



Foraminíferos bentónicos: Principales eventos paleoclimáticos y paleoceanográficos de Chile Central durante el Pleistoceno superior.

Autora: Flavia Velásquez Ruiz.

Profesor Guía: Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn.

Profesores Comisión: Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra.

Msc. Abraham Elías González Martínez.

Resumen

Estudio basado en el testigo oceánico 1234-A (36°14'S; 73°41'W) recolectado el año 2002 en el crucero paleoceanográfico "Transecta Paleoceanográfica en el Pacífico SurOriental", del Ocean Drilling Program (ODP), Expedición 202, por el R/V JOIDES Resolution. La secuencia sedimentaria recuperada de 230 m de potencia, es típicamente hemipelágica, está constituida por arcillas y arcillas limosas con abundantes nanoplacton calcáreo, diatomeas y foraminíferos. Posee niveles de ceniza volcánica y ocasionales flujos turbidíticos, que incluyen además arenas y gravas.

El estudio se centró en los foraminíferos bentónicos y se investigó el posible origen de los flujos turbidíticos. Las masas de aguas inferidas coinciden con las individualizadas por Ingle *et. al.* (1980) actualmente en el área, lo que hace discutible la presencia en la zona de estudio de aguas de origen circumpolar antártico, así como la ocurrencia de "surgencias". Estas últimas serían mucho más costeras.

La edad del testigo queda restringida al Pleistoceno superior, donde su máxima edad sería próxima a 150 mil años, faltando 10 mil años al inicio del testigo debido a la ausencia del máximo cálido correspondiente al hipsotérmico (Imbrie, 1984).

Palabras claves: Foraminíferos bentónicos, eventos paleoclimáticos y paleoceanográficos, Chile Central, Pleistoceno superior.

1. Introducción

1.1. Ubicación zona de estudio

El estudio se centró en el testigo oceánico ODP 1234-A, el cual se extrajo de la parte superior del talud continental, frente a la ciudad de Cauquenes, 65 km costa afuera, en las coordenadas geográficas 36°14'S; 73°41'W O y 60 km antes de la fosa de Chile-Perú (Figura 1).

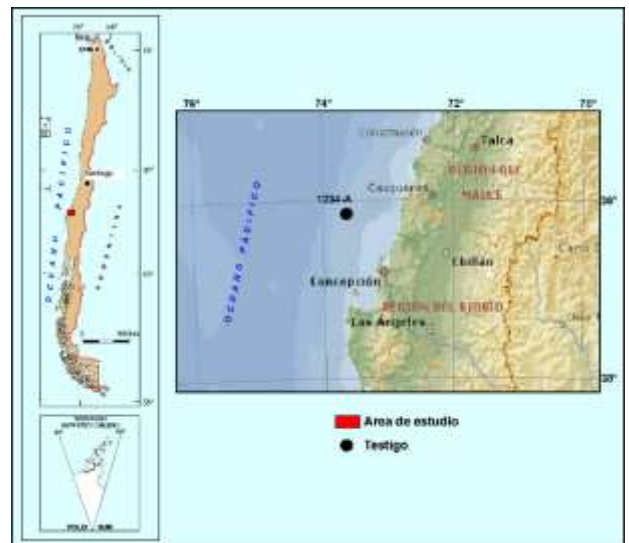


Figura 1. Ubicación del testigo 1234-A.

1.2. Objetivo principal

Establecer mediante foraminíferos bentónicos, los principales eventos paleoclimáticos y paleoceanográficos registrados en el testigo y su eventual significado para la historia paleoclimática y paleoceanográfica de Chile Central, durante el Pleistoceno Superior.



1.3. Objetivos secundarios

Individualizar las distintas paleo-masas de agua registradas en el testigo y la eventual existencia de una paleozona de surgencia de alta productividad, similar a la actualmente admitida entre el área de estudio y la zona costera contigua.

1.4. Agradecimientos

Quiero agradecer de manera especial al SERNAGEOMIN, en general, y a su Oficina Técnica de Puerto Varas, en particular, por hacer posible la realización de este estudio y por todo el soporte de terreno, técnico y de laboratorio, que ello demandó.

Al Profesor Sr. Rubén Martínez (Q.E.P.D.), por su ayuda en la identificación e interpretación de los foraminíferos y por su gran entrega y dedicación al campo de la Geología Marina y la Micropaleontología. A los profesores y profesoras, funcionarias/os de la UDEC y en especial al profesor Luis Quinzio Sinn por aceptar ser mi Profesor Guía en la parte final de este viaje oceánico al pasado.

2. Marco Geológico

El testigo 1234-A que se extrajo de la parte superior del talud continental se localiza (Figura 2), de acuerdo con la morfología submarina, fuera del extremo NW de la Cuenca de Itata a 1.015 m de profundidad.

La Cuenca de Itata, emplazada en la plataforma continental entre los paralelos 36° y 37° de latitud Sur, al norte de la desembocadura del río Itata, frente a la ciudad de Cauquenes e incluye el valle submarino del Itata (Mordojovich, 1981), es parte de la Mega-Cuenca de Navidad-Arauco (Yrigoyen, 1991), la cual se extiende desde Valparaíso hasta la península de Arauco.

La edad de la Cuenca de Itata es Cretácico-Terciaria (Cretácico-Neógeno) y se caracteriza por la alternancia de secuencias sedimentarias marinas y continentales, que se disponen sobre un basamento de rocas metamórficas priesozoicas, en posición tectónica de antearco. Estas rocas sedimentarias se interdigitan entre sí, y sobreyacen en inconformidad a las rocas metamórficas, constituidas por filitas, esquistos micáceos y

metarenitas, asignadas a la Serie Oriental (Aguirre *et al.*, 1972 & Hervé, 1988), del Paleozoico superior. El protolito de las rocas metamórficas corresponde a sedimentos con alto contenido de arcillas (aporte terrígeno) de la plataforma continental, que llegó a las profundidades debido a corrientes de turbidez (facies distales) o a través de cañones submarinos y los depósitos se habrían producido, principalmente, a partir de partículas finas en suspensión (Cartes, 2004).

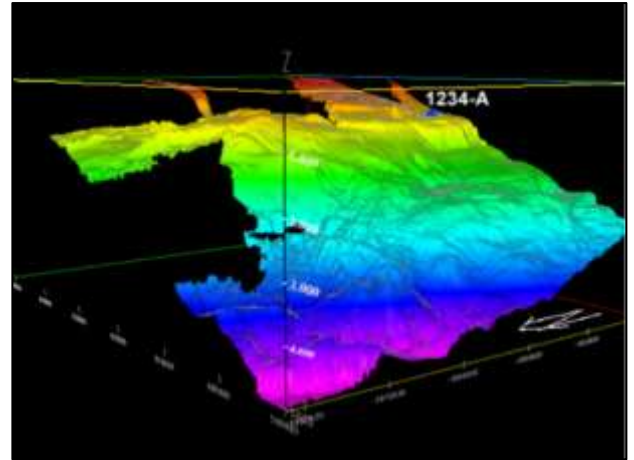


Figura 2. Morfología y batimetría del margen continental y la ubicación del testigo 1234-A.

En la parte occidental de la Región del Biobío, a fines del Cretácico Superior, ocurre la deposición de la Formación Quiriquina, cuya litología y sucesión faunística sugieren estadios típicos de una secuencia siliciclástica transgresiva con influencia de tormentas, que van desde un ambiente intertidal (en la parte inferior) hasta el subtidal relativamente profundo (parte superior), poniendo fin a un largo período sin registro de sedimentación, que se inició en el límite Triásico-Jurásico. Esta transgresión marca el inicio de una serie de eventos que se extenderán durante el Cretácico Superior (Maastrichtiano), el Terciario (Paleógeno y Neógeno) y el Cuaternario.

La sedimentación caracterizada por la alternancia de secuencias marinas y continentales, que se depositan sobre rocas paleozoicas correspondientes al Basamento Cristalino, ocurre en una cuenca de posición tectónica de antearco, sobre una amplia plataforma continental epeirogénicamente oscilante, entre la fosa y el arco volcánico magmático, el cual estaba emplazado en



corteza continental relativamente evolucionada (Frutos *et al.*, 1985).

3. Marco Oceanográfico

3.1. Generalidades

Según los registros de temperatura y salinidad superficiales (Figura 3), el área de estudio se enmarca en la Zona Central-Transicional, que se extiende desde la convergencia Subtropical hasta la latitud 43° S (Cañón & Morales, 1985), latitud a la cual adquiere mayor intensidad la internación de la deriva del Oeste, que da origen a la Corriente de Humboldt.

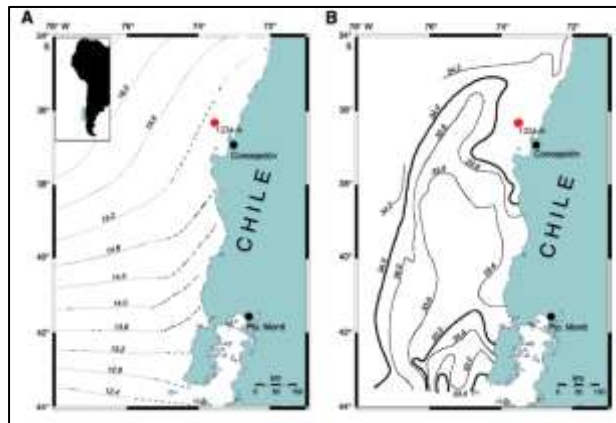


Figura 3. A): Temperatura (°C) media anual superficial y B) salinidad media anual del océano pacífico, entre los 34° y 44° S, y ubicación del testigo 1234-A. Tomado de Preliminary Summary of Drilling Results, Leg 202, 18 June, Texas A & M University y corregido según Strun *et al.*, 1998 & Imbrie *et al.*, 1984.

La surgencia de masas de agua se manifiesta habitualmente por la ocurrencia de temperaturas más bajas en el borde costero del área de estudio. El aporte fluvial se expresa también en bajas salinidades costeras, pero no tiene tanta influencia como en otras zonas por su menor volumen.

3.2. Masas de Aguas

Silva y Sievers (1974) utilizando diagramas de temperatura versus salinidad (T/S), en la Zona Central-Transicional, donde se enmarca el área de estudio, diferencian cuatro masas de aguas entre la superficie y los 1.500 m de profundidad (Figura 4): Agua Subantártica (ASA), Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), Agua Intermedia Antártica (AIA) y Agua Fría Profunda del Pacífico (AFPP).

3.3. Corrientes oceánicas

El testigo se enmarca en un sistema de corrientes y contracorrientes que fluyen paralelas a la costa, las que interactúan en forma compleja (Wyrтки, 1965).

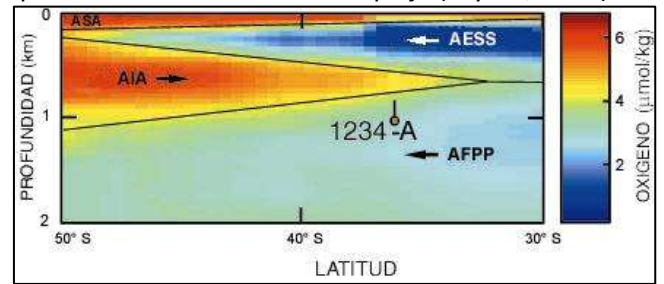


Figura 4. Principales masas de aguas en el área de estudio. ASA: agua subantártica, AIA: masa de agua intermedia antártica, AESS: masa de agua ecuatorial subsuperficial y AFPP: masa de agua fría profunda del Pacífico.

Sievers (1970) describe al respecto tres flujos superficiales y uno subsuperficial (Figura 5), donde las corrientes superficiales corresponden a: la Corriente Costera de Humboldt (CCH), Corriente Oceánica Humboldt (COH), ambas en dirección hacia el norte, y la contracorriente de Perú-Chile (CPCH) que va hacia el sur. El flujo subsuperficial corresponde a la llamada Corriente de Gunther en dirección al sur. Esta última corriente también es llamada corriente subsuperficial Perú-Chile.

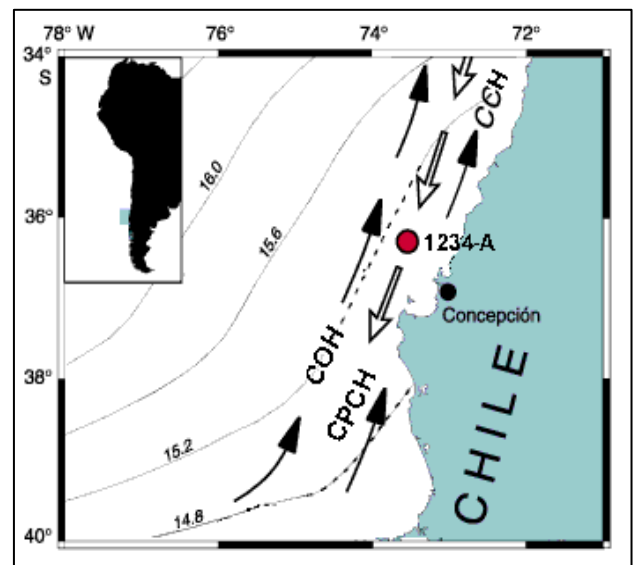


Figura 5. Principales corrientes en el área de estudio. COH=Corriente Oceánica de Humboldt, CPCH=Contracorriente de Perú-Chile y CCH=Corriente Costera de Humboldt.

En el área de estudio, bajo el Agua Subtropical, de la Corriente de Chile-Perú, con alto contenido de



oxígeno (5 ml/l) y elevada salinidad, existen dos zonas de oxígeno mínimo (ZOM) (Figura 6).

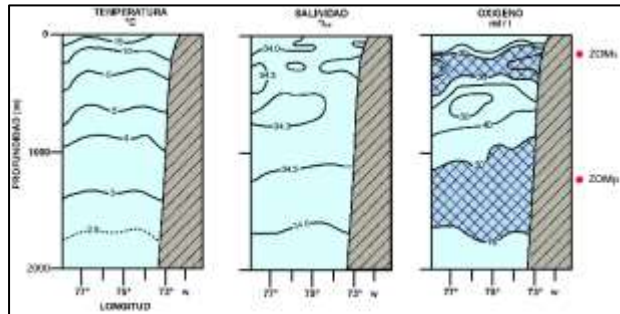


Figura 6. Curvas de temperatura, salinidad y oxígeno. Se muestran las zonas de oxígeno mínimo (ZOM), en condiciones actuales (tomado de Ingle *et al.*, 1980. Lat. 36° S).

La primera, entre 150 y 400 m de profundidad, individualizada como Zona de Oxígeno Mínimo Superficial (ZOMs), tiene su origen en la degradación de la materia orgánica procedente desde la zona eufótica que está condicionada, a su vez, por la circulación oceánica (Wyrski, 1962). A ello se agrega, la excepcional carga de materia orgánica producto de las surgencias desarrolladas a lo largo del límite oriental del Pacífico (Tsuchiya & Talley, 1998).

La segunda zona ubicada entre 900 y 1.700 m de profundidad corresponde a la Zona de Oxígeno Mínimo Profunda (ZOMp), ocurre dentro de la parte inferior del Agua Antártica Intermedia, caracterizada por su alta salinidad y riqueza de nutrientes, está constituida por aguas subtropicales pobres en oxígeno (<3 ml/l).

La importancia de lo anterior es que la distribución batimétrica de parte significativa de la biota bentónica del margen continental, incluidos los foraminíferos bentónicos, está vinculada con la distribución batimétrica de la temperatura, salinidad, oxígeno, fosfato, nitrato y contenidos en silicio de las masas de agua reconocidas en el área, en particular cuando se usa el límite superior de la distribución batimétrica de las especies presentes (Murray, 1991).

El cambio más significativo, como ocurre a nivel global, y también a lo largo del margen Pacífico Sudamericano, coincide con la base de la Zona de

Mínimo Oxígeno Superior (ZOMs), alrededor de los 400 m de profundidad en el área de estudio, donde 35 especies de foraminíferos bentónicos, de máxima abundancia, tienen su rango batimétrico inicial o superior (Ingle *et al.*, 1980).

4. Metodología

Los sedimentos se recuperaron mediante la recolección de testigos, utilizando las perforadoras tipo Advanced Piston Core (APC), que se usan en los sedimentos no consolidados. El testigo 1234-A fue dividido en 22 secciones, de cada una de las cuales se sacó una pequeña cantidad de sedimento como muestra. La porción para el estudio micropaleontológico se tomó de la base de cada una de las secciones (del core cacher).

El procesamiento de las muestras se hizo lavándolas con agua corriente sobre tamiz de malla 63 μm . El residuo resultante, se secó calentándolo en una fuente enlozada y luego conservado en pequeñas bolsas plásticas hasta su estudio posterior.

La determinación y recuento de las especies se realizó bajo un microscopio binocular (Motic), disponiéndose el material estudiado en Regillitas Micropaleontológicas impregnadas con una solución de Goma Tragacanto (que facilita el montaje y conservación posterior de los ejemplares determinados). Se fijó como sesgo estadístico el recuento aleatorio mínimo de 300 individuos en cada una de las muestras, exigencia que permite reducir al mínimo el error probable en los porcentajes posteriores (Pettijohn, 1963). Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 1, Anexo 1.

5. Resultados

5.1. Estratigrafía

La longitud del testigo 1234-A es de 238,9 m, en él se observan características primarias como laminación plana a ondulada y el color del sedimento es mayoritariamente verde oliva oscuro a gris oscuro, lo que sugiere pequeñas variaciones en su composición; lo que se repite hasta la base del testigo (Figura 1, Anexo 1).

La fracción <63 μm es relativamente homogénea en términos granulométricos, entre arcilla y arcilla limosa, e incluye nanofósiles y diatomeas. Posee, como componente menor calcita autógena y ceniza



volcánica, y ocasionalmente se ven registros de cuarzo, anfíbola, piroxenos, micas, glauconita y minerales opacos. Los componentes biogénicos principales son nanofósiles y diatomeas, que varían en abundancia a través de la secuencia sedimentaria. Los foraminíferos son componentes de tercer orden.

A lo largo del testigo son comunes los fragmentos de conchas de moluscos (gastropodos y pelecípodos principalmente). En términos granulométricos, el testigo solo muestra incrementos ocasionales mayores de $>63 \mu\text{m}$ (Figura 7), con una gradación normal hacia la base del testigo.

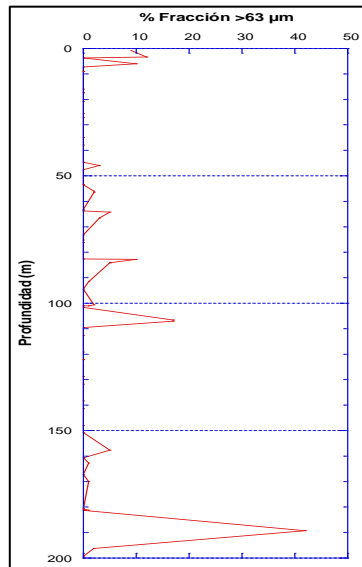


Figura 7. Gráfico de la fracción $>63 \mu\text{m}$, del testigo 1234-A.

5.2. Paleontología

5.2.1. Micropaleontología

Se reconocieron 77 especies de foraminíferos bentónicos (Tabla 1, Anexo 1). Los porcentajes se aproximaron al entero correspondiente para poder facilitar el trabajo. Las especies más significativas reconocidas son las siguientes:

- Bolivina interjuncta bicostata* Cushman, 1926.
- Bolivina spissa* Cushman, 1926
- Bulimina mexicana* Cushman, 1922
- Cibicides wuellerstorfi* Schwager, 1866
- Epistominella pacifica* Cushman, 1927
- Florilus grateloupi* Cushman, 1927
- Globbulimina affinis* (d'orbigny), 1839

- Globbulimina ovula* (d'orbigny), 1839
- Globbulimina pupoides* (d'Orbigny, 1846)
- Nonionella auris* (d'orbigny, 1839)
- Stainforthia* sp Egger, 1893
- Uvigerina peregrina* Cushman, 1927

En la Figura 8 se observan las especies más abundantes graficadas. Las observaciones ambientales generales sobre las principales especies presentes en el testigo 1234-A se encuentran en el Anexo 1, así como sus imágenes.

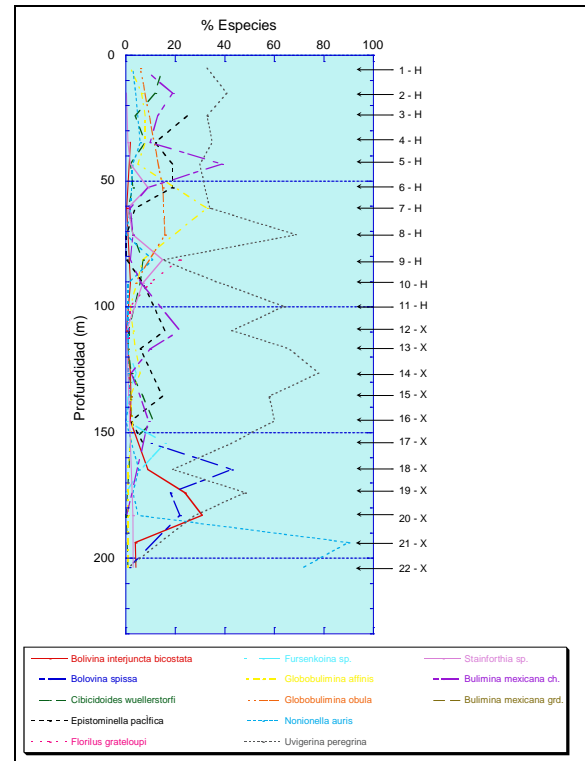


Figura 8. Gráfico de las especies más representativas del testigo 1234-A

5.2.2. Asociaciones Foraminífera Bénticas del Testigo 1234-A

Para los porcentajes obtenidos en el recuento total se puso un sesgo ≥ 300 individuos y toda especie menor al 3% se consideró no significativa en términos ambientales, dejándose de lado para la interpretación final.

De acuerdo con el desarrollo estratigráfico a lo largo del testigo 1234-A, las asociaciones foraminíferas bénticas (Figura 2, Anexo 1), de base a techo son las siguientes:

- a) Asociación Foraminífera-Béntica A-1 (AFB-A1):



Uvigerina peregrina (35-45%) es la especie dominante, seguida de *Bolivina spissa* (20-30%) y *Bolivina interjuncta bicostata* (15-25%) que son las especies de segundo orden. Las especies de tercer orden son, *Cibicidoides wuellerstorfi* (0-1%), *Globobulimina affinis* (1%) y *Stainforthia complanata* (3%). Se encuentra entre los 170 y los 230 m, correspondientes a la base del testigo. Es la asociación más antigua reconocida en el testigo en referencia.

b) Asociación Foraminífera-Béntica A-2 (AFB-A2):

Con *Bolivina spissa* (15-40%) como especie dominante. *Uvigerina peregrina* (alrededor de los 19%) como especie de segundo orden. Las especies de tercer orden son *Bolivina interjuncta bicostata* (5-15%) y *Nonionella auris* (0-4%). Se distribuye entre 155 y 170 m, y sugiere una zona de paleoxígeno medio, con temperaturas de fondo de 4°C a 6°C. La disminución drástica de la *Uvigerina peregrina* en esta zona, avala la interpretación propuesta.

c) Asociación Foraminífera-Béntica A-3 (AFB-A3):

Uvigerina peregrina (55-43%) como especie dominante y *Bulimina estriata mexicana* (22-15%) de segundo orden. Las especies de tercer orden son *Epistominella exigua* (16-10%), *Globobulimina affinis* (2-3%) y *Cibicidoides wuellerstorfi* (1-2%). Se extiende desde los 95 m hasta los 155 m y está caracterizada por un nuevo aumento del porcentaje de ejemplares de *Uvigerina peregrina*, individualizado como máximo menor (I)

d) Asociación Foraminífera-Béntica A-4 (AFB-A4):

La especie de primer orden es *Uvigerina peregrina* (15-50%) y *Florilus grateloupi* (10-22%) de segundo orden. Como especies de tercer orden se encuentran *Stainforthia* sp. (15-7%), *Nonionella auris* (11-6%) y *Cibicidoides wuellerstorfi* (7-6%). Se desarrolla entre los 70 y los 95 m. En esta zona se evidencia la desaparición definitiva de *Globobulimina obula* en los registros.

e) Asociación Foraminífera-Béntica A-5 (AFB-A5):

La especie que domina en esta zona es *Uvigerina peregrina* (33-69%). *Bulimina estriata mexicana* (22-39%) es la especie de segundo orden. Las de tercer orden son *Globobulimina affinis* (20-33%), *Epistominella exigua* (12-25%) y *Cibicidoides*

wuellerstorfi (8-15%). Se desarrolla entre los 5,30 y 75 m de. Se caracteriza por un fuerte incremento de *Uvigerina peregrina* entre los 60 y 70 m, que define su máximo bioestratigráfico en el testigo; individualizado como máximo mayor (II).

5.2.3. Principales Eventos Bioestratigráficos

Los principales eventos bioestratigráficos reconocidos a lo largo del testigo 1234-A (Figura 2, Anexo 1) son:

a) Bioevento B-1:

Las especies con mayor aparición corresponden a *Uvigerina peregrina*, *Bolovina spissa* y *Bolovina interjuncta* que están en la AFB-A1. Se desarrolla entre los 170 m y los 230 m (correspondientes a la base del testigo). Esta sería la asociación más antigua de la depositación marina en el testigo en referencia. Las temperaturas de las aguas fluctúan entre los 2º y 18º C. Estas aguas sería disoxicas y profundas. Alrededor de los 180 m la *Uvigerina peregrina* marca un máximo para después de caer hasta el 2%, cosa similar para la *Bolivina spissa*.

El aumento de *Nonionella auris*, marcando un máximo alrededor de los 200 m (90%), es claramente producto de una redepositación causado por turbiditas, ya que esta especie es típica de zonas costeras.

b) Bioevento B-2:

Se desarrolla entre los 155 y los 170 m. Las especies dominantes son *Bolivina spissa*, *Uvigerina peregrina* y *Bolovina interjuncta bicostata*, las que pertenecen a la AFB-A2. Esta zona corresponde a la primera zona de paleoxígeno medio la cual se ve reforzada por el aumento de la *Bolivina spissa* (40%). La temperatura de las aguas sería de 4º a 6º. Se ve una disminución drástica de *Uvigerina peregrina*, lo que estaría reivindicando esta ZOM pasada.

c) Bioevento B-3:

Las especies dominantes son *Uvigerina peregrina*, *Bulimina estriata mexicana* y *Epistominella exigua*, todas pertenecientes a la AFB-A3. Se desarrolla esta zona entre los 95 y los 155 m de profundidad, en donde se ve un claro aumento de *Uvigerina peregrina* en este rango de profundidad. Alrededor de los 150 m de profundidad, y bordeando el límite



de esta zona, comienza a aparecer *Bolivina spissa*. Corresponde a una zona de alto oxígeno y con temperaturas entre los 6°C y 12°C. De acuerdo con la asociación de las especies esta correspondería a una zona de paleoaguas intermedias.

d) Bioevento B-4:

Entre los 70 y los 95 m. Las especies dominantes son las de la AFB-A4. Corresponde a la segunda zona de paleo-oxígeno medio con temperaturas del agua entre los 5°C y 8°C. Aquí se evidencia una disminución importante de *Uvigerina peregrina* alrededor de los 80 m de profundidad y se ve contrarrestada por el aumento de *Nonionella auris* y de *Stainforthia* sp.

e) Bioevento B-5:

Las especies que integran este bioevento pertenecen a AFB-A5. De acuerdo a los registros de esta zona y al aumento de *Uvigerina peregrina* alrededor de los 70 m de profundidad, indicarían que las aguas abrían tenido temperaturas entre los 18°C y 22°C y con oxígeno abundante.

5.3 Paleoambientales

La Figura 9 grafica el comportamiento de las asociaciones foraminíferas bénticas a lo largo del testigo, con respecto a la probable temperatura de fondo de las masas de aguas involucradas.

Dichas temperaturas están basadas en los porcentajes máximos de las especies dominantes, es decir sus condiciones óptimas en términos de temperatura, salinidad, oxígeno y carbón orgánico total.

Las probables masas de aguas directamente relacionadas con las asociaciones foraminíferas bénticas reconocidas en el testigo 1234-A, se indican en la Figura 3, Anexo 1. La base de datos utilizada con tal objeto es el trabajo de Ingle *et al.* (1980).

La primera masa de agua involucrada en los registros del testigo 1234-A sería la masa de Agua Fría Profunda del Pacífico (AFPP), la que se registraría entre 155 y 230 m, en la base del testigo. Los bioeventos involucrados aquí son B-1 y B-2 con AFB-A1 y AFB-A2.

En la parte superior de esta masa de agua estaría la zona de paleoxígeno medio, que en el testigo se registra entre 155 y 170 m de profundidad. En dicha zona las temperaturas serían del orden de 5°C, con valores de oxígeno próximos a 3 ml/l. Las temperaturas para la parte media, y posiblemente la parte más profunda de esta masa de agua, variarían entre 6°C y 2°C como su mínima, para la base del testigo, lo que hace inferir que esa temperatura correspondería a la parte inferior de la masa de agua profunda. Los valores de oxígeno para esta zona de AFPP estarían entre 3,5 ml/l.

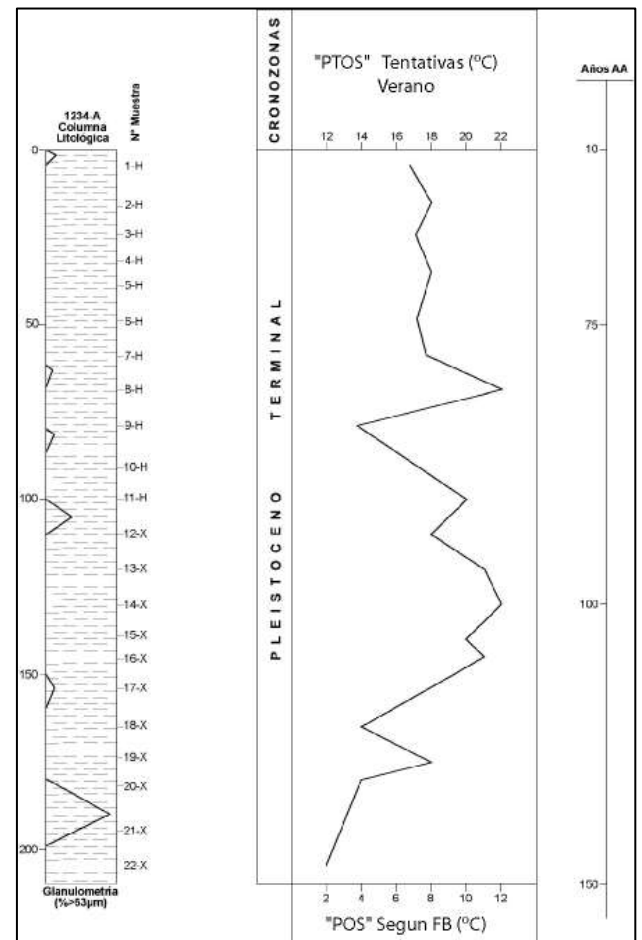


Figura 9. Curva de temperatura, sobre la base de los foraminíferos bénticos del testigo 1234-A. PTOS = Paleotemperaturas Oceánicas Superficiales y POS = Paleotemperaturas Oceánicas de Fondo.

Una segunda masa de agua, diferenciada en el testigo se reconoce entre 95 y 155 m de profundidad y corresponde a Aguas Intermedia Antártica (AIA). En estas aguas está el bioevento B-3 y la AFB-A3. Las temperaturas de las aguas serían del orden de 8°C y los valores de oxígeno alrededor



de 4-5 ml/l. El límite inferior de esta masa de agua correspondería a las aguas profundas.

La tercera masa de agua correspondería a aguas superficiales vinculadas a la Corriente de Humboldt, y subsuperficiales asociadas a la Contracorriente de Perú, entre los 0 y 95 m de profundidad, en cuya zona más profunda sería la segunda zona de paleoxígeno medio, la que en el testigo 1234-A se ubica entre 70 y 95 m de profundidad. Los bioeventos involucrados para estas aguas superficiales son B-4 y B-5, con las respectivas AFB-A4 y AFB-A5. Las temperaturas habrían sido, para la parte superficial del orden de 10°C y para la zona más profunda alrededor de 6°C. Los niveles de oxígeno habrían sido altos, próximos a 4,5 ml/l y en la ZOM del orden de 3 ml/l.

6. Discusión

Durante el periodo representado por el Mioceno superior y el Plioceno inferior (ca. 10-3,5 Ma) la tectónica Andina ha demostrado ser claramente de tipo extensional o distensiva (Frutos *et al.*, 1985). Las secuencias sedimentarias marinas presentes sobre el margen continental en el área de estudio, se habrían depositado después de haber terminado un periodo en el cual predominaron los procesos tectónicos distensivos, que dieron origen a fallamientos normales y alzamientos diferenciales de bloques (horst-graben).

Debido a los fallamientos normales y la formación de horst-graben, la topografía del margen continental se transformó en una pendiente con desniveles o cuencas, las cuales fueron rellenadas con depósitos sedimentarios, principalmente de tipo pelágico, provenientes tanto del mar como del continente.

Estas cuencas hemipelágicas se muestran claramente en el perfil batimétrico (Figura 2) del margen chileno en la Figura 4a-b, Anexo 1, y en el perfil sísmico de la Figura 5, Anexo 1. Producto de este sistema de fallas es muy probable que las formaciones reconocidas sobre el continente se encuentren también bajo el mar, formando parte del margen continental y aparezcan cubiertas por sedimentos hemipelágicos a lo largo del Pleistoceno hasta el actual (Figura 6, Anexo 1).

En términos granulométricos, el testigo sólo muestra incrementos ocasionales mayores de >63 μm (Figura 8), lo que estaría indicando eventos distales, supuestamente turbiditas. Esta última alternativa es especialmente significativa hacia la base del testigo, donde hay clara evidencia de remoción de foraminíferos bentónicos procedentes de la plataforma.

7. Conclusiones

De acuerdo con los resultados del testigo 1234-A la edad máxima de éste es próxima a 150 mil años (Figura 9), lo que corresponde al Pleistoceno terminal. Faltarían, sin embargo, 10 mil años del inicio del testigo debido a la ausencia del máximo cálido correspondiente al hipotérmico (Imbrie *et al.*, 1984). Esto último, probablemente, como resultado de la obtención del testigo.

Las masas de aguas que se identificaron en el testigo 1234-A coinciden perfectamente con las de Ingle *et al.* (1980). Esto estaría descartando la presencia de surgencias de aguas mar adentro, siendo estas más costeras y favorecidas por la plataforma, que beneficiaría la surgencia de dichas aguas y no afectan directamente la zona en donde se encuentra situado el testigo 1234-A.

Del análisis de las paleomasas reconocidas en el testigo y de las corrientes que afectan al área de estudio (Strun *et al.*, 1998), la presencia de aguas de origen circumpolar resulta discutible, ya que no hay evidencias en el registro faunístico del testigo, como también en lo postulado por Strun *et al.* (1998).

De acuerdo con las edades estimadas para el testigo 1234-A, habría dos tasas de sedimentación:

1. La inicial, entre la base (fin del testigo) y los 50 m del testigo (ca. 150.000 años), lo que da una tasa de sedimentación aproximada de 0,127 cm/año.
2. La terminal, entre los 50 m y el techo o inicio del testigo (75.000-85.000 años), lo que significa una tasa estimada de sedimentación próxima a 0,053 cm/año.

El emplazamiento de las turbiditas estaría directamente asociado a la existencia de canales



submarinos o también a abanicos submarinos sobre la plataforma oceánica contigua.

8. Referencias

- AGUIRRE, L. 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile. *Krystalinikum*. Vol 9: 7-19.
- CAÑÓN J. & MORALES E. 1985. Geografía de Chile. Geografía del Mar Chileno. Instituto Geográfico Militar, Tomo IX. 244 pp. Santiago.
- CARTES, I. 2004. Petrografía y ambiente de depositación de las metapelitas paleozoicas con huellas fósiles entre Tomé y Lirquén VIII Región del Bío-Bío, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 115 pp. Concepción.
- FRUTOS, J.; OYARZÚN R. & PINCHEIRA M. 1985. Geología y Recursos Minerales de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción. Universidad de Concepción. Tomo I: 923 pp. Concepción.
- HERVE F. 1988. Late Paleozoic Subduction and Accretion in Southern Chile. *Episodes*, Vol. 11 (3): 183-188.
- IMBRIE, J.; HAYS J. D.; MARTINSON D.; MCINTYRE A.; MIX A.; MORLEY J.; PISIAS N.; PRELL W. & SHACKLETON N. 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}O$ record. *Milankovitch and Climate, Part 1 A*: 269– 305.
- INGLE, JR.; KELLER G. & KOLPACK R. 1980. Benthic Foraminiferal Biofacies, Sediments and Water Masses of the Southern Perú-Chile Trench Area, Southeastern Pacific Ocean. *Micropaleontology*, Vol. 26 (2): 113-150.
- LAMY, F.; HEBBELN, D. & WEFER, G. 1998. Late Quaternary precessional cycles of terrigenous sediment input off the Norte Chico, Chile (27,5°S) and paleoclimatic implications. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 141: 233-251.
- MORDOJOVICH, C. 1981. Sedimentary basin of Chilean Pacific offshore, in Halbouty, M.T., ed., Energy resources of the Pacific region: American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology, Nº. 12: 63-82. Tulsa.
- MURRAY, J. W. 1991. Ecology and Paleoecology of Benthic Foraminifera. Longman, Wiley, Harlow/Essex, New Cork: 397 pp. London.
- PETTIJOHN, F. 1963. Rocas Sedimentarias: Editorial Universitaria de Buenos Aires. 731 pp. Buenos Aires.
- SIEVERS H. 1970. Circulación en el Océano Pacífico Sur. Instituto Hidrográfico de la Armada. I.H.A. Revista de Marina (julio-agosto): 441 – 451. Valparaíso.
- SILVA N. & SIEVERS H. 1974. Masas de aguas, velocidad geostrófica y transporte de volumen entre Valparaíso e Isla Robinson Crusoe (Océano Pacífico Sudoriental). Comisión Permanente del Pacífico Sur. Ciencia y Derecho. Vol 2: 103-120. Valparaíso.
- STRUN, P.; MESIAS, J.; MONTECINOS, V.; RUTLAND, J. & SALINAS, S. 1998. Coastal ocean circulation off western south America. *The Sea*. Allan R. Robison & Kenneth H. Brink. Vol. 11: 273 – 312. Oregon.
- TSUCHIYA, M. & TALLEY, L.D. 1998. A Pacific hydrographic section at 88 deg W: water-property distribution. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 103 (C6): 12.899-12.918.
- YRIGROYEN, M. 1991. Explanatory notes for the energy-resources map of the circum-pacific region Southeast quadrant. *Tren Argentina S.A.*: 60 pp. Buenos Aires.
- WYRTKI, K. 1962. The oxygen minimum in relation to ocean circulation. *Deep-Sea Res.* Vol. 9: 11-23.
- WYRTKI, K. 1965. Surface Currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Bull. Intern. Don. Trop. TUNA Comm.* Vol. 9 (5): 269-304.





Continuación Tabla 1: % Foraminíferos Bénticos de las especies más representativas del testigo 1234-A																						
<i>Cibicidoides</i> sp.	17																					
<i>Cibicidoides wuellerstorfi</i>	15	12	4	8	2	3	1	3	7	6		1,3	1	2,4	7	11	2			0,3	1	
<i>Ehrenbergina serrata</i>				0,5						1												
<i>Epistominella pacifica</i>			25	12	19	19	4	0,4	0,5	7		16	6		15	2,2	7					
<i>Eponides</i> sp.																	9					
<i>Etensioina</i> sp.																				1,2		
<i>Fissurina</i> sp.																	2					
<i>Florilus grateloupi</i>									22	10	2		1	1,2		2						
<i>Florilus</i> sp.										2												
<i>Fursenkoina</i> sp.												1	4,3	1	0,4	16	6,2	0,2				
<i>Giroydina</i> sp.								0,2				0,4		0,3		3,4		1				
<i>Glandulina</i> sp.										1												
<i>Globobulimina affinis</i>	2	6,5	8	8	5		33		7		2	3	4	6	2	3		1	1	1	1	
<i>Globobulimina obula</i>	6						15		16	4												
<i>Globobulimina pupoide</i>									3													
<i>Globobulimina pyrula</i>	3		1		0,5				1													
<i>Hoeglundina elegans</i>	2																					
<i>Lagena</i> sp.																				0,3	0,3	
<i>Melonis affinis</i>				2	0,2			1		1		0,4		1	2	2,4	5,4				0,3	
<i>Miliolida</i> sp.	1																		1	5		
<i>Nodosalis</i> sp.								0,5								0,2						
<i>Nonion</i> sp.	1	3	1		0,2																	
<i>Nonionella auris</i>	3			6	3		2	0,2	11	1				1	2	0,2	5,4	3	5	90	72	
<i>Nonionella scapha</i>															1							
<i>Nonionella</i> sp.								1		3												
<i>Nonionella turgida</i>			3			4	1															
<i>Oridosalis umbonatus</i>	2	4	2	0,5		1	2	1	4	2		2	5	1	1,4	2,2						
<i>Planulina ariminensis</i>																				1,4		
<i>Pseudoglandulina</i> sp.								0,3														
<i>Pseudonodosaria</i> sp.		0,4												0,2	0,2	0,4						0,3
<i>Pullenia bulloides</i>						1																
<i>Pullenia quinqueloba</i>			0,6							2												
<i>Pullenia</i> sp.				1																		
<i>Pullerina bulloides</i>		0,4			0,5															0,3		



Continuación Tabla 1: % Foraminíferos Bénticos de las especies más representativas del testigo 1234-A																					
<i>Pyrgo bullinia</i>			1																		
<i>Pyrgo elongata</i>			1																		
<i>Pyrgo serrata</i>			0,5				0,4	1				0,4	0,2	0,3	2					0,3	
<i>Pyrgo sp.</i>	6		1				1	3				1							0,2		
<i>Rosalina sp.</i>												0,4									
<i>Rotalido sp.</i>													0,2				0,2	3,4	1		
<i>Spiroloculina sp.</i>		2	0,5	1				3	1				0,2								6
<i>Stainforthia sp.</i>		0,4	1	2	9	1	3	15	7			0,4								3	3,2
<i>Trifarina angulosa</i>													0,2							0,2	
<i>Triloculina sp.</i>		1,3						3							0,6						1,1
<i>Triloculina triangularis</i>			0,5				0,3														
<i>Uvigerina centicosa</i>													1								
<i>Uvigerina peregrina</i>	33	41	33	35	30	32	34	69	15	38	64	43	66	78	58	60	43	19	48	28	1,3
<i>Uvigerina sp.</i>							1														
<i>Valvulineria sp.</i>												0,4						2		0,3	
<i>Virgulina sp.</i>							2	1										5			
<i>Virgulinella sp.</i>						3					4,3							5,2			

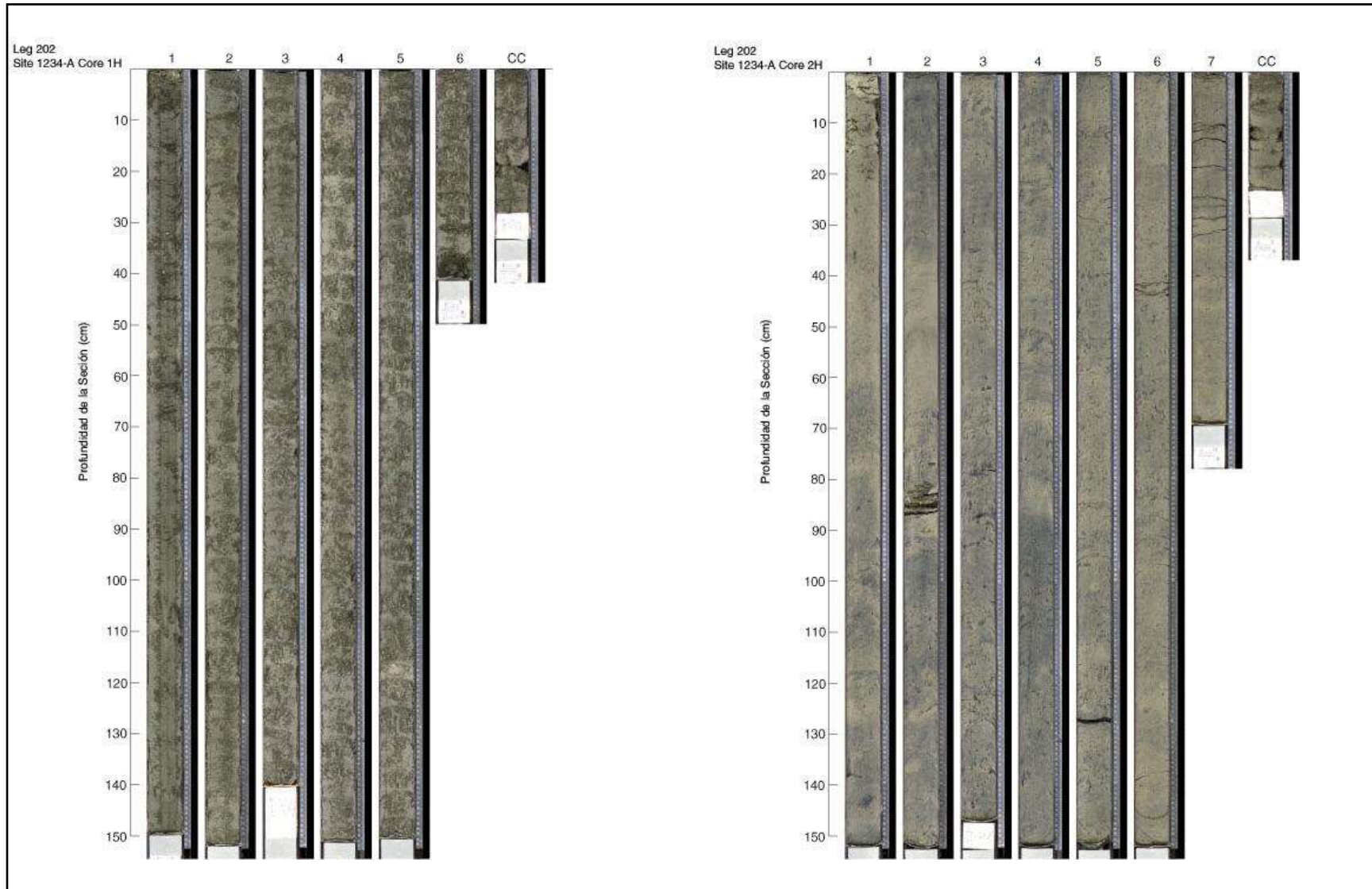


Figura: 1 a – b. Testigo 1234-A.

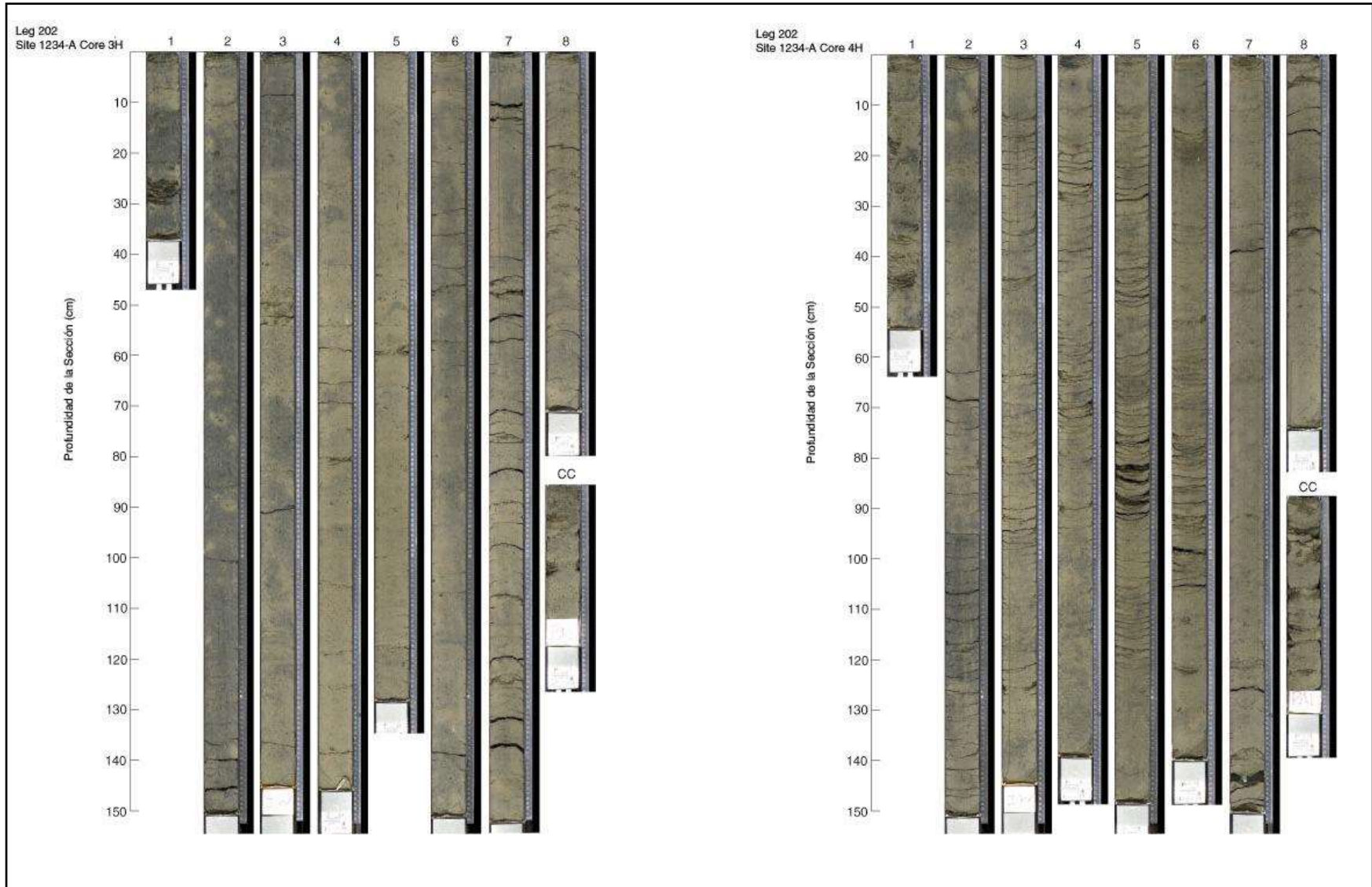


Figura: 1 c – d. Testigo 1234-A.

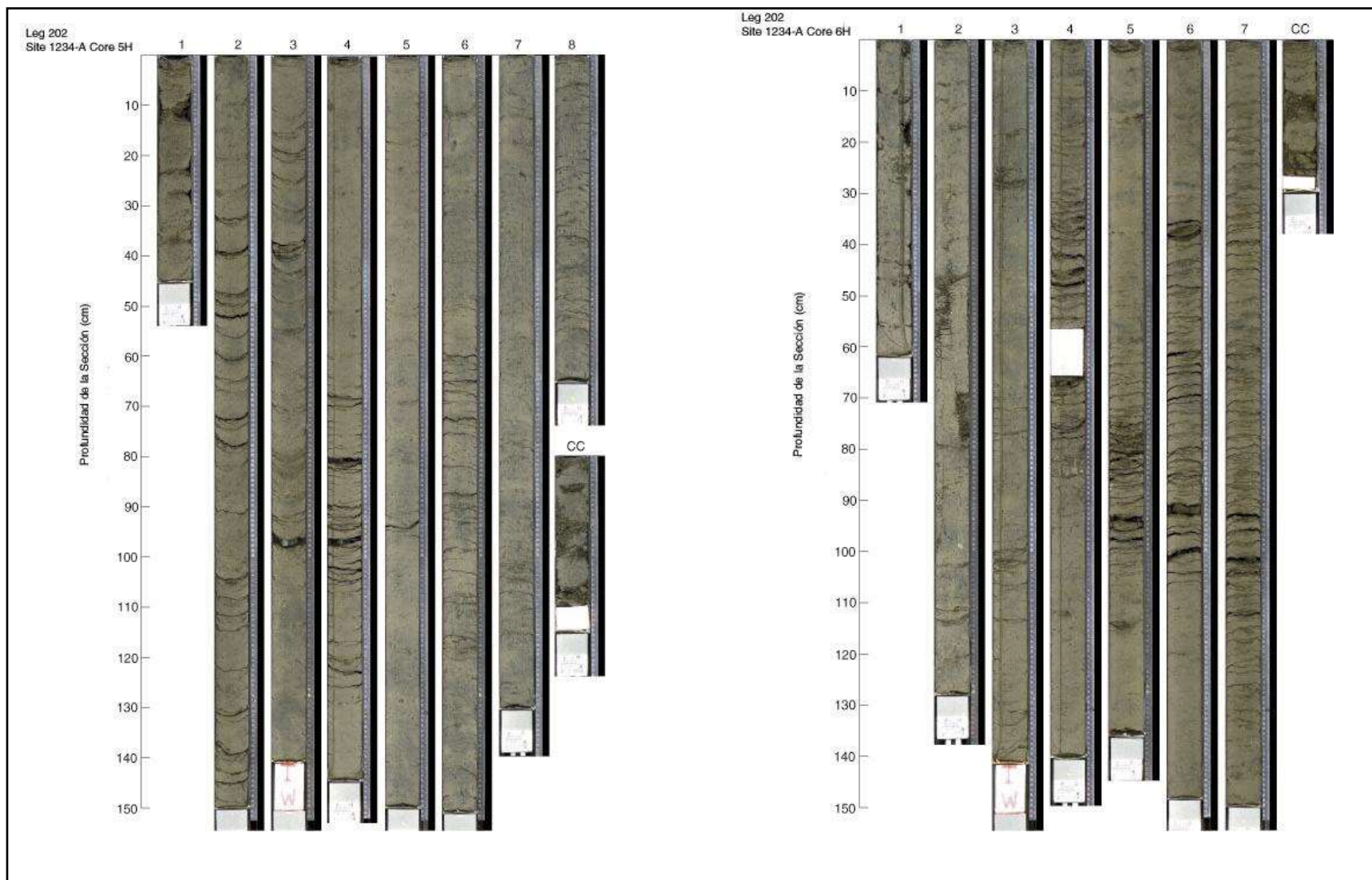


Figura 1 e – f. Testigo 1234-A.

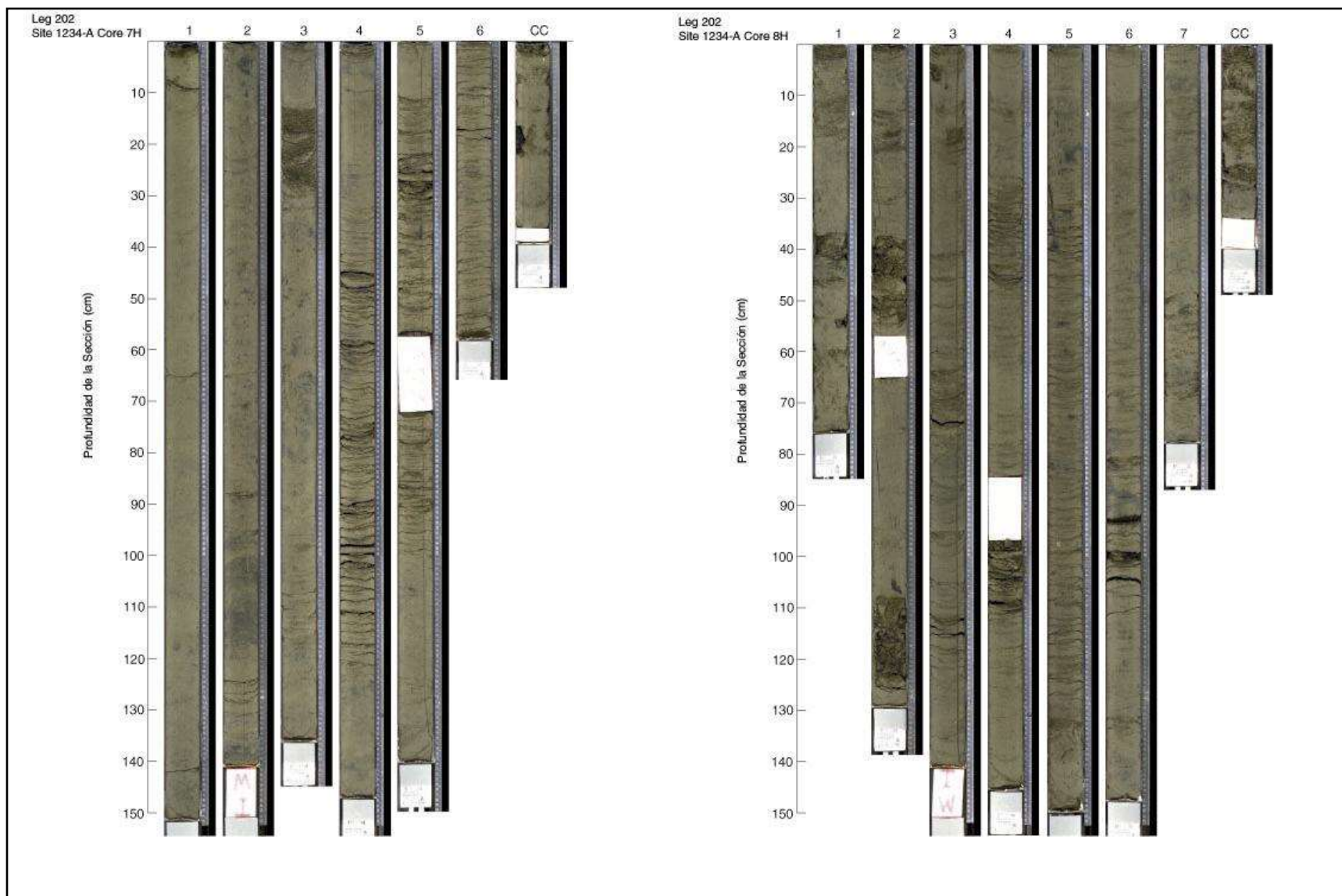


Figura 1 g – h. Testigo 1234-A.

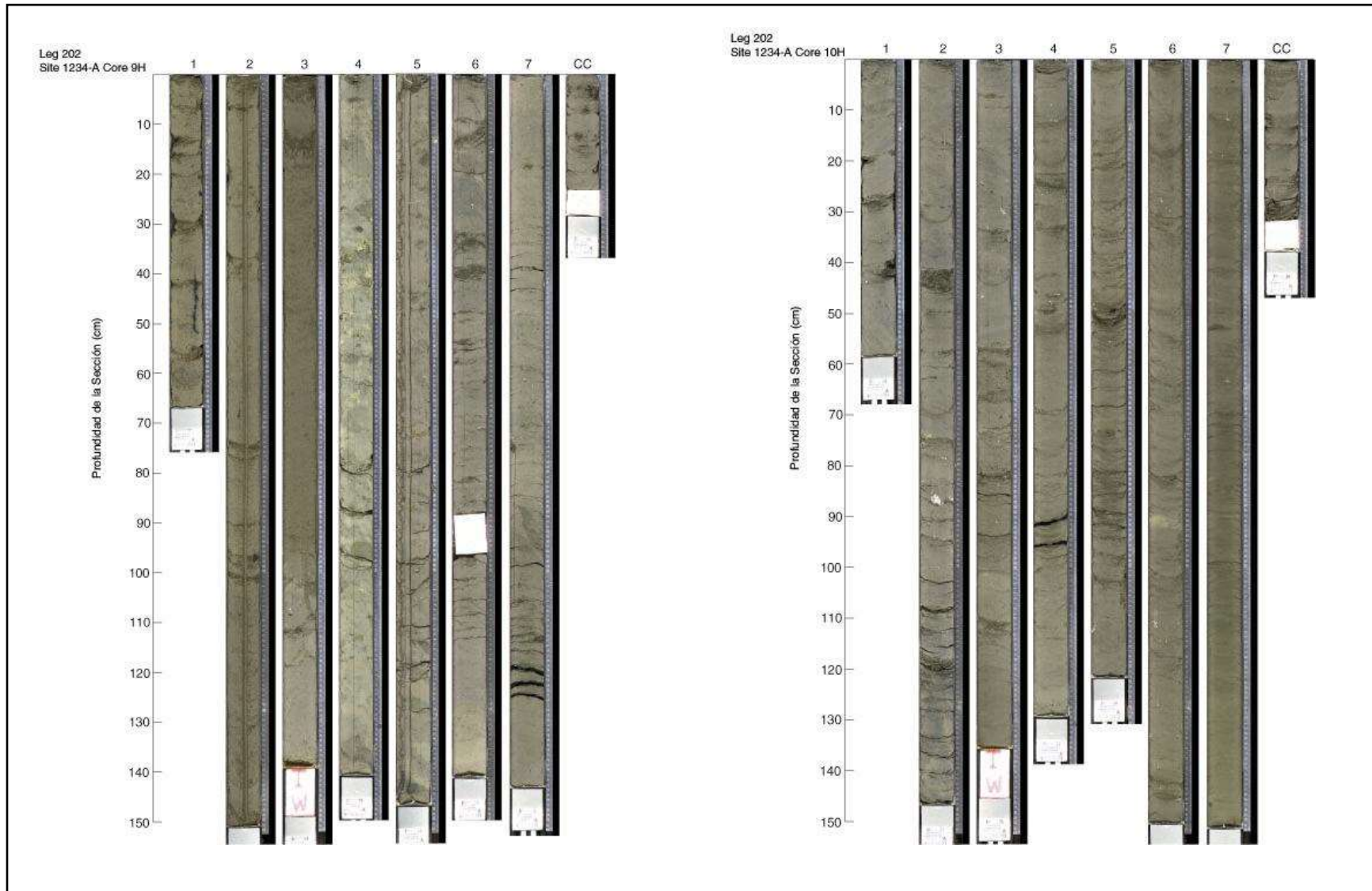


Figura 1 i – j. Testigo 1234-A.

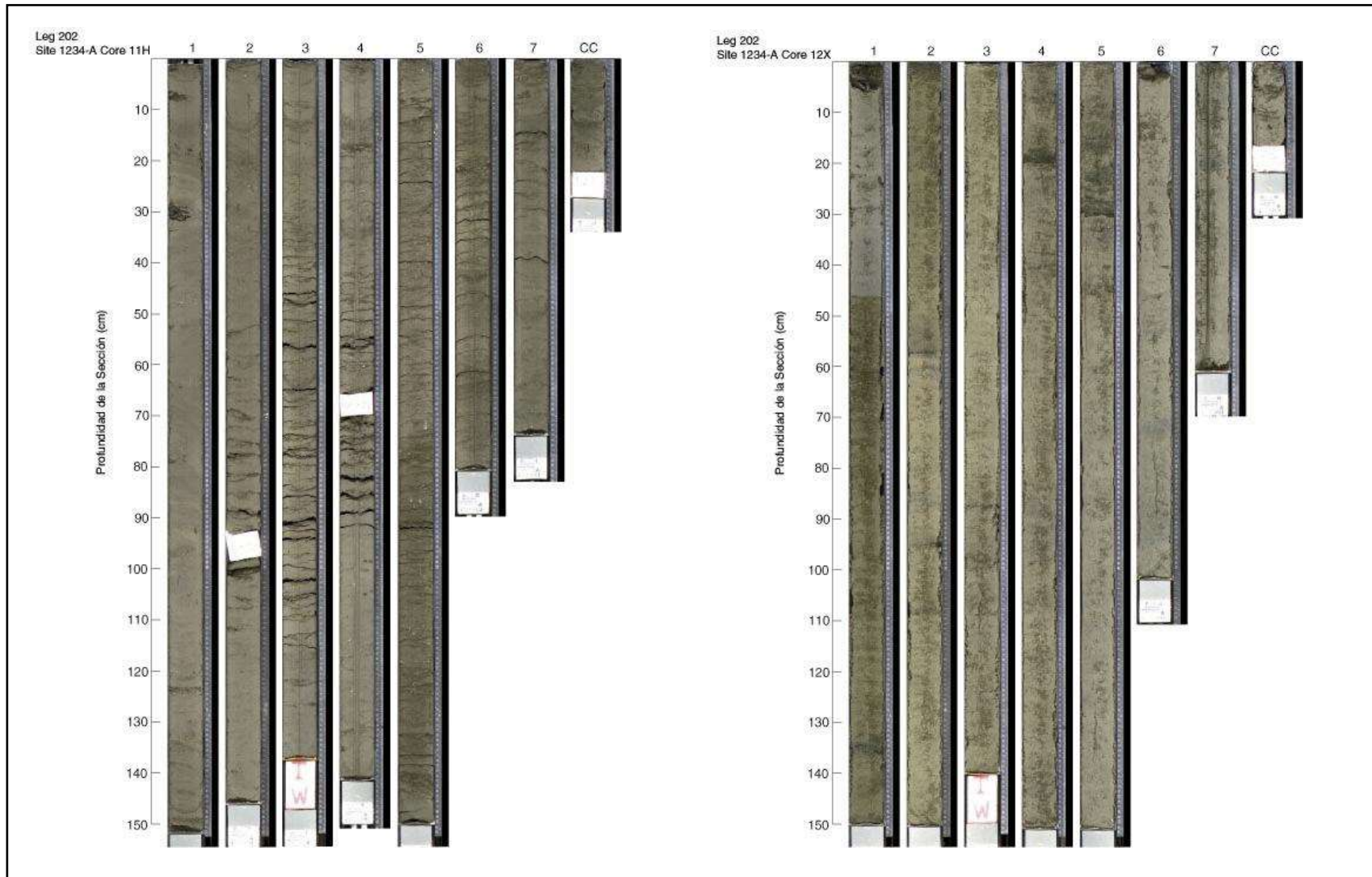


Figura 1 k – I. Testigo 1234-A.

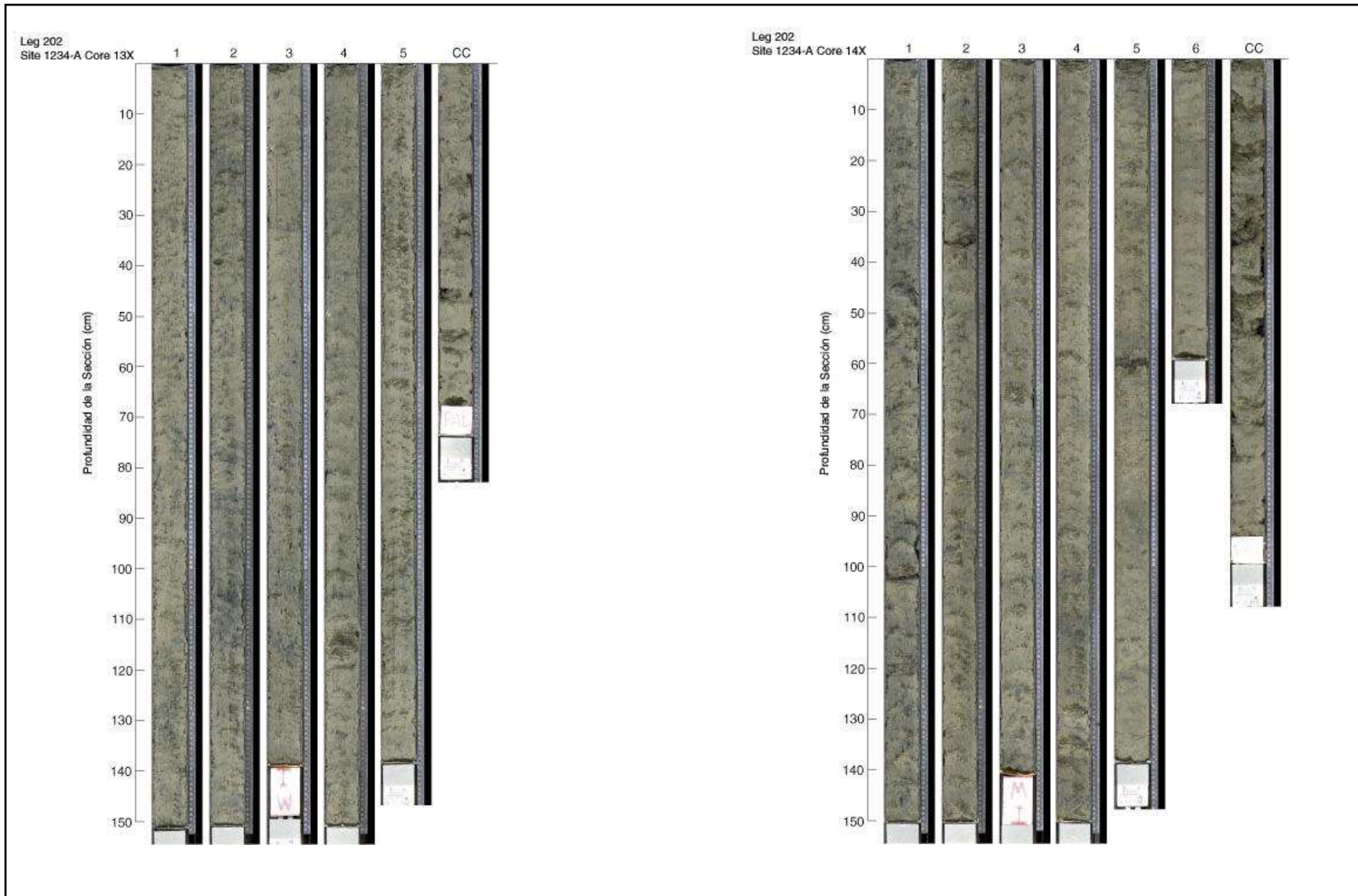


Figura 1 m – n. Testigo 1234-A.

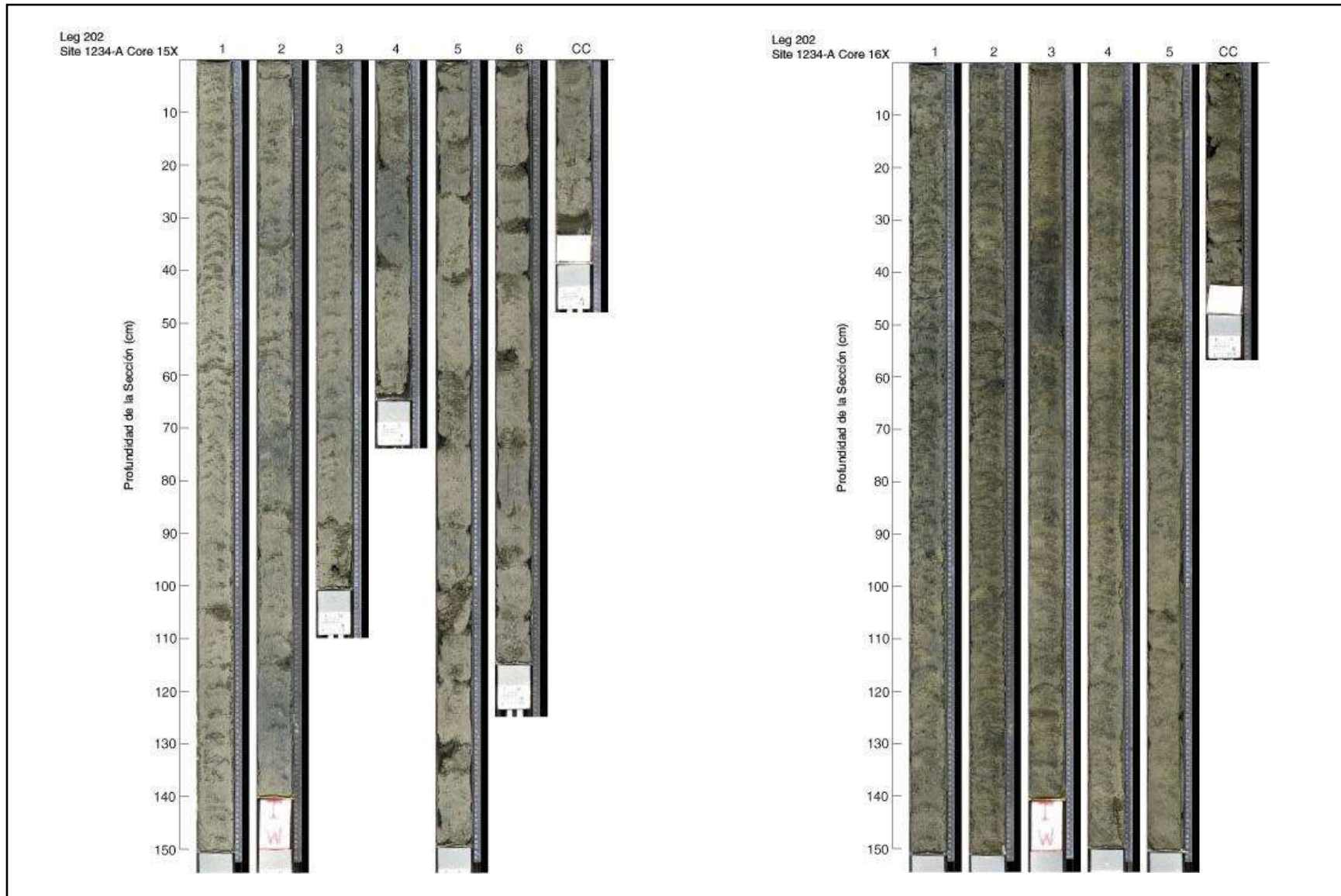


Figura 1 ñ – o. Testigo 1234-A.

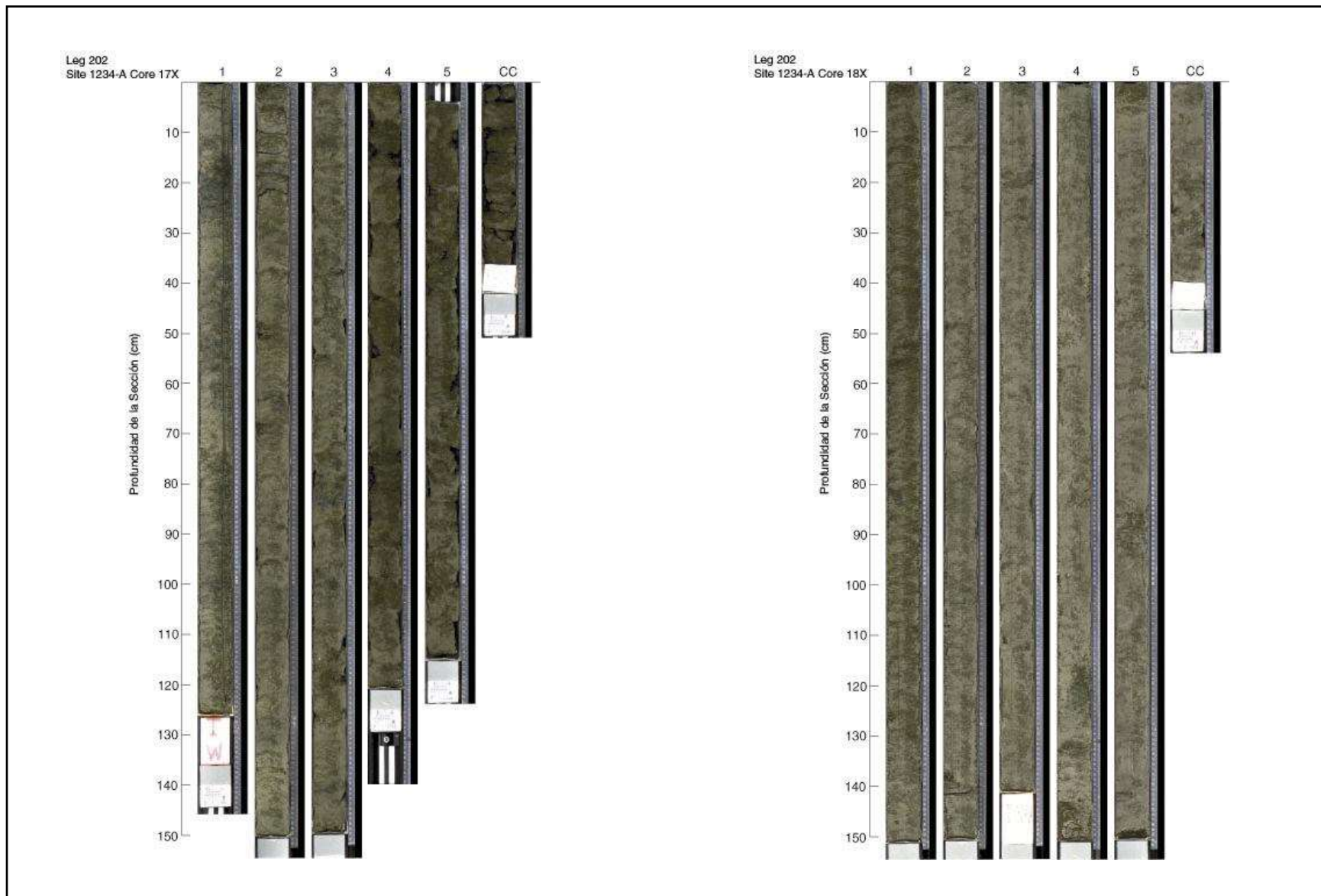


Figura 1 p – q. Testigo 1234-A.



Figura 1 r – s. Testigo 1234-A.



Figura 1 t – u. Testigo 1234-A.



Micropaleontología

Las especies de foraminíferos más significativas reconocidas en el testigo 1234-A se indican en la Tabla 1, cuantitativamente graficada en la Figura 2. Los porcentajes se aproximaron al entero correspondiente para poder facilitar el trabajo.

Dichas especies son las siguientes:

- *Bolivina interjuncta bicostata* Cushman, 1926.
- *Bolivina spissa* Cushman, 1926.
- *Bulimina mexicana* Cushman, 1922
- *Cibicoides wuellerstorfi* Schwager, 1866
- *Epistominella pacífica* Cushman, 1927
- *Florilus grateloupi* Cushman, 1927
- *Globobulimina affinis* (d'orbigny), 1839
- *Globobulimina ovula* (d'orbigny), 1839
- *Globobulimina pupoides* (d'Orbigny, 1846)
- *Nonionella auris* (d'orbigny, 1839)
- *Stainforthia* sp Egger, 1893
- *Uvigerina peregrina* Cushman, 1927

Observaciones ambientales generales sobre las principales especies presentes en el testigo 1234-A, según Ingle *et al.* 1981.

- ***Nonionella auris***, común en las costas chilenas, en aguas templado-cálidas (Murray, 1991). Su abundancia en la base del testigo (Figura 23) estaría indicando, redepositación producto de turbiditas, coincidente con los cambios de granulometría presentes hacia la base del testigo (Figura 19a). Boltovskoy y Theyer (1970) postulan que su abundancia máxima es hasta los 200 m de profundidad y puede aparecer de manera muy escasa hasta los 1.000 m de profundidad. No está citada en el trabajo de Ingle *et al.* (1980).
- ***Bolivina Interjuncta bicostata***, especie costera de aguas templadas cálidas. Su aparición a mayor profundidad no es frecuente, y no llega a sobrepasar los 1.000 m de profundidad. Reconocida por Ingle *et al.* (1980), en el perfil de Cabo Carranza, hasta 200 m de profundidad.
- ***Bolivina spissa***, especie de aguas batiales superiores. Asociada a zonas de oxígeno mínimo y a salinidades entre los 32,5 ‰ y 34,5 ‰. La temperatura de las aguas fluctúa entre los 4° y 5°C. Según Ingle *et al.* (1980) y Murray (1991), es frecuente entre 150 y 2.000 m de profundidad, con un máximo entre 500 y 1.500 m de profundidad, asociada con *Cibicides mckannai* y *Uvigerina auberiana*. No reconocida en el testigo 1234-A en el Informe Preliminar de ODP, Leg 202, 2002.
- ***Globobulimina affinis***, especie endobentónica de ambiente litoral, Murray (1991), con máximo de aparición hasta los 200 m de profundidad. Es la especie dominante en los márgenes costeros con aguas superiores a los 10°C (Boltovskoy y Theyer, 1970). Reconocida en el testigo 1234-A en el Informe Preliminar de ODP, Leg 202, 2002. No descrita en el perfil de Cabo Carranza y solo en forma ocasional en los perfiles de Valparaíso y Valdivia, entre 800 y 2.000 m de profundidad, Ingle *et al.* (1980). Los mayores porcentajes señalados en el sondaje 1234-A (Fig. 2), estarían indicando que se trata de ejemplares redepositados, como lo sugiere también el que se encuentren piritizados y muy mal estado de preservación.
- ***Fursenkoina fusiformis* (Williamson) = *Bulimina pupoides*** d'Orbigny variedad *fusiformis* Williamson (1858), según Murray (1991). Dada como *Globulimina pupoides* (d'Orbigny), por



Ingle *et al.*, (1980). Especie endobentónica. Con registros entre los 0 m y 2.500 m de profundidad (Ingle *et al.*, 1980 y Murray 1991). Sugiere salinidades bajas.

- ***Uvigerina peregrina***, especie endobentónica de aguas frías, con límites de temperatura entre 2° y 13°C y salinidades bajas, ca. 34‰. Con registros batimétricos entre 0 m y 2.500 m de profundidad. Su sustrato habitual son limos ricos en materia orgánica y con contenidos de carbono entre 2 y 3 gr. Caracteriza aguas ricas en oxígeno de la corriente de Chile-Perú, aunque puede tolerar aguas con bajo contenido de oxígeno (Ingle *et al.*, 1980 y Murray, 1991).
- ***Cibicidoides wuellerstorfi***, (según Murray, 1991). Especie epibentónica (afótica), con registros batimétricos entre 200 y 2.500 m de profundidad, de preferencia por bajo 800 m, con salinidades $\leq 35\text{‰}$ y temperaturas entre 2,5° y 5°C. No reconocida por Ingle *et al.* (1980).
- ***Epistominella exigua***, especie típica del borde continental y la planicie oceánica abisal, entre 130 y 3.500 m de profundidad, con límites óptimos de salinidad próximos a 35‰, y de temperatura entre 3,16 ° y 3,70°C, que pueden fluctuar entre los 6° y 13°C (Ingle *et al.*, 1980 y Murray, 1991). En Chile es característica de las asociaciones bentónicas propias de las zonas oceánicas de oxígeno mínimo. No reconocida en los testigos del Informe Preliminar de ODP, Leg 202, 2002.
- ***Bulimina estriata mexicana***, especie endobentónica, con límites de temperatura entre los 2° y 12°C y salinidad desde 34‰ hasta 35 ‰. Rango de distribución batimétrica entre 500 y 4.000 m de profundidad, con porcentajes más significativos ente 500 y 1.500 m. Por lo general asociada con *Uvigerina peregrina*. La variación de su frecuencia podría estar vinculada con la salinidad, cuyo optimo es próximo a 34‰ (Ingle *et al.*, 1980 y Murray, 1991).

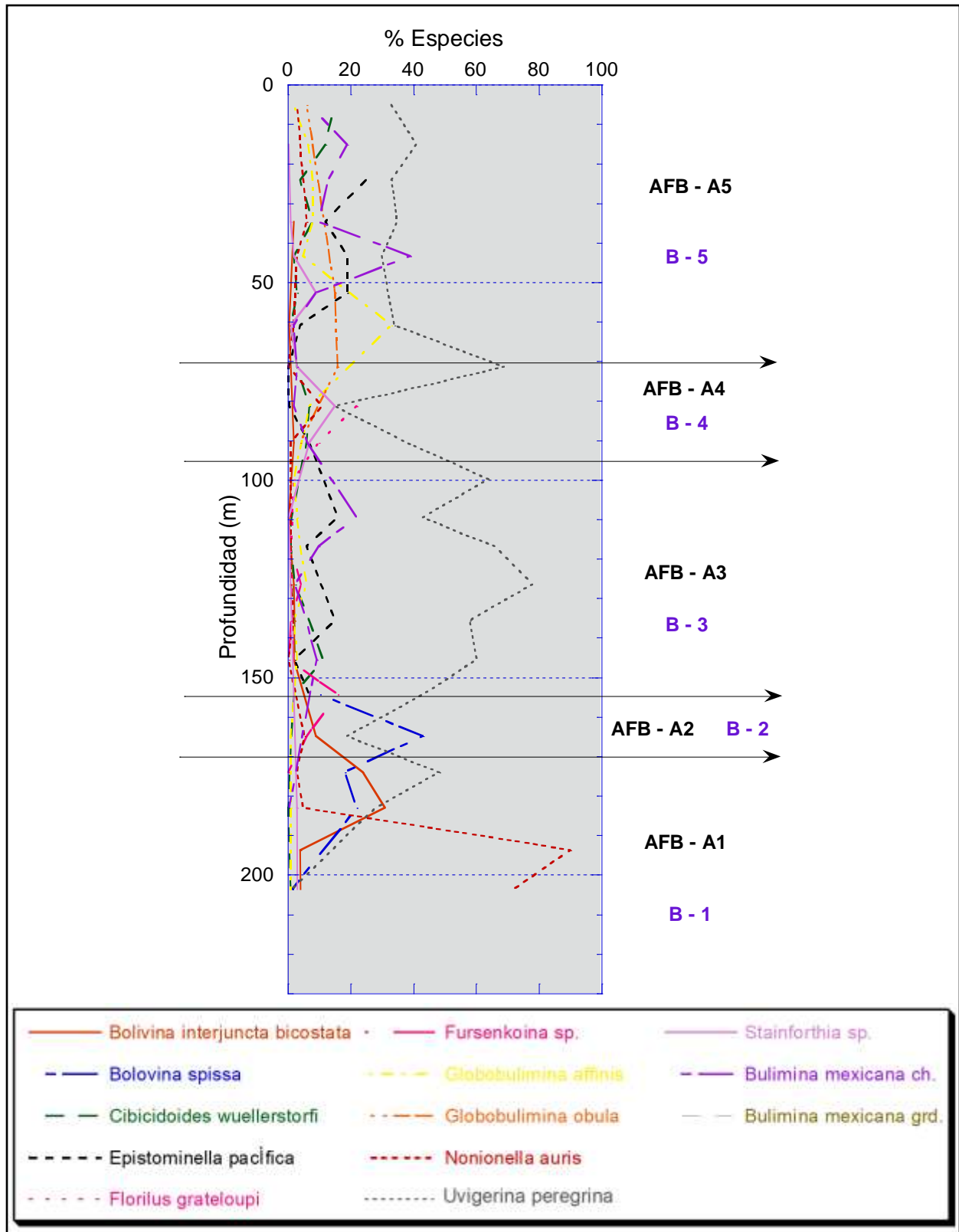


Figura 2: Principales asociaciones foraminíferas bénticas (AFB) y bioeventos (B) encontradas en el testigo 1234-A.

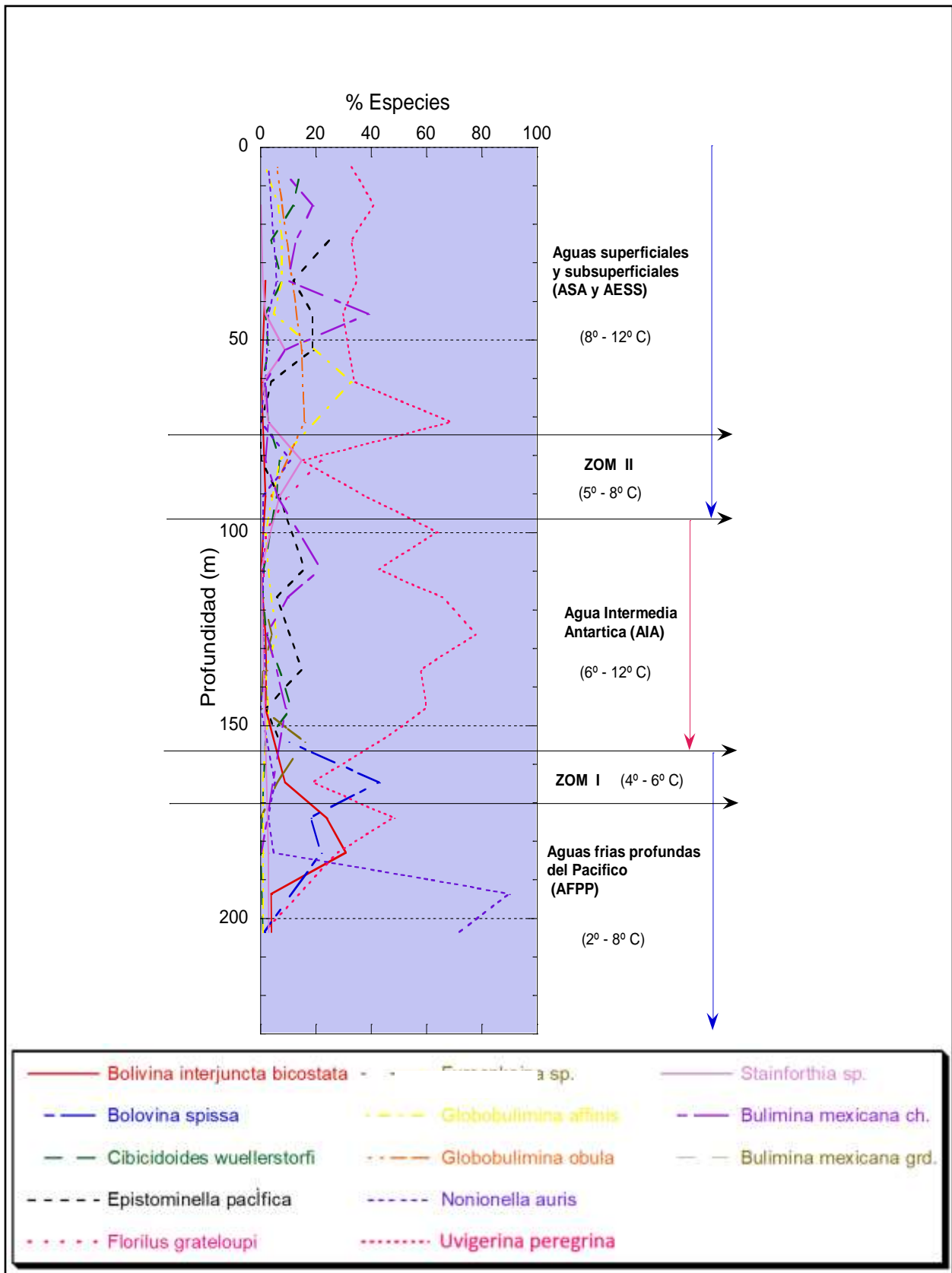


Figura 3: Principales masas de agua involucradas en el testigo 1234-A.

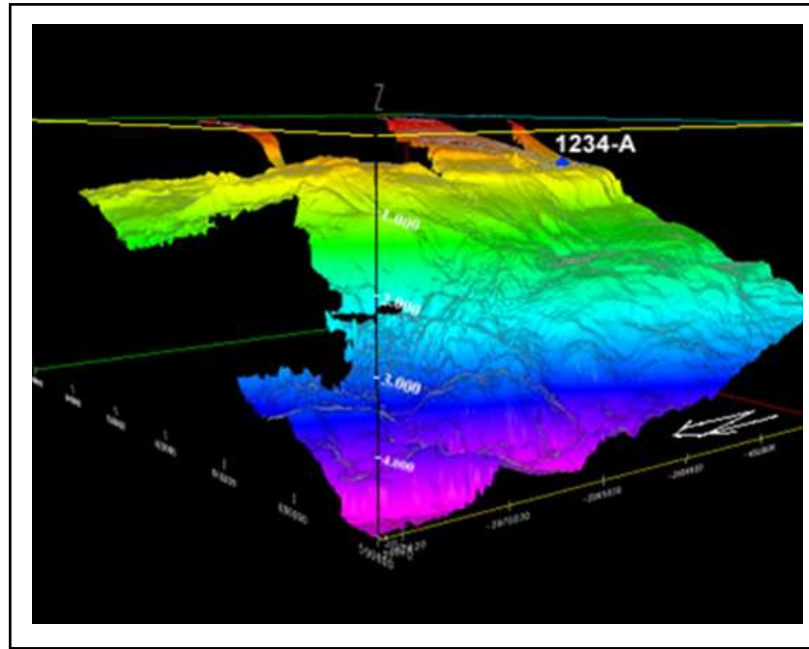


Figura 4a: Morfología y batimetría del margen continental con la ubicación del testigo 1234-A.

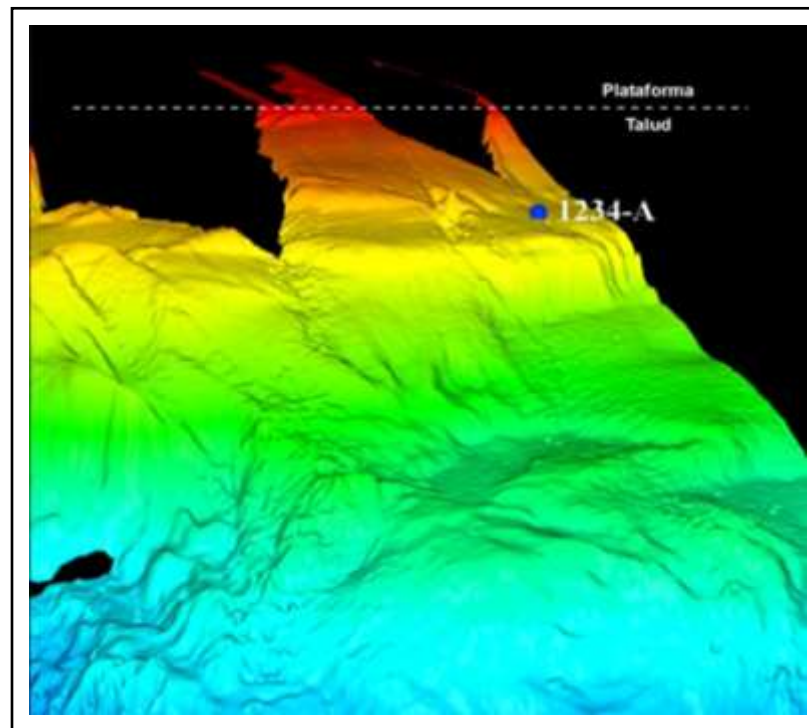


Figura 4b: Acercamiento de la figura 4.

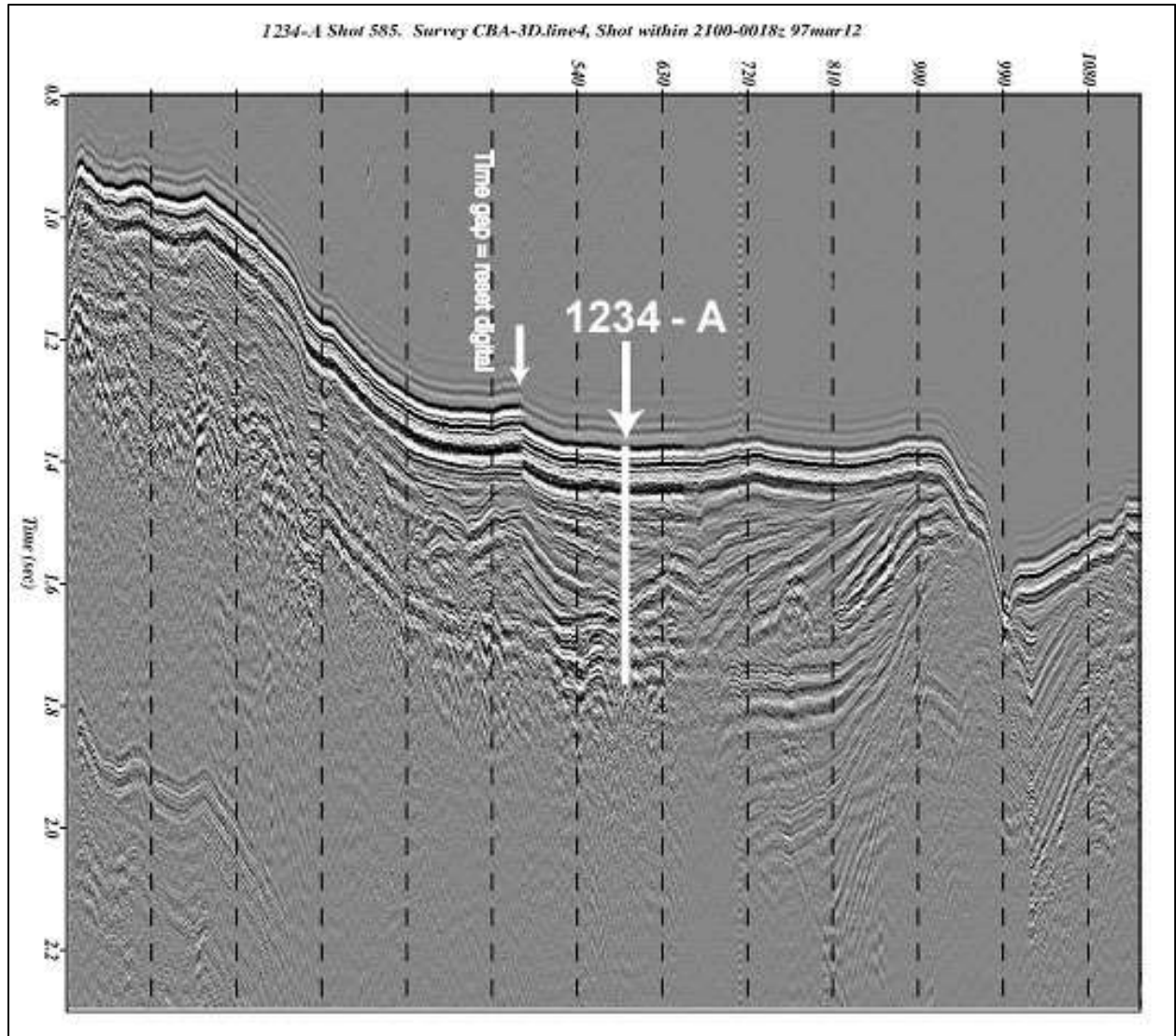


Figura 5: Perfil sísmico del área del testigo 1234-A. Tomado del Preliminary Summary of Drilling Results, Leg 202, 18 June, Texas A & M University.

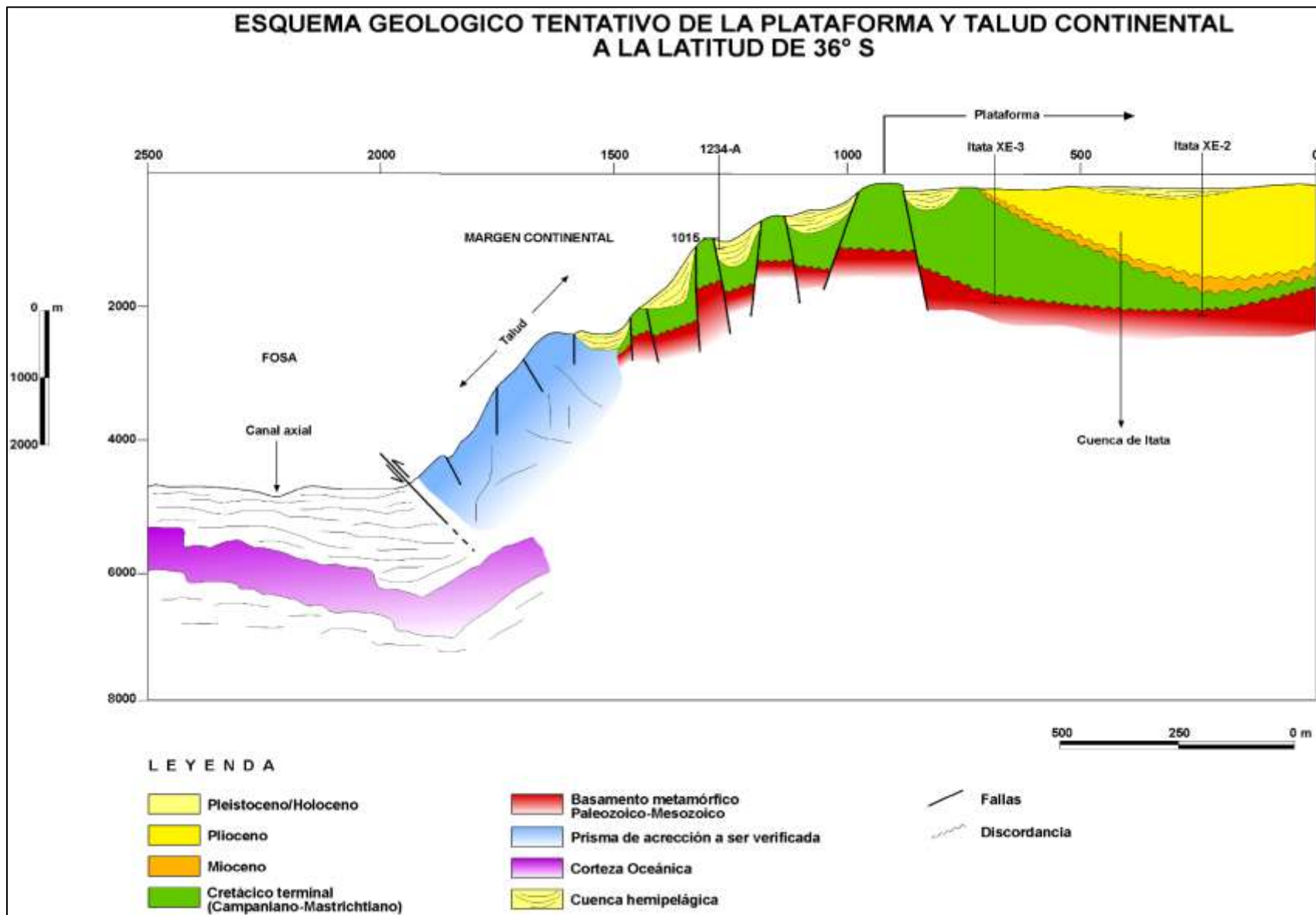


Figura 6: Perfil geológico entre los 72°70' W y 75° 20' W, a los 36° S.