilizando el software PAST (Hammer et al., 2001) y se construyó una base de datos con las especies de foraminíferos bentónicos, identificados previamente, que presentaron una abundancia mayor a 2% en al menos una muestra. De esta forma se excluyeron aquellas especies que se consideraron como raras (1-2%) o muy raras (<1%) debido a su bajo porcentaje de abundancia, y que por ello no representan un valor ecológico significativo. Además, al usar solo aquellas especies con abundancia relativa común

se evita emplear especies contaminantes; es decir, especies que no correspondan a ese periodo de tiempo, pero que se encuentran ahí por posible contaminación durante el muestreo o procesado de las muestras. En total se utilizaron 39 especies (ver anexos, tabla III) para realizar el análisis clúster y el DCA, tomando en cuenta las especificaciones anteriores.

El análisis clúster jerárquico en modo R (especies) tiene como fin agrupar especies que presenten una distribución similar en el intervalo estudiado. Mientras que los análisis DCA en modo R (especies) y Q (muestras) ayudan a identificar patrones en la distribución de foraminíferos bentónicos que pudieran estar asociados a variables paleoambientales.

6.4 Interpretación paleoecológica

Para la interpretación paleoecológica se estimaron algunos *proxys* (indicadores) basados en las características de las asociaciones, tales como la proporción de taxones aglutinados vs calcáreos y de epifaunales vs infaunales. El primer indicador es una medida cualitativa de la saturación del carbonato en el fondo oceánico, el cual toma como premisa el hecho que las especies aglutinadas son resistentes a la disolución del carbonato de calcio. De tal manera que se sugiere que un aumento en la abundancia de los taxones aglutinados puede implicar un aumento en la corrosividad del carbonato.

La proporción entre taxones epifaunales e infaunales se considera un indicador de los niveles de oxígeno y de las condiciones tróficas en el fondo oceánico de acuerdo con el modelo TROX, propuesto por Jorissen et al. (1995, 2007). De acuerdo con este modelo, un dominio de taxones infaunales sugiere un aporte elevado de alimento y/o baja disponibilidad de oxígeno (condiciones eutróficas); mientras que un mayor porcentaje de taxones epifaunales implica bajos niveles tróficos y buena oxigenación (condiciones oligotróficas; Figura 3). Para poder emplear este modelo, se asignó el microhábitat (infaunal o epifaunal) a cada especie, para lo cual se siguieron los criterios de Corliss (1985, 1991) y Rathburn y Corliss (1994) que consideran la morfología de las conchas. De acuerdo con estos autores, los taxones epifaunales son aquellos que presentan conchas trocoespiraladas plano- y biconvexas, planiespiraladas biconvexas, redondeadas y aplanadas, tubulares, con forma de hoja, o con enrollamiento miliolido; mientras que los taxones infaunales suelen presentar conchas cilíndricas, esféricas, ovoidales, globosas uniloculares, planiespiraladas redondeadas, o formas estreptoespiraladas. Sin embargo, cabe destacar que pueden existir excepciones a estas pautas (Buzas et al., 1993; Jorissen, 1999), y en esos casos deberán considerarse las particularidades de dichas especies.

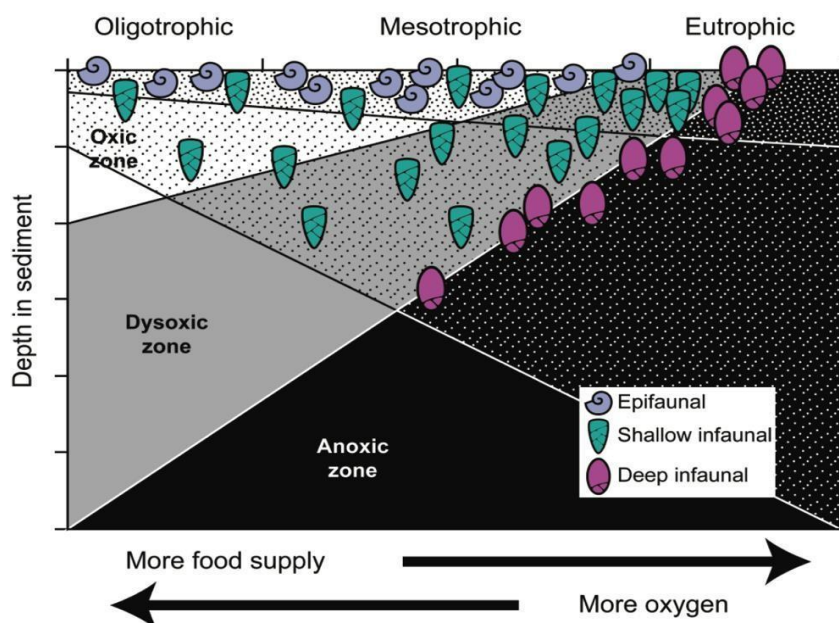


Figura 3. Modelo TROX (redibujado de Van der Zwaan et al., 1999 y tomado de Arreguín- Rodríguez, 2017).

7. Resultados

7.1 Foraminíferos bentónicos

La preservación de los ejemplares es generalmente buena en todas las muestras estudiadas, ya que la mayoría de las conchas se encuentran completas y con la ornamentación visible. La diversidad de las asociaciones de foraminíferos bentónicos es moderada a lo largo de todo el intervalo estudiado (índice de Fisher- α promedio = ~ 15 ; media de 39 especies por muestra) y el índice de heterogeneidad de Shannon-Weaver oscila entre 2.3 y 3.2 (valores promedio de ~ 2.8 ; Figura 4, Tabla II).

Los taxones calcáreos dominaron marcadamente en todas las muestras analizadas (>99%), siendo representados principalmente por el grupo de los bulimínidos *s.l.* (~>50% en todo el intervalo estudiado, Figura 4, Tabla II), y dentro de este grupo, los bolivínidos *s.s.* son los más abundantes, sobre todo en la parte media del intervalo estudiado (muestras 23-24 cm a 55-56 cm). Los taxones aglutinados solo fueron encontrados en la muestra más reciente (muestra 0.5-1.5 cm), siendo el taxón más abundante *Trochammina* sp. (abundancia relativa <1%, Tabla II).

Con respecto al modo de vida de los foraminíferos bentónicos, se encontró que los taxones infaunales dominaron (abundancia relativa varía entre 57-91%, media ~75%) sobre los epifaunales (abundancia relativa oscila entre 8-41%, media ~24%) en todo el intervalo estudiado (Figura 4, Tabla II). Las especies infaunales *Cassidulina teretis* (abundancia ~11.9%, máxima ~22.1%), *Cassidulina laevigata* (abundancia media ~8.5%, máxima ~16.3%), *Takayanagia delicata* (abundancia media ~8.2%, máxima ~38%), *Bolivina cf. costata/tongi* (abundancia media ~7.4%, máxima ~22.8), y *Bolivina cf. striatula* (abundancia media ~6.2%, máxima ~29.5%) son las más abundantes: mientras que *Buccella* sp. 1 (abundancia media ~9.1%, máxima ~16.3%), *Paralabamina* sp. (abundancia media ~5.3%, máxima ~13.9%), *Cibicidoides cf. wuellerstorfi* (abundancia media ~2.8%, máxima ~6.7%), *Anomalinoidea alazanensis* (abundancia media ~2.8, máxima ~5.7%) y *Buccella* sp. 2 (abundancia media ~2.4, máxima ~2.4, máxima ~4.3) son las especies epifaunales más abundantes.

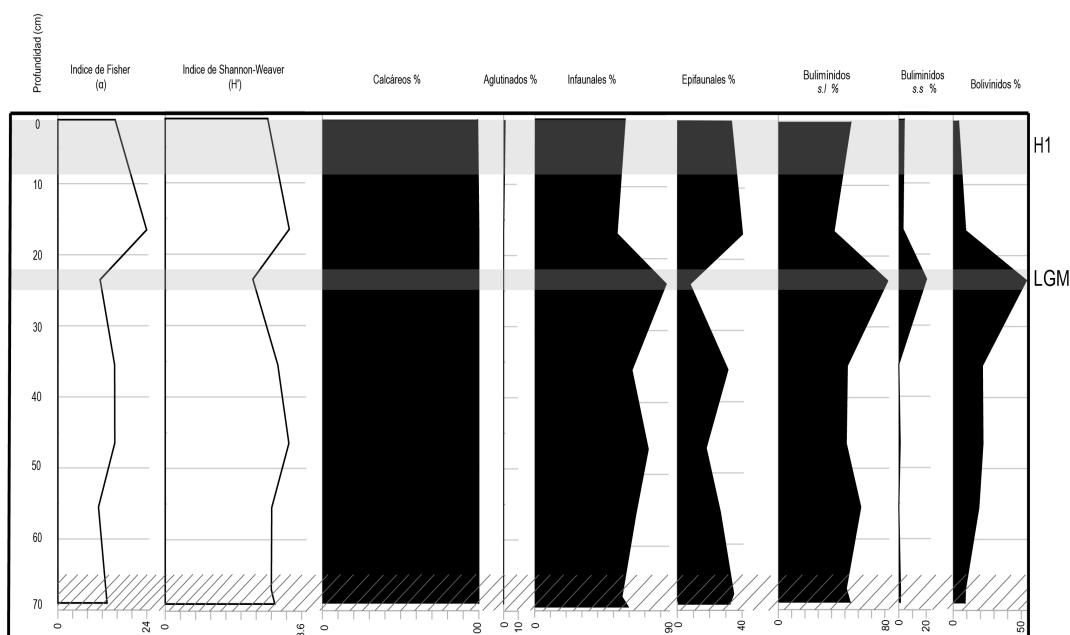


Figura 4. Índices de diversidad (Fisher- α) y heterogeneidad (Shannon-Weaver) de las asociaciones de foraminíferos bentónicos del núcleo D391-PC41L comparados con las abundancias relativas de taxones calcáreos-aglutinados, morfogrupos infaunales-epifaunales, y grupos supragenéricos (bulimínidos *s.l.*, bulimínidos *s.s.*, bolivínidos *s.s.*). Las áreas marcadas con patrón de líneas diagonales indican las muestras que presentan edades que no coinciden con su posición estratigráfica dentro del intervalo estudiado; y las áreas sombreadas con gris señalan la posición de los eventos H1 (evento Heinrich 1) y LGM (Último Glacial Máximo) de acuerdo a la edad de los mismos (en el Anexo 1 se presenta la datación por radiocarbono).

7.2 Análisis clúster

En este análisis se utilizó la abundancia relativa de los foraminíferos bentónicos más comunes (>2%), lo que desplegó tres clústeres (A, B y C), que agruparon a los taxones con distribución similar (Figura 5).

- Clúster A (*Pleurostomella acuta* – *Anomalinoidea alazanensis*) está conformado principalmente por especies infaunales (excepto *A. alazanensis*). Se caracteriza por un incremento marcado en su abundancia relativa en la

muestra 23-24 cm. Los taxones más comunes son *B. cf. costata/tongi*, *Bolivina cf. striatula*, *A. alazanensis* y *Neouvigerina hispida/Uvigerina spinosa* (Figura 6).

- Clúster B (*Cibicidoides cf. wuellerstorfi* - *Cassidulina teretis*) consiste en especies tanto infaunales como epifaunales, y está compuesto por tres subclústeres (B1, B2 y B3; Figura 5). Los tres subclústeres disminuyen marcadamente en la muestra 23-24 cm, pero se diferencian entre sí de acuerdo a la abundancia relativa que presentan las especies que los conforman tanto por debajo como por encima de dicha muestra (Figura 6). El subclúster B1 muestra una abundancia ligeramente mayor en el intervalo superior (por encima de la muestra 23-24 cm) con respecto al intervalo inferior (previo a la muestra 23-24 cm), y sus especies más abundantes son *C. cf. wuellerstorfi* y *Lagena sp. 1*. En el subclúster B2, la abundancia relativa de las especies que lo integran es mayor en la parte inferior (por debajo de la muestra 23-24 cm) y tras el descenso en la muestra 23-24 cm, los valores de abundancia se mantienen bajos. *Bolivina hootsi*, *Oridorsalis umbonatus* y *Palliolatella sp. 1* son las especies más comunes en el subclúster B2. La abundancia relativa del subclúster B3 es marcadamente superior a la de los otros subclústeres (B1 y B2), siendo mayor en el intervalo inferior (por debajo de la muestra 23-24 cm). Las especies más abundantes en el subclúster B3 son *Buccella sp. 1*, *C. teretis* y *C. laevigata*.

- Clúster C (*Takayanagia delicata* - *Paralabamina* sp.) está integrado principalmente por taxones epifaunales (excepto *T. delicata* y *Globocassidulina subglobosa*), y se distingue por presentar un aumento de abundancia relativa muy marcado hacia la parte superior del intervalo estudiado (posterior a la muestra 23-24 cm). Las especies más abundantes son *T. delicata* y *Paralabamina* sp. (Figura 6),

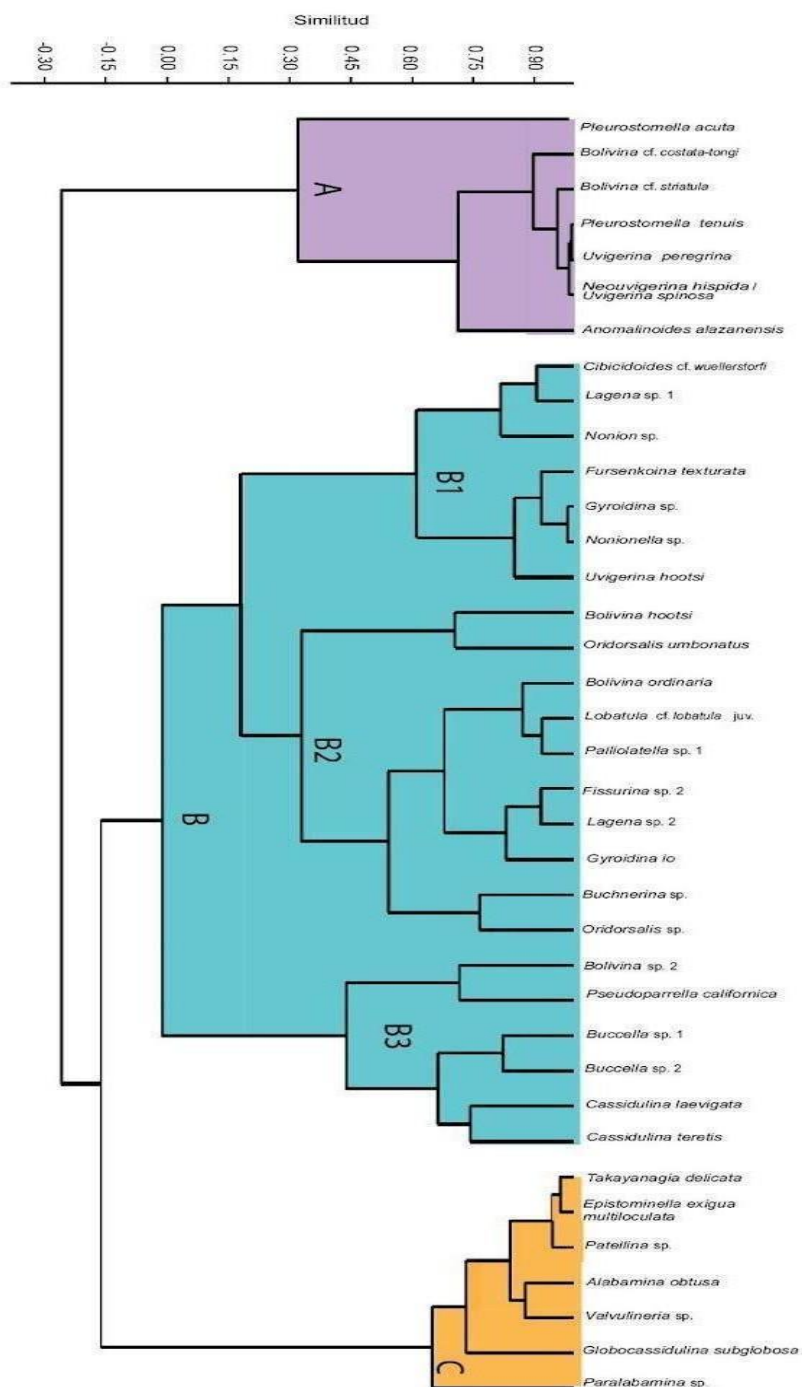


Figura 5. Resultados del análisis clúster en modo R. Se identifican tres clústeres principales (A, B y C) y tres subclústeres (B1, B2 y B3) a partir de las abundancias relativas de las especies de foraminíferos bentónicos del núcleo D391-PC41L.

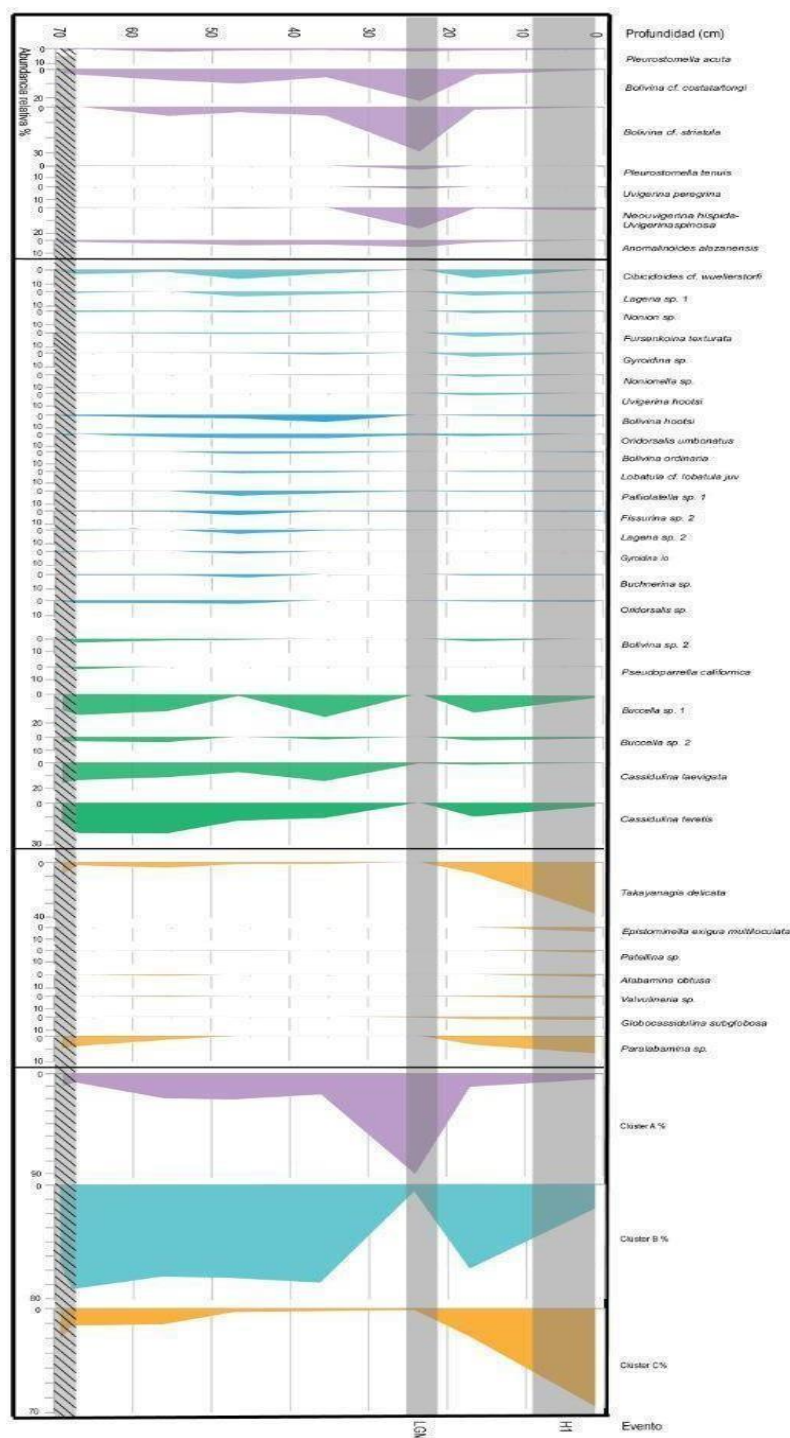


Figura 6. Abundancias relativas de los 39 taxones más comunes (>2%) y de los clústeres. Las áreas marcadas con patrón de líneas diagonales indican las muestras que presentan edades que no coinciden con su posición estratigráfica dentro del intervalo estudiado; y las áreas sombreadas con gris señalan la posición de los eventos H1 (evento Heinrich 1) y LGM (Último Glacial Máximo) de acuerdo a la edad de los mismos (en la Tabla II de la sección Anexos se presenta la datación por radiocarbono).

7.3 Análisis de Correspondencia de Tendencias (Detrended Correspondence Analysis o DCA)

Para el análisis DCA tanto en modo R (especies, Figura 7a) como en modo Q (muestras, Figura 7b), se utilizó la misma base de datos de foraminíferos bentónicos que para el análisis clúster. En el DCA en modo R se observa que las especies que conforman el clúster A están ubicadas en valores altos a lo largo del eje 1 (eje horizontal). El clúster B es el que presenta mayor número de especies localizadas en valores medios sobre el eje 1 y distribuidas a lo largo del eje 2 (eje vertical). Los subclústeres B1 y B2 están ubicados en valores medios a altos sobre el eje 2, diferenciándose entre sí porque las especies del subclúster B2 se encuentran en valores ligeramente más altos a lo largo del eje horizontal; y el subclúster B3 está ubicado en valores medios del eje 1 (similares a los del subclúster B1), pero en valores marcadamente más bajos a lo largo del eje vertical. Por otro lado, las especies del clúster C están ubicadas en los valores más bajos a lo largo del eje 1 y valores medios sobre el eje 2.

En general, en el DCA modo R (Figura 7b) no se observaron patrones significativos. La mayoría de las muestras se encuentran en valores medios con respecto al eje horizontal (excepto las muestras 0.5-1.5 cm y 23-24 cm) y distribuidas a lo largo del eje vertical. La muestra 0.5-1.5 cm, que corresponde al evento H1 (ver Sección 7.4), se localiza en los valores más bajos del eje 1 y valores medios en el eje 2. Por otro lado, la muestra 23-24 cm, que corresponde al evento LGM (ver Sección 7.4), está ubicada en los valores más altos del eje 1 y valores medios sobre el eje 2.

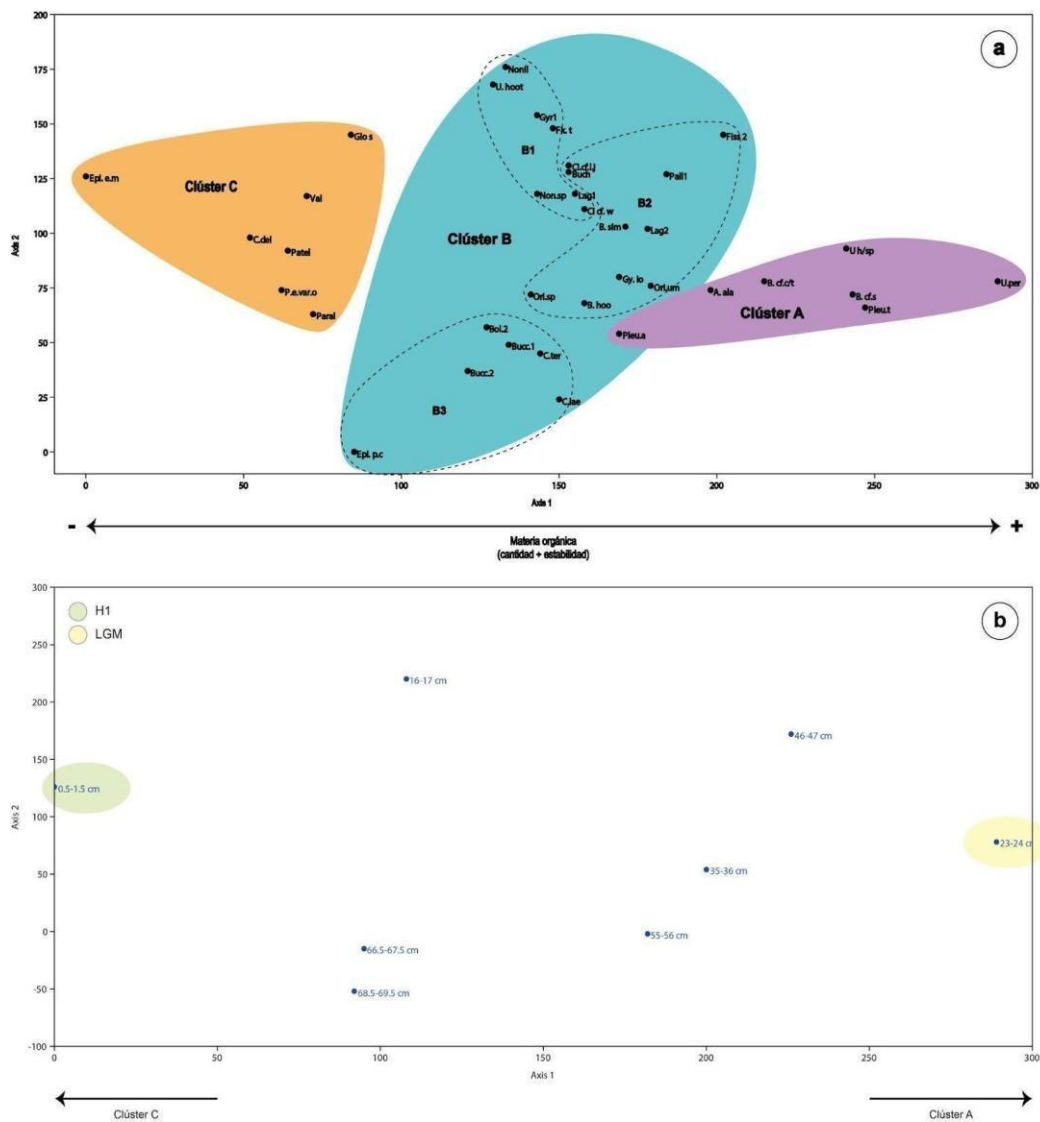


Figura 7. Resultados del análisis DCA en modo R (a) y modo Q (b) a partir de las abundancias relativas de las especies de foraminíferos bentónicos del núcleo D391-PC41L.

7.4 Eventos

De acuerdo a la datación por radiocarbono (^{14}C) de las muestras estudiadas (ver anexos, Tabla II), las muestras 0.5-1.5 y 8-9 cm coinciden con el evento H1

(16.8 ma, Bond et al., 1992; 1993) mientras que la muestra 23-24 cm es contemporánea al evento LGM (25 a 19 ma; Clark et al., 2009). Las asociaciones de foraminíferos bentónicos reflejan variaciones evidentes en la abundancia relativa de las especies durante el LGM, así como también una disminución en la diversidad y heterogeneidad. Durante el Último Glacial Máximo notablemente se observa el mayor pico en la abundancia de los taxones infaunales, bulimínidos (*s.l.* y *s.s.*), bolivínidos *s.s.*, y de las especies del clúster A (Figuras 4 y 6). Las especies del clúster B muestran un descenso abrupto en su abundancia relativa durante dicho evento, y las especies del clúster C empiezan a aumentar su abundancia posterior al LGM, alcanzando su máxima abundancia en el evento H1. Aunado a esto, en el intervalo correspondiente al evento H1 se observan los porcentajes más bajos de los clústeres A y B de toda la sección estudiada (Figura 6), y los valores de diversidad y heterogeneidad muestran una tendencia decreciente (Figura 4). Sin embargo, cabe destacar que, debido a la resolución de muestreo, es difícil evaluar si las tendencias observadas están asociadas puntualmente al evento H1.

La muestra 8-9 cm se encuentra dentro del intervalo correspondiente al evento H1, pero no se considera una muestra representativa porque presenta escasez de foraminíferos bentónicos (solo se encontraron 36 ejemplares en toda la muestra). La mayoría de estos 36 ejemplares son taxones infaunales (>91%) y >50% corresponden al grupo de los bulimínidos *s.s.*, dominando especies del clúster A, lo que hace que esta muestra sea más semejante a la muestra 23-24 cm (LGM) y distinta de la otra muestra que corresponde al evento H1 (0.5-1.5 cm).

En el océano profundo, variables como la salinidad y temperatura son casi constantes, por otro lado, la disponibilidad de alimento y oxígeno se vuelven factores que determinan la distribución vertical de los foraminíferos bentónicos (Gooday et al., 2008; Jorissen et al., 1995, Alegret et al., 2021). Estudios resaltan que la magnitud y el patrón estacional de la productividad biológica tendrán influencia en las comunidades de foraminíferos bentónicos (Gooday et al., 1998; Jannink et al., 1998; Loubere, 1998 en Ohkushi y Natori, 2001).

Los montes submarinos muestran amplia variedad de propiedades ambientales que pueden llevar a la formación de distintos nichos ecológicos y zonación biológica (Heinz et al., 2004). Los estudios de foraminíferos bentónicos en montes submarinos no son muy abundantes; sin embargo, entre los registros que se tienen se ha encontrado que la distribución y la abundancia de los foraminíferos bentónicos están influenciados por la intensidad de las corrientes asociadas a los montes submarinos (Ohkushi y Natori, 2001; Heinz et al., 2004; García-Muñoz et al., 2012 y Arreguín-Rodríguez et al., 2016). Estos interactúan con la corriente oceánica y crean flujos circulares unidireccionales alrededor del monte (columna de Taylor) que pueden tener efectos en la productividad primaria, atrapar partículas y nutrientes (Heinz et al., 2004; White et al., 2007; Rogers, 2018).

Arreguín-Rodríguez et al. (2016) estudiaron las asociaciones de foraminíferos bentónicos fósiles de un monte submarino ante los eventos hipertermales durante el Paleoceno tardío y Eoceno medio. Este monte submarino durante ese periodo se caracterizó por condiciones oligotróficas, por lo que la dominancia de taxones

infaunales (taxones cilíndricos en su mayoría) es inesperada, pero estas formas pudieron haber sido infaunales someras, por lo que se piensa que fueron exitosas por el tipo de corrientes activas que influyen en el suministro de alimento. Las asociaciones de foraminíferos bentónicos del monte submarino de la Cordillera de Alarcón (sitio D391-PC41L) del presente estudio se asemejan a las del trabajo de Arreguín-Rodríguez et al. (2016) en cuanto a la dominancia de infaunales. En este caso, la dominancia de infaunales sugiere condiciones eutróficas, donde el agente limitante no es el alimento sino la disponibilidad de oxígeno. No obstante, no se encontraron evidencias de condiciones anóxicas en el monte submarino de la Cordillera de Alarcón. Sin embargo, la alta concentración de organismos infaunales puede ser resultado simplemente de la intensidad de las corrientes que se generan alrededor del monte submarino, es decir, dichas corrientes pueden barrer los organismos epifaunales dejando solo los infaunales (esto debido a que al estar enterrados en el sedimento no son afectados por las corrientes) (e.g., Arreguín-Rodríguez et al., 2016).

Las asociaciones de foraminíferos bentónicos del sitio D391-PC41L son diversos y heterogéneos, resultados muy similares a las asociaciones de foraminíferos bentónicos del monte submarino Gran Meteor en el Atlántico Norte (Heinz et al., 2004). Una alta heterogeneidad es indicador de una alta diversidad (Alegret y Thomas, 2005; Murray, 2014). Entonces, se puede inferir que las condiciones asociadas a los montes submarinos propician la alta diversidad de las asociaciones de foraminíferos bentónicos.

En cuanto a las preferencias en el microhábitat, cabe destacar que las asociaciones se conforman de infaunales y epifaunales, pero predominan los infaunales. Corlis y Chen (1988) han señalado una correlación positiva entre el flujo de materia orgánica y la abundancia de calcáreos infaunales. Además, la dominancia de infaunales se ha relacionado a condiciones eutróficas, es decir grandes cantidades de alimento y poco oxígeno (Alegret et al., 2021). Por otro lado, los taxones aglutinados tienen una baja abundancia en el sitio D391-PC41L. La casi ausencia de estos taxones se puede deber a la poca tolerancia al estrés por agotamiento de oxígeno (Almogi-Labin et al., 1990) misma que aumenta a mayor profundidad y presión. Es decir, la casi total ausencia de taxones aglutinados puede indicar bajos niveles de oxígeno. Mientras que, Ohkushi y Natori (2001) estudiaron los foraminíferos bentónicos vivos en un monte submarino, encontraron relación entre la abundancia de taxones aglutinados en ambientes de alta energía asociados al tipo de corrientes cercanas al monte. Otro punto a considerar es que los foraminíferos aglutinados pueden sufrir una destrucción *post-mortem* por el bajo grado de cementación de las testas de muchos taxones, lo que los hace muy propensos a disgregarse (Murray, 2014). Por ende, esta podría ser una de las razones por las cuales los encontramos casi escasos en las muestras analizadas.

8.2 Inferencias paleoecológicas

8.2.1 Clúster A

La especie más abundante del clúster A es *B. cf. striatula*, este género es tolerante al estrés y oportunista en ambientes de agua cálida (Heinze y Wefer, 1992). *Bolivina cf. costata/tongi*, *Uvigerina peregrina*, *N. hispida/U. spinosa* son indicadoras de alto aporte de materia orgánica en el fondo oceánico (Schmiedl et al., 2004; Ovsepyan e Ivanova, 2009; Eichler et al., 2012; Cardich et al., 2015). Todas las especies de este clúster prefieren ambientes de bajas temperaturas y poco oxígeno (Ovsepyan y Ivanova, 2009; Holbourn et al., 2013; Cardich et al., 2015; ver Anexo 4).

8.2.2 Clúster B

El subclúster B1 está conformado por especies oportunistas e indicadoras de condiciones eutróficas como *C. cf. wuellerstorfi*, *Fursenkoina texturata* y *Gyroidina* sp. (Mullins et al., 1985; Coates et al., 2004, Das et al., 2017). La especie más abundante del subclúster B2 es *Bolivina hootsi*, género que está adaptado a flujos altos de materia orgánica (Schmiedl et al., 1997). También lo conforman especies con amplia tolerancia ambiental como *O. umbonatus* y *L. cf. lobatula* (Sen Gupta, 1989; Thomas y Shackleton, 1996; Katz et al., 1999; Foster et al., 2013). Por último, el subclúster B3 está constituido por especies cosmopolitas como *Buccella* sp. 1, *C. teretis* y *C. laevigata*, por lo que podemos inferir que tienen amplia tolerancia ambiental (Loeblich y Tappan, 1988; Murray, 2014). En general, las especies de este clúster son indicadoras de aguas frías y bajo contenido de oxígeno (ver Anexo 4).

8.2.3 Clúster C

Dentro de este clúster se encuentran especies indicadoras de condiciones oligotróficas como *Paralabamina* sp., *Globocassidulina subglobosa* y *Epistominella exigua multiloculata* (Schmiedl et al., 1997; Alegret y Thomas, 2009), esta última también es oportunista y es característica de zonas de flujo de fitodetritus estacional (Ohkushi y Natori, 2001). La especie más abundante es *T. delicata*, que es cosmopolita (Loeblich y Tappan, 1988), por lo que se puede inferir que podría coexistir en condiciones oligotróficas junto a las especies descritas anteriormente. Taxones como *T. delicata*, *G. subglobosa* y *Patellina* sp. son indicadoras de aguas frías (Murray, 2014). La última especie presenta también tolerancia a ambientes más cálidos (Murray, 2014).

8.3 Interpretación paleoambiental

El desglose de las especies en los gráficos del DCA permitieron interpretar las condiciones paleoecológicas (Figura 7). El clúster A refleja un elevado suministro de alimento porque las especies más abundantes han sido descritos en ambientes de alta productividad (ej., *B. cf. costata-tongi*, *B. cf. striatula*, *N. hispida*, *U. peregrina*) (Altenbach et al., 2003; Schmiedl et al., 2004; Ovsepyan y Ivanova 2009; Cardich et al., 2015). El clúster B puede reflejar condiciones de alto suministro de alimento, ya que distintas especies abundantes en este clúster (*C. cf. wuellerstorfi*, *Buccella* sp. 1 y sp. 2, *C. teretis*, *C. laevigata*) han sido descritas en ambientes de alto suministro de alimento (Coates et al., 2004; Seidenkrantz, 2013 y Gorbarenko et al., 2002). Además en el clúster B1 se muestra la aparición de especies descritas como eutróficas (*C. cf. wuellerstorfi* y *Gyroidina*) lo que

apoya las condiciones de abundante suministro de alimento (Geraga et al., 2000 y Ovsepyan y Ivanova, 2009). Por lo contrario, el clúster C refleja condiciones oligotróficas porque lo conforma especies que han sido descritos en ambientes oligotróficos (ej., *G. subglobosa* y *Paralabamina* sp.) (Alegret y Thomas, 2009 y Arreguín Rodríguez et al., 2016). Asimismo, dentro del clúster C la especie cosmopolita *T. delicata* (la más abundante) se puede adaptar a diferentes intervalos ambientales (Loeblich y Tappan, 1988); mientras que *E. exigua multiloculata* y *P. exigua* var. *obtusa* responden a pulsos de fitodetrimento estacional (Gooday, 1988, 1996; Smart et al., 1994), lo que sustenta la idea de que este clúster (C) muestra condiciones oligotróficas con episodios intermitentes de aporte de alimento. Por lo tanto, la variable que ejerce mayor influencia sobre la composición de las asociaciones de foraminíferos bentónicos en uno de los montes submarinos de la Cordillera de Alarcón es el alimento (materia orgánica) disponible en el fondo oceánico de tal forma que el eje 1 (horizontal) en el DCA modo R indica variaciones en la cantidad y estabilidad de la materia orgánica en el fondo oceánico, siendo más abundante y más continuo hacia valores altos del eje 1 y viceversa (Figura 7). Por otro lado, de acuerdo con las preferencias ecológicas de las especies, no se encontró relación con alguna variable que expliqué la distribución de los taxones a lo largo del eje vertical.

8.4 Eventos climáticos

8.4.1 LGM

Durante el LGM en el Golfo de California, se intensificaron las surgencias, impulsadas por el viento que condujo a una alta productividad primaria, y además, se

presentaron condiciones similares a las de La Niña (temperaturas más frías en la superficie de mar) (Staines-Urias et al., 2015). De acuerdo con Corliss y Chen (1988), existe una correlación positiva entre la proporción de taxones calcáreos infaunales y el aporte de materia orgánica, por lo que una alta productividad durante el LGM debió permitir la llegada de alimento a mayor profundidad en el sedimento y en consecuencia, el aumento de los taxones calcáreos infaunales. El alto aporte de alimento también tuvo efecto en la abundancia de los taxones bulimínidos *s.l.*, bulimínidos *s.s.* y bolivínidos *s.s.* (Cosliss y Fois, 1990). Las especies del clúster A (indicadoras de condiciones eutróficas) se vieron beneficiadas, al contrario de las del clúster C (indicadoras de condiciones oligotróficas), que presentan abundancia baja e incluso algunas están ausentes en el LGM. En el caso de los subclústeres B1 y B2, a lo largo del registro tienen una abundancia relativa baja pero constante, aunque durante el LGM todos los taxones (incluyendo también los del subclúster B3) tuvieron una caída en las abundancias. A pesar de que varias especies dentro del clúster B son indicadoras de alto aporte de alimento, no se vieron tan beneficiadas como las del clúster A. Con la resolución de muestreo actual no es posible identificar de forma certera la causa de la diferencia en la respuesta de los taxones de los clústeres A y B a las condiciones predominantes durante el LGM.

8.4.2 H1

Con base en registros de Temperaturas Superficiales del Océano (Sea Surface Temperature ó SST, por sus siglas en inglés) en el océano Pacífico se documentaron oscilaciones frío-cálidas durante el intervalo H1 (Kiefer y Kienast, 2005). De acuerdo con estos autores, registros en el margen de California muestran un aumento de las SST al comienzo

del H1 (18.5-16.5 ka), seguido de un descenso en las SST (16.5-15.5 ka) y concluye con otro calentamiento al final del intervalo (15.2 ka). Por lo tanto, las muestras analizadas que pertenecen al evento H1 (16.8 ka) tienen lugar en la primera oscilación cálida. Durante el H1 en el océano Pacífico norte, se presentó una reducción de la productividad biológica que dio lugar al aumento en las concentraciones de oxígeno por debajo de la zona eufótica (Chikamoto et al., 2012). El descenso en la abundancia de los bulimínidos *s.s.* y bolivínidos *s.s.* coinciden con las condiciones descritas puesto que ambos morfogrupos son indicadores de abundante aporte de alimento y bajos niveles de oxígeno (Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993; Alegret y Thomas, 2005; Jorissen et al., 2007; Arreguín-Rodríguez y Alegret, 2016). La disminución en la abundancia de las especies del clúster A y B (ambos asociados a condiciones eutróficas) coincide con la baja productividad durante el H1 y estas condiciones favorecieron al aumento en la abundancia de las especies del clúster C (taxones asociados entornos más oligotróficos).

No se puede hacer un análisis profundo sobre el evento H1, ya que solo se tiene una muestra de este intervalo. La ventaja de la muestra correspondiente al LGM es que se tienen muestras anteriores y posteriores a este evento, lo que permite analizar el comportamiento de las asociaciones foraminíferos bentónicos a través del tiempo. Se necesitan más muestras que correspondan con el intervalo del H1, al menos registros posteriores para analizar y comprobar las oscilaciones frío-cálidas descritas por Kiefer y Kienast (2005). Sin embargo, con la resolución actual se puede reconocer claramente la diferencia en la respuesta de los foraminíferos bentónicos ante los dos eventos analizados (LGM y H1). En el evento de enfriamiento LGM se

observa un mayor aporte de alimento al fondo oceánico; mientras que durante la oscilación cálida H1 disminuye dicho aporte.

9. Conclusiones

El presente estudio permite corroborar que los foraminíferos bentónicos reflejan las condiciones ambientales en los fondos oceánicos. Particularmente se observó la estructura de las asociaciones de dichos organismos en la región sur del Golfo de California, en un ambiente poco usual como lo es un monte submarino, así como también los cambios que ocurren durante dos eventos climáticos, uno de enfriamiento (LGM) y una oscilación cálida (H1), ocurridos durante el Pleistoceno Tardío.

Las principales contribuciones del presente estudio son las siguientes:

1. La dominancia de los infaunales en el Sitio D391-PC41L se debe a la intensidad de las corrientes que se generan alrededor del monte submarino, ya que estos organismos al estar enterrados en el sedimento no son afectados por las corrientes.
2. La diversidad y heterogeneidad de las asociaciones de foraminíferos bentónicos es alta, como suele ser en los montes submarinos, pero disminuyen ligeramente en el LGM y posiblemente también en el H1.
3. La dominancia de taxones del clúster A (*B. cf. costata/tongi*; *B. cf. striatula* y *N. hispida/U. spinosa*) durante el evento LGM indica incremento en el aporte de alimento hacia el fondo oceánico.

4. El aumento en la abundancia relativa de taxones del clúster C (*T. delicata*, *Paralabamina* sp., y *E. exigua multiloculata*) en el intervalo correspondiente a la oscilación cálida H1 sugiere descenso en la cantidad de alimento disponible con presencia pulsos intermitentes de fitodetritus.

Cabe destacar que se requiere una mayor resolución de muestreo para poder analizar en detalle los eventos identificados (LGM y H1). No obstante, al momento del desarrollo del presente estudio no se contaba con muestras colectadas que pudieran completar esta información.

10. Bibliografía

- Abu-Zied, R. H., Keatings, K. W., y Flower, R. J. (2007). Environmental controls on foraminifera in Lake Qarun, Egypt. *The Journal of Foraminiferal Research*, 37(2), 136-149.
- Alegret, L., y Thomas, E. (2005). Cretaceous/Paleogene boundary bathyal paleoenvironments in the central North Pacific (DSDP Site 465), the Northwestern Atlantic (ODP Site 1049), the Gulf of Mexico and the Tethys: The benthic foraminiferal record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 224(1-3), 53-82.
- Alegret, L., y Thomas, E. (2009). Food supply to the seafloor in the Pacific Ocean after the Cretaceous/Paleogene boundary event. *Marine Micropaleontology*, 73(1-2), 105-116.

- Alegret, L., y Thomas, E. (2013). Benthic foraminifera across the Cretaceous/Paleogene boundary in the Southern Ocean (ODP Site 690): Diversity, food and carbonate saturation. *Marine Micropaleontology*, 105, 40-51.
- Alegret, L., Molina, E., y Thomas, E. (2003). Benthic foraminiferal turnover across the Cretaceous/Paleogene boundary at Agost (southeastern Spain): paleoenvironmental inferences. *Marine Micropaleontology*, 48(3-4), 251-279
- Alegret, L., Arreguín-Rodríguez, G. J., Trávina-Moreno, C. A., y Thomas, E. (2021). Turnover and stability in the deep sea: Benthic foraminifera as tracers of Paleogene global change. *Global and Planetary Change*, 196, 103372.
- Almogi-Labin, A., Bein, A., y Sass, E. (1990). Agglutinated foraminifera in organic-rich neritic carbonates (Upper Cretaceous, Israel) and their use in identifying oxygen levels in oxygen-poor environments. In *Paleoecology, biostratigraphy, paleoceanography and taxonomy of agglutinated foraminifera* (pp. 565-585). Springer, Dordrecht.
- Altenbach, A. V., Lutze, G. F., Schiebel, R., y Schönfeld, J. (2003). Impact of interrelated and interdependent ecological controls on benthic foraminifera: an example from the Gulf of Guinea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 197(3-4), 213-238.
- 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., 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(3), 346-364.
- 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. *PloS One*, 13(2).
- Atmaoui, N., Kukowski, N., Stöckhert, B., y König, D. (2006). Initiation and development of pull-apart basins with Riedel shear mechanism: insights from scaled clay experiments. *International Journal of Earth Sciences*, 95, 225–238.
- Bandy, O. L., y Arnal, R. E. (1957). Distribution of Recent Foraminifera off west coast of Central America. *AAPG Bulletin*, 41(9), 2037-2053.
- Bergamin, L., Di Bella, L., Carboni, M. G. (1999). *Valvulineria bradyana* (Fornasini) in organic matter-enriched environment (Ombrone River mouth, Central Italy). *Il Quaternario*, 12(1), 51-56.
- Bernhard, J. M. (1986). Characteristic assemblages and morphologies of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits; Jurassic through Holocene. *The Journal of Foraminiferal Research*, 16(3), 207-215.
- Boltovskoy, E., Giussani, G., Watanabe, S., y Wright, R. C. (Eds.). (2012). *Atlas of benthic shelf foraminifera of the southwest Atlantic*. Springer Science and Business Media.
- Bond, G., Heinrich, H., Broecker, W., Labeyrie, L., McManus, J., Andrews, J., Huon, S., Jantschik, R., Clasen, S., Siment, C., Tedesco, K., Klas, M., Bonani, G., y

- Ivy, S. (1992). Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic ocean during the last glacial period. *Nature* 360, 245-249.
- Bond, G., Broecker, W., Johnsen, S., McManus, J., Labeyrie, L., Jouzel, J., y Bonani, G. (1993). Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice. *Nature*, 365(6442), 143-147.
- Bray, N. A. (1988). Water mass formation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 93(C8), 9223–9240.
- Buzas, M.A., Culver, S.J., y Jorissen, F.J., (1993). A statistical evaluation of the microhabitats of living (stained) infaunal benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 20, 311– 320.
- Cannariato, K. G., Kennett, J. P., y Behl, R. J. (1999). Biotic response to late Quaternary rapid climate switches in Santa Barbara Basin: Ecological and evolutionary implications. *Geology*, 27(1), 63-66.
- Cardich, J., Gutiérrez, D., Romero, D., Pérez, A., Quipúzcoa, L., Marquina, R., y Rathburn, A. (2015). Calcareous benthic foraminifera from the upper central Peruvian margin: control of the assemblage by pore water redox and sedimentary organic matter. *Marine Ecology Progress Series*, 535, 63-87.
- Chikamoto, M. O., Menviel, L., Abe-Ouchi, A., Ohgaito, R., Timmermann, A., Okazaki, Y., y Mouchet, A. (2012). Variability in North Pacific intermediate and deep water ventilation during Heinrich events in two coupled climate models. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 61, 114-126.

- Clague, D. A., Caress, D. W., Dreyer, B. M., Lundsten, L., Paduan, J. B., Portner, R. A., y Zierenberg, R. A. (2018). Geology of the Alarcon Rise, Southern Gulf of California. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19(3), 807-837.
- Clark, P. U., Dyke, A. S., Shakun, J. D., Carlson, A. E., Clark, J., Wohlfarth, B., y McCabe, A. M. (2009). The last glacial maximum. *Science*, 325(5941), 710-714.
- Clark, M. R., Rowden, A. A., Schlacher, T., Williams, A., Consalvey, M., Stocks, K. I., y Hall-Spencer, J. M. (2010). The ecology of seamounts: structure, function, and human impacts. *Annual Review of Marine Science*, 2, 253-278.
- Coates, A. G., Collins, L. S., Aubry, M. P., y Berggren, W. A. (2004). The geology of the Darien, Panama, and the late Miocene-Pliocene collision of the Panama arc with northwestern South America. *Geological Society of America Bulletin*, 116(11-12), 1327-1344.
- Conley, D. J., y Schelske, C.L. (2002). Biogenic Silica. En: Smol, J. P., Birks, H. J. B., Last, W. M., Bradley, R. S., Alverson, K. (eds). Rastreado el cambio ambiental usando los sedimentos del lago. Desarrollos en la Investigación Paleoambiental, vol 3. *Springer*, Dordrecht.
- Corliss, B.H., (1985). Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. *Nature*, 314, 435-438.
- Corliss, B.H., (1991). Morphology and microhabitat preferences of benthic foraminifera from the northwest Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*, 17, 195-236.
- Corliss, B. H., y Chen, C. (1988). Morphotype patterns of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Geology*, 16(8), 716-719.

- Corliss, B. H., y Fois, E. (1990). Morphotype analysis of deep-sea benthic foraminifera from the northwest Gulf of Mexico. *Palaios*, 589-605.
- Cushman, J. A. (1928). Foraminifera their classification and economic use. *Cushman Lab Foram Res Spec Publ*, 1, 1-401.
- Das, M., Singh, R. K., Gupta, A. K., y Bhaumik, A. K. (2017). Holocene strengthening of the Oxygen Minimum Zone in the northwestern Arabian Sea linked to changes in intermediate water circulation or Indian monsoon intensity?. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 483, 125-135.
- Debenay, J. P. (2012). A guide to 1,000 foraminifera from Southwestern Pacific: New Caledonia. IRD Editions Marseille/Publication Scientifiques du Muséum, Paris.
- 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, 15-35.
- Eichler, P. P. B., Rodrigues, A. R., Eichler, B. B., Braga, E. S., y Campos, E. J. D. (2012). Tracing latitudinal gradient, river discharge and water masses along the subtropical South American coast using benthic foraminifera assemblages. *Brazilian Journal of Biology*, 72(3), 723-759.
- Elliot, M., Welsh, K., Chilcott, C., McCulloch, M., Chappell, J., y Ayling, B. (2009). Profiles of trace elements and stable isotopes derived from giant long-lived *Tridacna gigas* bivalves: potential applications in paleoclimate studies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 280(1-2), 132-142.

- Ernst, S., y Van der Zwaan, B. (2004). Effects of experimentally induced raised levels of organic flux and oxygen depletion on a continental slope benthic foraminiferal community. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 51(11), 1709-1739.
- Fajemila, O. T., Langer, M. R., y Lipps, J. H. (2015). Spatial patterns in the distribution, diversity and abundance of benthic foraminifera around Moorea (Society Archipelago, French Polynesia). *PloS one*, 10(12), e0145752.
- 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*, 42-58.
- Fletcher, J. M., Grove, M., Kimbrough, D., Lovera, O., y Gehrels, G. E. (2007). Ridge-trench interactions and the Neogene tectonic evolution of the Magdalena shelf and southern Gulf of California: Insights from detrital zircon U-Pb ages from the Magdalena fan and adjacent areas. *Geological Society of America Bulletin*, 119(11-12), 1313-1336.
- 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.
- García-Muñoz, M., López-González, N., Rueda, J. L., Palomino, D., Vázquez, J. T., Díaz-del-Río, V., y Fernández-Puga, M. C. (2012). Caracterización ambiental de los montes submarinos del Mar de Alborán a partir del estudio de los sedimentos y las asociaciones de foraminíferos bentónicos. *Geogaceta*, 52, 165-168.

- Galbraith, E. D. y Skinner, L. C. (2020). The biological pump during the Last Glacial Maximum. *Annual Reviews of Marine Science*, 12, 559-586.
- Geraga, M., Ioakim, C., Papatheodorou, G., y Ferentinos, G. (2000). Evaluation of palaeoenvironmental changes during the last 18,000 years in the Myrtoon basin, SW Aegean Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 156(1-2), 1-17.
- Goffredi, S. K., Johnson, S., Tunnicliffe, V., Caress, D., Clague, D., Escobar, E., y Vrijenhoek, R. (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), 20170817.
- Goldstein, S. L., y Hemming, S. R. (2003). Long-lived isotopic tracers in oceanography, paleoceanography, and ice-sheet dynamics. *Treatise on Geochemistry*, 6, 625.
- Gooday, A. J. (1988). A response by benthic foraminifera to the deposition of phytodetritus in the deep sea. *Nature*, 332(6159), 70-73.
- Gooday, A. J. (1996). Epifaunal and shallow infaunal foraminiferal communities at three abyssal NE Atlantic sites subject to differing phytodetritus input regimes. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 43(9), 1395-1421.
- Gooday, A. J., Bett, B. J., Shires, R., y Lambshead, P. J. D. (1998). Deep-sea benthic foraminiferal species diversity in the NE Atlantic and NW Arabian Sea: a synthesis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(1-3), 165-201.

- Gooday, A. J., Nomaki, N. H., y Kitazato, H. (2008). Modern deep-sea benthic foraminifera: a brief review of their morphology-based biodiversity and trophic diversity. *Geological Society, London, Special Publications*, 303(1), 97-119.
- Gorbarenko, S. A., Khusid, T. A., Basov, I. A., Oba, T., Southon, J. R., y Koizumi, I. (2002). Glacial Holocene environment of the southeastern Okhotsk Sea: evidence from geochemical and palaeontological data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 177(3-4), 237-263.
- Hammer, O., Harper, D. A., y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9.
- Hayek, L.-A. C., y Buzas, M. A. 1997. Surveying natural populations. Columbia University Press, New York.
- Hays J. D. (2009) Climap. En: Gornitz V. (eds) Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht.
- Heinrich, H. (1988). Origin and consequences of cyclic ice rafting in the northeast Atlantic Ocean during the past 130 000 years. *Quaternary Research*, 29, 143–152
- Heinz, P., Ruepp, D., y Hemleben, C. (2004). Benthic foraminifera assemblages at great meteor seamount. *Marine Biology*, 144(5), 985-998.
- Heinze, P. M., y Wefer, G. (1992). The history of coastal upwelling off Peru (11° S, ODP Leg 112, Site 680B) over the past 650 000 years. *Geological Society, London, Special Publications*, 64(1), 451-462.

- Hermelin, J. O. R., y Shimmield, G. B. (1990). The importance of the oxygen minimum zone and sediment geochemistry in the distribution of Recent benthic foraminifera in the northwest Indian Ocean. *Marine Geology*, 91(1-2), 1-29.
- Holbourn, A., Henderson, A. S., y MacLeod, N. (2013). Atlas of benthic foraminifera. John Wiley and Sons.
- Hoogakker, B. A., Elderfield, H., Schmiedl, G., McCave, I. N., y Rickaby, R. E. (2015). Glacial–interglacial changes in bottom-water oxygen content on the Portuguese margin. *Nature Geoscience*, 8(1), 40-43.
- Hoogakker, B. A. A., Thornalley, D. J. R., y Barker, S. (2016). Millennial changes in North Atlantic oxygen concentrations. *Biogeosciences*, 13(1), 211-221.
- Hornafius, J. S. (1991). Facies analysis of the Monterey Formation in the northern Santa Barbara Channel. *AAPG Bulletin*, 75(5), 894-909.
- Hughes, M.K., Kelly, P.M., Pilcher, J.R., LaMarche Jr., V.C. (Eds.), 1982. Climate From Tree Rings. Cambridge University Press, Cambridge}
- Ingle, J. (1980). Cenozoic paleobathymetry and depositional history of selected sequences within the southern California continental borderland. *Cushman Laboratory for Foraminiferal Research, Special Publication*, 19, 163-195.
- International Commission on Stratigraphy, <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2020-03.pdf>, fecha de acceso: febrero 2021.
- Jannink, N. T., Zachariasse, W. J., y Van der Zwaan, G. J. (1998). Living (Rose Bengal stained) benthic foraminifera from the Pakistan continental margin

- (northern Arabian Sea). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 45(9), 1483-1513.
- Jayaraju, N., Reddy, B. C. S. R., Reddy, K. R., y Reddy, A. N. (2010). Deep-sea benthic foraminiferal distribution in south west Indian Ocean: implications to paleoecology. *International Journal of Geosciences*, 1(02), 79.
- Jorissen, F. J. (1987). The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea. *Marine Micropaleontology*, 12, 21-48.
- Jorissen, F.J., (1999). Benthic foraminiferal successions across Late Quaternary Mediterranean sapropels. *Marine Geology*, 153, 91–101.
- Jorissen, F.J., De Stigter, H.C., y Widmark, J.G.V. (1995). A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*, 22, 3–15.
- Jorissen, F. J., Fontanier, C., y Thomas, E. (2007). Paleoceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblage characteristics. En: Hillaire-Marcel, C., and de Vernal, A. (Eds.), *Proxies in Late Cenozoic Paleooceanography: Pt. 2: Biological tracers and biomarkers*. Elsevier, 263-326.
- Katz, M. E., Pak, D. K., Dickens, G. R., y Miller, K. G. (1999). The source and fate of massive carbon input during the latest Paleocene thermal maximum. *Science*, 286(5444), 1531-1533.
- Kiefer, T., y Kienast, M. (2005). Patterns of deglacial warming in the Pacific Ocean: a review with emphasis on the time interval of Heinrich event 1. *Quaternary Science Reviews*, 24(7-9), 1063-1081.

- Lambeck, K., Esat, T. M., y Potter, E. K. (2002). Links between climate and sea levels for the past three million years. *Nature*, 419(6903), 199-206.
- Levy, A., Mathieu, R., Poignant, A., Rosset-Moulinier, M., Ubaldo, M. D. L., y Ambroise, D. (1993). Recent foraminifera from the continental margin of Portugal. *Micropaleontology*, 75-87.
- Little, M. G., Schneider, R. R., Kroon, D., Price, B., Summerhayes, C. P., y Segl, M. (1997). Trade wind forcing of upwelling, seasonally, and Heinrich events as a response to sub-Milankovitch climate variability. *Paleoceanography*, 12(4), 568-576.
- Liu, J. X., Tataronov, A., Beacham, T. D., Gorbachev, V., Wildes, S., y Avise, J. C. (2011). Effects of Pleistocene climatic fluctuations on the phylogeographic and demographic histories of Pacific herring (*Clupea pallasii*). *Molecular Ecology*, 20(18), 3879-3893.
- 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.
- Loeblich, A. R. y Tappan, H. (1988). Foraminiferal genera and their classification. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.
- Lonsdale, P. (1989) Geology and tectonic history of the Gulf of California. En Winterer, E. L., Hussong, D. M. y Decker, R. W (Eds). The Eastern Pacific Ocean and Hawaii. (Vol. N, pp. 499–521). *The Geology of North America* (Geological Society of America). Boulder, Colorado.

- Loubere, P. (1998). The impact of seasonality on the benthos as reflected in the assemblages of deep-sea foraminifera. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 45(2-3), 409-432.
- Lutze, G. F., y Thiel, H. (1989). Epibenthic foraminifera from elevated microhabitats; *Cibicidoides wuellerstorfi* and *Planulina ariminensis*. *The Journal of Foraminiferal Research*, 19(2), 153-158.
- 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(4), 275-306.
- Mackensen, A., Schmiedl, G., Harloff, J., y Giese, M. (1995). Deep-sea foraminifera in the South Atlantic Ocean: ecology and assemblage generation. *Micropaleontology*, 342-358.
- Martín-Barajas, A., González-Escobar, M., Fletcher, J. M., Pacheco, M., Oskin, M., y Dorsey, R. (2013). Thick deltaic sedimentation and detachment faulting delay the onset of continental rupture in the Northern Gulf of California: Analysis of seismic reflection profiles. *Tectonics*, 32(5), 1294-1311.
- McCorkle, D. C., y Emerson, S. R. (1988). The relationship between pore water carbon isotopic composition and bottom water oxygen concentration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(5), 1169-1178.
- Monroe, J. S., y Wicander, R. (2014). *The changing earth: exploring geology and evolution*. Cengage Learning.
- Mullins, H. T., Thompson, J. B., McDougall, K., y Vercountere, T. L. (1985). Oxygen-minimum zone edge effects: evidence from the central California coastal upwelling system. *Geology*, 13(7), 491-494.

- Murray, J. W. (2003). An illustrated guide to the benthic foraminifera of the Hebridean shelf, west of Scotland, with notes on their mode of life. *Palaeontologia Electronica*, 5(1), 31.
- Murray, J. W. (2006). *Ecology and applications of benthic foraminifera*. Cambridge University Press.
- Murray, J. W. (2013). Living benthic foraminifera: biogeographical distributions and the significance of rare morphospecies. *Journal of Micropalaeontology*, 32(1), 1-58.
- Murray, J. W. (2014). *Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera*. Routledge.
- Neftel, A., Oeschger, H., Schwander, J., Stauffer, B., y Zumbrunn, R. (1982). Ice core sample measurements give atmospheric CO₂ content during the past 40,000 yr. *Nature*, 295(5846), 220-223.
- Ohkushi, K. I., y Natori, H. O. (2001). Living benthic foraminifera of the Hess Rise and Suiko Seamount, central North Pacific. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research*, 48(5), 1309-1324.
- Ovsepyan, E. A., y Ivanova, E. V. (2009). Benthic foraminiferal assemblages as indicators of the paleoceanographic conditions in the Eastern Equatorial Pacific. *Oceanology*, 49(1), 121-129.
- Peltier, W. R. (2007). Postglacial coastal evolution: Ice-ocean-solid Earth interactions in a period of rapid climate change. *Geological Society of America, Special Papers*, 426, 5.

- Peltier, W. R., y Fairbanks, R. G. (2006). Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record. *Quaternary Science Reviews*, 25, 3322–3337.
- Price, A. M., Mertens, K. N., Pospelova, V., Pedersen, T. F., y Ganeshram, R. S. (2013). Late Quaternary climatic and oceanographic changes in the Northeast Pacific as recorded by dinoflagellate cysts from Guaymas Basin, Gulf of California (Mexico). *Paleoceanography*, 28(1), 200-212.
- Ramirez, L. A. V. (2018). Análisis estructural de la Cordillera Alarcón en Golfo de California a partir de datos batimétricos de alta resolución. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, México.
- Rathburn, A.E. y Corliss, B.H., 1994. The ecology of living (stained) deep-sea benthic foraminifera from the Sulu Sea. *Paleoceanography*, 9, 87–150.
- Roden, G. I. (1987). Effect of seamounts and seamount chains on ocean circulation and thermohaline structure. *Seamounts, islands, and atolls*, 43, 335-354.
- Rodrigues, C. G., y Hooper, K. (1982). Recent benthonic foraminiferal associations from offshore environments in the Gulf of St. Lawrence. *The Journal of Foraminiferal Research*, 12(4), 327-352.
- Rodríguez-Tovar, F. J., Dorador, J., Mena, A., y Francés, G. (2020). Regional and global changes during Heinrich Event 1 affecting macrobenthic habitat: Ichnological evidence of sea-bottom conditions at the Galicia Interior Basin. *Global and Planetary Change*, 192, 103227.
- Rogers, A. D. (2018). The biology of seamounts: 25 years on. *Advances in Marine Biology*, 79, 137-224.

- Romero, D. (2021). Distribución de foraminíferos bentónicos en sedimentos superficiales frente a San Juan de Marcona (15° 21'S). Instituto del Mar de Perú, Vol. 48(2), 186-194.
- 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(3-4), 249-287.
- Schmiedl, G., Pfeilsticker, M., Hemleben, C., y Mackensen, A. (2004). Environmental and biological effects on the stable isotope composition of recent deep-sea benthic foraminifera from the western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*, 51(1-2), 129-152.
- Schönfeld, J. (2001). Benthic foraminifera and pore-water oxygen profiles: a re-assessment of species boundary conditions at the western Iberian margin. *The Journal of Foraminiferal Research*, 31(2), 86-107.
- Seidenkrantz, M. S. (1995). *Cassidulina teretis* Tappan and *Cassidulina neoteretis* new species (Foraminifera): stratigraphic markers for deep sea and outer shelf areas. *Journal of Micropalaeontology*, 14(2), 145-157.
- Seidenkrantz, M. S. (2013). Benthic foraminifera as palaeo sea-ice indicators in the subarctic realm—examples from the Labrador Sea–Baffin Bay region. *Quaternary Science Reviews*, 79, 135-144.
- Suokhrie, T., Saraswat, R., y Nigam, R. (2021). Multiple ecological parameters affect living benthic foraminifera in the river-influenced west-central Bay of Bengal. *Frontiers in Marine Science*, 8, 467.

- Sen Gupta, B. K. (1989). Morphology and generic placement of the foraminifer —Anomalinal wuellerstorfi Schwager. *Journal of Paleontology*, 63(5), 706-713.
- Sen Gupta, B. K. (2002). Modern foraminifera en Sen Gupta, B. K. (Ed). Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands.
- Sen Gupta, B. K., y Machain-Castillo, M. L. (1993). Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*, 20(3-4), 183-201.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.
- Smart, C. W., King, S. C., Gooday, A. J., Murray, J. W., y Thomas, E. (1994). A benthic foraminiferal proxy of pulsed organic matter paleofluxes. *Marine Micropaleontology*, 23(2), 89-99.
- Smart, C. W., Thomas, E., y Ramsay, A. T. (2007). Middle-late Miocene benthic foraminifera in a western equatorial Indian Ocean depth transect: Paleooceanographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247(3-4), 402-420.
- 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(3), 488-501.
- Tamburini, F., Huon, S., Steinmann, P., Grousset, F. E., Adatte, T., y Fllmi, K. B. (2002). Dysaerobic conditions during Heinrich events 4 and 5: Evidence from phosphorus distribution in a North Atlantic deep-sea core. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(23), 4069-4083.

- Thomas, E. (1985). Late Eocene to Recent deep-sea benthic foraminifers from the central equatorial Pacific Ocean. *Initial Reports Deep Sea Drilling Project*, 85, 655–679.
- Thomas, E., y Shackleton, N. J. (1996). The Paleocene-Eocene benthic foraminiferal extinction and stable isotope anomalies. *Geological Society, London, Special Publications*, 101(1), 401-441.
- Thomas, E., Zachos, J. C., Bralower, T. J. (2000). Deep-sea environments on a warm earth: latest Paleocene-early Eocene..
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., y Hughes, L. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148.
- Uchio, T. (1960). *Ecology of living benthonic foraminifera from the San Diego, California, area* (Vol. 5). Cushman Foundation for Foraminiferal Research.
- Umhoefer, P. J. (2011). Why did the southern Gulf of California rupture so rapidly? Oblique divergence across hot, weak lithosphere along a tectonically active margin. *GSA Today*, 21(11), 4-10.
- Umhoefer, P. J., Darin, M. H., Bennett, S. E., Skinner, L. A., Dorsey, R. J., y Oskin, M. E. (2018). Breaching of strike-slip faults and successive flooding of pull-apart basins to form the Gulf of California seaway from ca. 8–6 Ma. *Geology*, 46(8), 695-698.
- Van der Zwaan, G.J., Duijnste, I.A.P., den Dulk, M., Ernst, S.R., Jannink, N.T., Kouwenhoven, T.J. (1999). Benthic foraminifera: proxies or problems?. *Earth-Science Reviews*, 46, 213-236.

- Van Morkhoven, F. M., Berggren, W. A., y Edwards, A. S. (1986). Cenozoic cosmopolitan deep-water benthic foraminifera. *Bulletin des centres de Recherches exploration-production elf-aquitaine*, (11).
- Waelbroeck, C., Duplessy, J. C., Michel, E., Labeyrie, L., Paillard, D., y Duprat, J. (2001). The timing of the last deglaciation in North Atlantic climate records. *Nature*, 412(6848), 724-727.
- Wang, Y., Fang, X., Zhang, T., Li, Y., Wu, Y., He, D., y Wang, Y. (2012). Distribution of biomarkers in lacustrine sediments of the Linxia Basin, NE Tibetan Plateau, NW China: Significance for climate change. *Sedimentary Geology*, 243, 108-116.
- Westerhold, T., Marwan, N., Drury, A. J., Liebrand, D., Agnini, C., Anagnostou, E., Barnett, J. S. K., Bohaty, S. M., De Vleeschouwer, D., Florindo, F., Frederichs, T., Hodell, D. A., Holbourn, A. E., Kroon, D., Laurentano, V., Littler, K., Lourens, L. J., Lyle, M., Pälike, H., Röhl, U., Tian, J., Wilkens, R. H., Wilson, P. A., y Zachos, J. C. (2020). An astronomically dated record of Earth's climate and its predictability over the last 66 million years. *Science*, 369, 1383-1387.
- White, M., Roberts, J. M., y van Weering, T. (2007). Do bottom-intensified diurnal tidal currents shape the alignment of carbonate mounds in the NE Atlantic?. *Geo-Marine Letters*, 27(6), 391-397.
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., y Billups, K. (2001). Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292(5517), 686-693.

Ziegler, P. A., y Cloetingh, S. (2004). Dynamic processes controlling evolution of rifted basins. *Earth-Science Reviews*, 64(1-2), 1-50.

. *Earth-Science Reviews*, 64(1-2), 1-50.

11. ANEXOS

Tabla II. Datos de abundancias relativas (especies, infaunales-epifaunales, calcáreos-aglutinados, grupos bulimínidos s.s, buliminidos s.l y bolivinidos s.s y clúster a, b y c) e índices estadísticos (índice de Fisher e índice de Shannon-Weaver).

Intervalo (cm)	0.5-1.5	8-9	16-17	23-24	35-36	46-47	55-56	66.5-67.5	68.5-69.5
Edad	16800	17640	18690	20880	26770	33790	32440		26740
Evento	H1	H1	LGM						
<i>Amodiscus</i> sp	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Anomalina schmitti</i>	0,25	0,00	1,02	0,00	1,48	1,04	0,00	0,00	0,00
<i>Anomalinoides alazanensis</i>	0,00	0,00	2,04	5,69	3,70	4,17	2,85	1,65	2,33
<i>Astacolus</i> sp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
<i>Bolivina acerosa</i>	0,25	0,00	0,00	0,00	1,48	0,52	0,36	0,00	0,58
<i>Bolivina</i> cf. <i>costata/tongi</i>	0,74	0,00	4,08	22,78	5,93	10,42	8,19	4,12	2,91
<i>Bolivina</i> cf. <i>interjuncta</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,52	0,00	0,00	0,00
<i>Bolivina</i> cf. <i>striatula</i>	0,25	11,11	2,04	29,54	5,93	3,65	6,05	0,00	2,33
<i>Bolivina costata-tongi</i>	0,00	36,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Bolivina dilata</i>	0,00	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Bolivina hootsi</i>	1,74	2,78	1,02	0,00	5,93	3,13	2,49	1,23	1,74
<i>Bolivina ordinaria</i>	0,99	0,00	0,00	0,36	1,48	2,08	0,36	0,41	0,00
<i>Bolivina</i> sp. 1 (aff <i>B. hughesi</i>)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00
<i>Bolivina</i> sp. 2	0,00	0,00	2,04	0,00	0,00	1,04	1,42	3,29	1,16
<i>Bolivina subadvena</i>	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Buccella</i> sp. 1	2,98	0,00	13,27	0,00	16,30	1,56	12,10	14,81	11,63
<i>Buccella</i> sp. 2	1,49	0,00	3,06	0,00	2,22	0,00	4,27	3,70	4,07
<i>Buchnerina</i> sp	0,74	0,00	1,02	0,00	0,00	2,60	0,71	0,82	0,00
<i>Buliminella semihispida</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,41	0,58
Calcáreos indet.	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cancris</i> aff. <i>Mexicanus</i>	1,24	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,41	0,58
<i>Cassidulina</i> cf. <i>howei</i>	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cassidulina crassa</i>	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56	0,71	1,23	1,16
<i>Takayanagia delicata</i>	37,97	0,00	8,16	0,00	1,48	1,56	4,27	2,47	9,30

<i>Cassidulina laevigata</i>	0,50	2,78	2,04	1,07	14,81	7,81	11,74	13,99	16,28
<i>Cassidulina limbata</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cassidulina modeloensis</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cassidulina</i> sp.	1,99	0,00	1,02	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	1,16
<i>Cassidulina teretis</i>	2,73	2,78	10,20	0,00	11,11	13,02	22,06	21,81	13,95
<i>Lobatula</i> cf. <i>lobatula</i> (juv)	0,99	0,00	1,02	0,00	1,48	2,08	0,00	0,41	0,00
<i>Cibicides fletcheri</i>	0,25	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16
<i>Cibicides lobulatus</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cibicides mckannai</i>	0,00	0,00	1,02	1,07	1,48	0,00	0,36	0,82	0,00
<i>Cibicidoides</i> cf. <i>wuellerstorfi</i>	0,00	0,00	6,12	0,00	2,96	6,77	1,78	3,29	1,74
<i>Cibicidoides mckannai</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Ellipsoidella pleurotomelloides</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Epistominella afueraensis</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Epistominella exigua multiloculata</i>	4,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pseudoparrella californica</i>	0,25	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	0,00
<i>Epistominella</i> sp.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
<i>Favulina hexagona</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00
<i>Fissurina</i> sp. 1	0,74	0,00	1,02	0,36	0,00	1,56	0,36	1,23	1,16
<i>Fissurina</i> sp. 2	0,50	0,00	0,00	0,36	0,00	3,13	0,36	0,00	0,00
<i>Fissurina</i> sp. 3	0,00	0,00	1,02	1,42	0,00	0,00	0,71	0,00	0,58
<i>Fissurina</i> sp. 4	0,00	0,00	1,02	0,00	0,74	0,00	0,00	0,82	0,00
<i>Fursenkoina</i> cf. <i>pauciloculata</i>	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00
<i>Fursenkoina</i> sp. 2	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00
<i>Fursenkoina</i> sp. 3	0,00	0,00	1,02	0,00	0,74	0,52	0,00	0,41	0,00
<i>Fursenkoina texturata</i>	0,00	0,00	3,06	0,00	0,74	1,04	0,71	0,41	0,00
<i>Globobulimina pacifica</i>	0,25	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	2,73	0,00	2,04	0,71	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00
<i>Globorotalites</i> sp	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gyroidina io</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	0,00	0,41	1,16
<i>Gyroidina</i> sp. 1	0,25	0,00	3,06	0,00	1,48	0,52	0,36	0,00	0,00
<i>Gyroidinoides</i> sp	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Heronallenia lingulata</i>	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Lagena</i> sp. 1	0,74	5,56	3,06	0,36	2,22	3,65	0,00	1,23	1,16
<i>Lagena</i> sp. 2	0,50	0,00	0,00	0,36	0,74	3,13	0,00	0,82	0,58
<i>Lagena</i> sp. 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56	0,00	0,41	0,58
<i>Lagena sulcata</i> var. <i>laevicostata</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Lagena sulcata</i> var. <i>peculiaris</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Lenticulina</i> aff. <i>convergens</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,41	0,00
<i>Lenticulina rotulata</i>	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Lenticulina</i> sp	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
<i>Miliolido</i>	0,25	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nonion</i> sp	0,50	0,00	2,04	0,00	0,74	1,56	0,71	1,23	0,00
<i>Nonionella</i> cf. <i>atlantica</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00

<i>Nonionella cf. translucens</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,52	0,71	0,00	1,16
<i>Nonionella minutissima</i>	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nonionella sp</i>	0,00	0,00	2,04	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nutallides sp</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Oolina sp.</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Oridorsalis cf. umbonatus</i>	1,24	0,00	0,00	1,07	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Oridorsalis sp</i>	1,24	2,78	1,02	0,36	0,00	2,60	2,14	2,06	1,16
<i>Oridorsalis umbonatus</i>	0,00	0,00	2,04	1,07	3,70	3,65	2,85	0,41	2,33
<i>Palliolatella sp. 1</i>	0,74	0,00	1,02	0,36	2,22	4,17	0,36	0,41	0,00
<i>Palliolatella sp. 2</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	1,74
<i>Paralabamina sp</i>	13,90	0,00	7,14	0,00	0,00	0,00	3,20	8,23	9,88
<i>Patellina corrugata</i>	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Patellina sp.</i>	2,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,36	0,00	0,58
<i>Pleurostomella acuta</i>	0,50	8,33	1,02	1,78	0,74	1,04	2,14	0,00	2,33
<i>Pleurostomella tenuis</i>	0,25	5,56	0,00	3,56	0,00	0,00	0,36	0,41	0,00
<i>Pullenia jarvisi</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Pullenia quinqueloba</i>	0,00	0,00	1,02	1,78	0,74	1,04	1,42	0,82	0,58
<i>Pullenia salisburyi</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00
<i>Alabamina obtusa</i>	2,23	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	1,07	0,41	0,00
<i>Pyrgo cf. ecuadorensis</i>	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00
<i>Suggrunda eckisi</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00
<i>Trochammina sp.</i>	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Trocospiralados calcáreos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00
Unilocular 1	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Unilocular 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00
Unilocular 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Uvigerina cf. curticosta dirupta</i>	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Neouvigerina hispida</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Neouvigerina hispida/ Uvigerina spinosa</i>	2,48	13,89	1,02	16,73	0,00	1,04	0,00	0,41	0,00
<i>Uvigerina hootsi</i>	0,00	0,00	2,04	0,36	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00
<i>Uvigerina peregrina</i>	0,00	0,00	0,00	2,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Uvigerina subperegrina</i>	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Valvulineria sp. 1</i>	2,23	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00	0,00
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Total de individuos	403	36	98	281	135	192	281	243	172
Total de especies	51	13	39	37	35	40	36	40	35
Indice de Fisher	15,4	7,3	23,9	11,4	15,3	15,3	10,9	13,6	13,2
Indice de Shannon	2,69	2,11	3,27	2,31	2,97	3,26	2,81	2,80	2,89
Calcáreos	99,01	100	100	100	100	100	100	100	100
Aglutinados%	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Infaunales%	62,7	91,6	57,1	91,1	67,4	78,6	70,1	60,4	65,1
Epifaunales%	34,7	5,5	41,8	8,54	32,5	18,7	27,7	36,2	33,7
Buliminids s.l%	55,3	86,1	41,8	82,2	51,8	50,5	61,9	51	54

Buliminids s.s%	3,23	13,8	3,06	20,2	0,00	1,04	0,00	1,2	1,1
Bolivinids s.s	3,9	52,7	9,1	53,7	21,4	21,8	18,8	9,05	8,7
Cluster A %	4,2	38,8	10,2	82,2	16,3	20,3	19,5	6,58	9,88
Cluster B%	16,8	19,4	59,1	4,6	68,8	65,6	64,4	73,2	56,9
Cluster C%	65,51	2,7	18,3	0,71	1,4	2,08	10,3	11,1	19,7

*La muestra 8-9 cm no es representativa y no se utilizó para los análisis clúster ni DCA.

Figura 8. Gráfico de dispersión de número de ejemplares contra número de especies para corroborar la representatividad de las muestras.

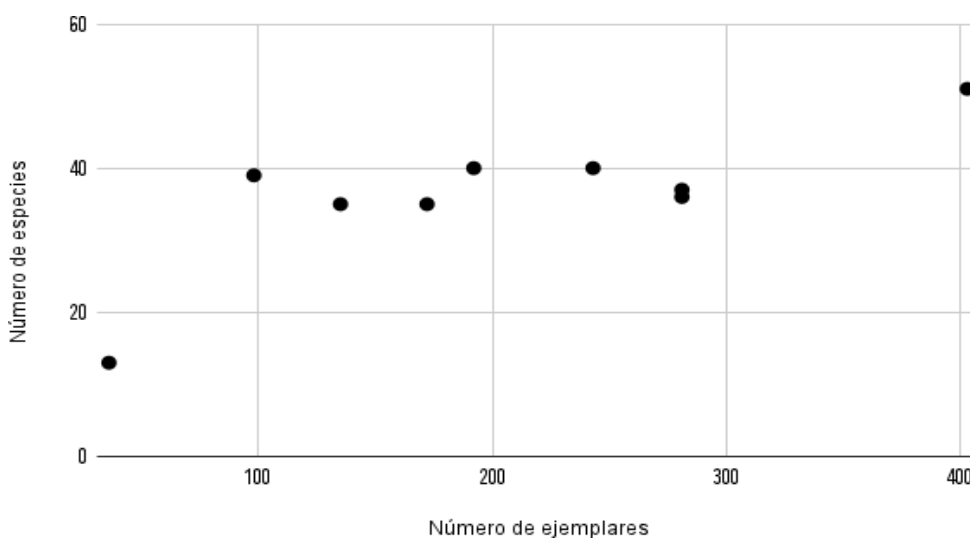


Tabla III. Lista taxonómica de las especies comunes.

Alabama obtusa (Burrows y Holland, 1897) = *Pulvinulinella obtusa* (Burrows y Holland, 1897) = *Pulvinulina exigua* var. *obtusa* Burrows y Holland, 1897

Anomalinoides alazanensis (Nuttall, 1932) = *Anomalina alazanensis* Nuttall, 1932

Bolivina costata d'Orbigny, 1839

Bolivina hootsi Rankin, 1934

Bolivina ordinaria Phleger y Parker, 1952 = *Bolivina simplex* Phleger y Parker, 1951

Bolivina sp. 2

Bolivina striatula Cushman, 1922

Bolivina tongi Cushman, 1929

Buccella sp. 1

Buccella sp. 2

Buchnerina sp.

Cassidulina laevigata d'Orbigny, 1826

Cassidulina teretis Tappan, 1951

Lobatula lobatula (Walker y Jacob, 1798) = *Cibicides lobatulus* (Walker y Jacob, 1798) = *Echinus lobatulus* Walker y Jacob, 1798

Cibicidoides wuellerstorfi (Schwager, 1866) = *Anomalina wuellerstorfi* Schwager, 1866

Epistominella exigua subsp. *multiloculata* Kaiho, 1984

Fissurina sp. 2

Fursenkoina texturata (Brady, 1884) = *Virgulina texturata* Brady, 1884

Globocassidulina subglobosa (Brady, 1881) = *Cassidulina subglobosa* Brady, 1881

Gyroidina io Resig, 1958

Gyroidina sp.

Lagena sp. 1

Lagena sp. 2

Neouvigerina hispida (Schwager, 1866) = *Uvigerina hispida* Schwager, 1866

Nonion sp.

Nonionella sp.

Oridorsalis sp.

Oridorsalis umbonatus (Reuss, 1851) = *Rotalina umbonata* Reuss, 1851

Palliolatella sp. 1

Paralabamina sp.

Patellina sp.

Pleurostomella acuta Hantken, 1875

Pleurostomella tenuis Hantken, 1883

Pseudoparrella californica (White, 1956) = *Epistominella pontoni* var. *californica* White, 1956

Takayanagia delicata (Cushman, 1927) = *Cassidulina delicata* Cushman, 1927

Uvigerina hootsi Rankin, 1934

Uvigerina peregrina Cushman, 1923

Uvigerina spinosa Boersma, 1984

Valvulineria sp.

Tabla IV. Tabla de preferencias ecológicas.

Clúster	Especie	Preferencia ecológica	Referencia
	<i>P. acuta</i>	Alto suministro de alimento.	Thomas et al. (2000) en Arreguín-Rodríguez et al. (2016)
	<i>B. costata</i>	Bajos niveles de oxígeno, pero también prospera en entornos oxigenados. Habita la OMZ, en zonas de alto contenido de carbono y surgencias, oportunistas. Sedimentos de arena intermareal y de grano fino. Asociada con cambios en la fertilidad enfatizados durante etapas interglaciares.	Romero (2021); Cardich et al. (2015); Heinze y Wefer (1992); Ingle (1980); Fajemila et al. (2015)
	<i>B. tongi</i>	Saturación de oxígeno: 1.6-4.6 (ml/l). Producción primaria: 147.8-335.8 (g org. C ⁻² yr ⁻¹).	Altenbach et al. (2003)
	<i>B. striatula</i>	Saturación de oxígeno: 1.6-4.9 (ml/l). Producción primaria: 92.7-337.6 (g org. C ⁻² yr ⁻²). Con influencia de alta productividad, asociada a surgencias. Tolerante a reducción de salinidad. Sedimentos lodo-arenosos.	Abu-Zied et al. (2007); Altenbach et al. (2003); Boltovskoy et al. (1980); Debenay (2012); Mendes et al. (2012); Levy et al. (1993)
A	<i>P. tenuis</i>	Alto suministro de alimento.	Thomas et al. (2000) en Arreguín-Rodríguez et al.

		(2016)
	<i>U. peregrina</i>	Indicador de alta productividad primaria. Eutrófico. Aguas frías. Vive en sedimento de arena y lodo. Prefieren ambientes pobres en oxígeno (OMZ), alto contenido de oxígeno y oportunista en condiciones de bajo oxígeno.
		Bandy y Arnal (1957); Schmiedl et al. (2004); Eichler et al. (2012); Boltovskoy et al. (1980); Murray (1973, 2006, 2014); Ovsepyan y Ivanova (2009); Levy (1993); Hermelin y Shimmield (1990) en Suokhrie et al. (2021); Das et al. (2017)
	<i>N. hispida</i>	Bajo contenido de oxígeno en la capa de agua de fondo. Flujo de materia orgánica.
		Ovsepyan y Ivanova (2009)
	<i>A. alazanensis</i>	Abundantes en intervalos ricos en carbonatos y baja abundancia en los niveles margosos.
		D'haenens et al. (2012)
	<i>C. wuellerstorfi</i>	Condiciones eutróficas con alta afluencia de materia orgánica. Prefiere la interfaz sedimento-agua para atrapar partículas de alimento. Anclado a superficies duras (puede tolerar corrientes fuertes).
		Lutze y Thiel (1989); Oxsepyan y Ivanova (2009); Arreguín-Rodríguez (2016).
	<i>Lagena</i> sp.	Subóxica. Puede ser parasitario de otros foraminíferos.
		Das et al. (2017); Murray (2003)
	<i>Nonion</i> sp.	Temperaturas frías a cálidas. Sedimentos arena-lodo.
		Murray (2014)
B1	<i>F. texturata</i>	Concentraciones bajas de oxígeno (disóxico). Oportunista. Restringido al fitodetritus.
		Das et al. (2017)
	<i>Gyroidina</i> sp.	Bajo oxígeno y abundante alimento. Eutrófico. Temperaturas frías.
		Murray (2014); Mullins et al. (1985); Jayaraju et al. (2010); Geraga et al. (2000)
	<i>Nonionella</i> sp.	Temperaturas cálidas.
		Murray (2014)

	<i>U. hootsi</i>	Bajo oxígeno.	Hornafius (1991)
	<i>B. hootsi</i>	Bajo oxígeno y abundante suministro de alimento. Habita la Zona Mínima de Oxígeno.	Sen Gupta y Machain-Castillo (1993); Thomas (1998); Jorissen et al. (2007); Arreguín Rodríguez et al. (2016); Coates et al. (2004)
	<i>O. umbonatus</i>	Agua de fondo bien aireada. Subóxica a óxica. Moderada afluencia de materia orgánica. Cosmopolita, tiene amplia tolerancia ambiental.	Altenbach et al. (1995) en Murray (2003); Mackensen et al. (1995); Thomas y Shackleton (1996); Katz et al. (1999); Foster et al. (2013); Ovsepyan y Ivanova (2009); Das et al. (2017)
B2	<i>L. lobatula</i>	Variación eco-fenotípica. Tolerante a variación en los sedimentos. Muy común en áreas con corrientes.	Sen Gupta (1989); Rathburn y Corliss (1994); Levy et al. (1993); Murray (2013)
	<i>Palliolatella</i> sp.	-	-
	<i>Fissurina</i> sp.	Cosmopolita.	Loeblich y Tappan (1982)
	<i>Lagena</i> sp.	Puede ser parasito de otros foraminíferos. Subóxico.	Murray (2003); Das et al. (2017)
	<i>Gyroidina io</i>	Bajo contenido de oxígeno y bajas temperaturas.	Alegret et al. (2003); Uchio (1960)
	<i>Buchnerina</i> sp.	Subóxico.	Alegret et al. (2003)
	<i>Oridorsalis</i> sp.	Indicadora de masas de agua modernas profundas. Bajas temperaturas. Sustrato lodoso.	Rodrigues y Hooper (1982); Murray (2014)
	<i>E. pontoni</i>	Se ha encontrado en asociaciones de sedimentos anóxicos. Son menos abundantes en muestras más oxigenadas.	Bernhard (1986)

	<i>Buccella</i> sp.	Sedimento lodoso. Detritívoro. Temperatura fría-templada.	Murray (2014)
B3	<i>C. laevigata</i>	Ambiente deficiente de oxígeno, ricos en carbono orgánico y temperatura baja. Alta productividad primaria. Sedimentos arena-lodo.	Mackensen et al. (1985); Gorbarenko et al. (2002); Mendes et al. (2012); Suokhrie et al. (2021)
	<i>C. teretis</i>	Alta productividad primaria. Indicador de aguas cálidas en regiones polares y boreales.	Seidenkrantz (1995); Gorbarenko et al. (2002)
	<i>T. delicata</i>	Hábitats subóxicos a bajos en oxígeno, temperaturas de 3,5-7,3°C. Aguas frías.	Bandy y Arnal, (1957); Sen Gupta y Machain-Castillo (1993); Murray (2014)
	<i>E. exigua</i>	Flujo de fitodetrito estacional, donde hay abundante alimento disponible de forma episódica. Oportunista.	Gooday (1988, 1996); Smart et al. (1994); Ernst y van der Zwaan (2004)
C	<i>Patellina</i> sp.	Adherido a sustratos duros. Temperaturas fría a cálida.	Murray (2003, 2014)
	<i>Valvulineria</i> sp.	Baja concentración de oxígeno en el sedimento y altos porcentajes de materia orgánica. Ocurre en sedimentos bioturbados junto con los géneros <i>Cassidulina</i> , <i>Epistominella</i> y <i>Gyroidina</i> .	Jorissen (1987); Bergamin et al. (1999); Fajemila et al. (2015); Heinze y Wefer (1992)
	<i>G. subglobosa</i>	Óxico. Oportunista. Responde a los pulsos de aporte de alimento. Aguas frías. Sedimento: limo.	Boltovskoy et al. (1980); Murray (1973, 2006, 2014); Schonfeld, (2001) en Murray (2003), Ernest y van der Zwaan (2004); Jorissen et al. (2007); Smart et al. (2009)-ambos en Arreguín Rodríguez et al. (2016)
	<i>Paralabamina</i> sp.	Oligotrófico.	Alegret y Thomas, (2009)

Tabla V. Grupos supragenéricos basados en las características morfológicas, los géneros remarcados son aquellos encontradas en las muestras.

Buliminids <i>s.l.*</i>	Buliminids <i>s.s.*</i>	Bolivinids <i>s.s.</i>
<i>Angulogerina</i>	<i>Angulogerina</i>	<i>Bolivina</i>
<i>Aragonia</i>	<i>Bulimina</i>	<i>Bolivinoides</i>
<i>Bolivina</i>	<i>Buliminella</i>	<i>Tappanina</i>
<i>Bolivinoides</i>	<i>Globobulimina</i>	
<i>Bulimina</i>	<i>Quadratobuliminella</i>	
<i>Buliminella</i>	<i>Reussella</i>	
<i>Cassidulina</i>	<i>Siphogenerinoides</i>	
<i>Coryphostoma</i>	<i>Uvigerina</i>	
<i>Ellipsoglandulina</i>		
<i>Ellipsoidella</i>		
<i>Ellipsoidina</i>		
<i>Elipsopolymorphina</i>		
<i>Eouvigerina</i>		
<i>Fursenkoina</i>		
<i>Globobulimina</i>		
<i>Globocassidulina</i>		
<i>Laterohiatus</i>		
<i>Nodosarella</i>		
<i>Obesopleurostomella</i>		
<i>Pleurostomella</i>		
<i>Praebulimina</i>		
<i>Pyramidina</i>		
<i>Quadratobuliminella</i>		
<i>Rectobulimina</i>		
<i>Reussella</i>		
<i>Siphogenerinoides</i>		

Tappanina

Turrilina

Uvigerina

Suggrunda

*Abreviaturas: *s.l.* = *sensu lato*; *s.s.* = *sensu stricto*.