



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL



CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

TESIS

CONTRIBUCIÓN DE COCOLITÓFOROS Y
FORAMINÍFEROS AL FLUJO DE CARBONATO
DE CALCIO EN CUENCA ALFONSO, B.C.S.

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

HERIBERTO ROCHIN BAÑAGA

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2014



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 12 del mes de Noviembre del 2014 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

“CONTRIBUCIÓN DE COCOLITÓFOROS Y FORAMINÍFEROS
AL FLUJO DE CARBONATO DE CALCIO EN CUENCA ALFONSO, B.C.S.”

Presentada por el alumno:

ROCHÍN BAÑAGA HERIBERTO
Apellido paterno materno nombre(s)
Con registro:

A	1	3	0	4	2	8
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director(a) de Tesis

DR. FERNANDO AGUIRRE BAHENA

DR. EVGUENT CHOUMILINE

DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

DRA. AIDA MARTÍNEZ LÓPEZ

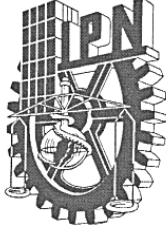
DRA. MARA YADIRA CORTÉS MARTÍNEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



**IPN
CICIMAR
DIRECCION**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 20 del mes noviembre del año 2014
el (la) que suscribe GEÓL. HERIBERTO ROCHÍN BAÑAGA alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro A130428 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. FERNANDO AGUIRRE BAHENA

y cede los derechos del trabajo titulado:

"CONTRIBUCIÓN DE COCOLITÓFOROS Y FORAMINÍFEROS

AL FLUJO DE CARBONATO DE CALCIO EN CUENCA ALFONSO, B.C.S."

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: rochin_h11@hotmail.com - faguirre@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

GEÓL. HERIBERTO ROCHÍN BAÑAGA

nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, al Instituto Politécnico Nacional y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología que hicieron posible la realización de este trabajo de tesis.

A mi director de tesis y a los miembros de la Comisión Revisora por sus valiosas observaciones que ayudaron a mejorar este trabajo, al igual que a los profesores de los cursos.

Agradezco también al Dr. Norman Silverberg, Dr. Juan Carlos Herguera, Dr. Jörg Bollmann y al Dr. David Alfaro Siqueiros así como a la Dra. Mara Y. Cortés por su amistad, comentarios y por facilitar material y equipo para la realización de este trabajo.

A mi gran y querida familia, así como a mis amigos por brindarme su apoyo en todo momento.

Índice

Índice de figuras.....	I
Índice de tablas.....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	V
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Antecedentes generales.....	3
2.1.1. Cocolitóforos.....	3
2.1.2. Foraminíferos	4
2.2. Antecedentes regionales.....	5
2.2.1. Cocolitóforos y foraminíferos en Cuenca Alfonso	5
2.2.2. Bahía de La Paz (Cuenca Alfonso), Características oceanográficas	7
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y/O HIPÓTESIS	10
3.1. Problemática y justificación	10
4. HIPÓTESIS	10
5. OBJETIVOS	11
5.1. Objetivo general	11
5.2. Objetivos particulares.....	11
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
6.1. Trabajo de laboratorio	12
6.1.1. Preservación de las muestras	12
6.1.2. Análisis de muestras	12
6.1.3. Determinación del flujo de masa total	14
6.1.4. Determinación de carbonato de calcio y carbono orgánico	15
6.1.5. Determinación de sílice biogénico.....	15
6.1.6. Contribución litogénica	16
6.2. Flujo de cocolitóforos y aporte de CaCO ₃ por cocolitos.....	16
6.2.1. Identificación de especies	17
6.2.2. Cálculo del flujo de cocolitos	17
6.2.3. Cálculo de CaCO ₃ por cocolitos	18
6.3. Flujo de foraminíferos y cálculo de CaCO ₃ por foraminíferos.....	18
6.4. Tratamiento estadístico	19
7. RESULTADOS	20
7.1. Condiciones de temperatura y salinidad en Cuenca Alfonso	20
7.2. Flujo de masa total y componentes.....	21

7.2.1.	Material litogénico y sílice biogénico (BioSiO ₂)	22
7.2.2.	Carbono orgánico y carbonato de calcio	24
7.3.	Fracción ≥ 1mm (nadadores)	24
7.4.	Flujo de cocolitóforos.....	25
7.4.1.	Especies identificadas	25
7.4.2.	Flujo de nanoplacton calcáreo	25
7.5.	Exportación de CaCO ₃ por cocolitóforos.....	26
7.6.	Flujo total de foraminíferos	31
7.7.	Otros grupos calcáreos	33
7.8.	Exportación de CaCO ₃ por foraminíferos y otros grupos.....	36
8.	DISCUSIÓN.....	37
8.1.	Variabilidad de la materia particulada en hundimiento	37
8.2.	Registro de cocolitóforos y foraminíferos planctónicos en Cuenca Alfonso	38
8.2.1.	Cocolitóforos.....	38
8.2.1.1.	Ecología y distribución	38
8.2.1.2.	Flujo y sedimentación de cocolitóforos	40
8.2.2.	Foraminíferos	44
8.2.2.1	Ecología y distribución.....	44
8.2.2.1.	Flujo y sedimentación de foraminíferos	47
8.3.	Implicaciones para reconstrucciones oceanográficas en Cuenca Alfonso	49
8.4.	Exportación de calcita por cocolitóforos y foraminíferos en Cuenca Alfonso	54
9.	CONCLUSIONES	56
10.	RECOMENDACIONES	58
11.	REFERENCIAS	59

Índice de figuras

Figura 1	Localización del área de estudio	9
Figura 2	Trampa de sedimentos y esquema del anclaje	13
Figura 3	Diagrama que muestra los diferentes fines y análisis realizados a las muestras y submuestras (1-10) de la trampa de sedimentos	14
Figura 4	Imagen del MEB, identificación de cocolitos	18
Figura 5	Perfiles de temperatura, salinidad y sigma t	20
Figura 6	Diagrama T-S de las masas de agua en Bahía de La Paz para los meses de noviembre 2011, marzo, mayo y septiembre 2012	21
Figura 7	Flujo de masa total en Cuenca Alfonso	22
Figura 8	Variación de los principales componentes del material en hundimiento durante el periodo muestreado	23
Figura 9	Porcentaje de los principales componentes respecto al FMT	23
Figura 10	Imágenes de cocosferas y cocolitos identificados	29
Figura 11	Flujo de cocolitos de las especies principales y Variación de la exportación de CaCO ₃ por cocolitóforos	30
Figura 12	Principales especies de foraminíferos identificados en las muestras	32
Figura 13	Flujo de foraminíferos de los géneros principales y Variación de la exportación de CaCO ₃ por foraminíferos	33
Figura 14	Otros organismos calcáreos identificados	34
Figura 15	Variación temporal del flujo de “otros grupos” en Cuenca Alfonso	35
Figura 16	Anomalías de temperatura superficial del mar en Cuenca Alfonso desde el 2003 al 2013	41
Figura 17	Imagen del MEB en donde se observa parte del contenido de una pelotilla fecal	43
Figura 18	Fragmentos de loricas de tintínidos con cocolitos	44
Figura 19	Testa de <i>G. ruber</i> presentando bio-marcas	46

Figura 20	Diagrama de los procesos que influyen en el periodo de máximos flujos de partículas, así como el posible hábitat de ciertas especies de cocolitóforos y foraminíferos planctónicos respecto a las condiciones oceanográficas y atmosféricas	48
Figura 21	Datos de profundidad de la capa de mezcla, para las diferentes estaciones del periodo muestreado	52
Figura 22	Registro en trampa de sedimento del flujo de los principales grupos calcáreos	53
Figura 23	Imágenes de MEB de las diferentes formas de minerales identificadas	53
Figura 24	Variación del flujo de CaCO ₃ y el aporte por diferentes grupos calcáreos	55

Índice de tablas

Tabla 1	Listado taxonómico de especies de cocolitóforos encontradas	27
Tabla 2	Flujo de cocolitos totales de las principales especies por muestra y Género con sus respectivos porcentajes del flujo total y por muestra	28
Tabla 3	Flujo de foraminíferos totales por muestra y Género con sus respectivos porcentajes del flujo total así como su aporte de calcita	35
Tabla 4	Pesos y medidas de testa por especie en microgramos y micrómetros	36
Tabla 5	Flujos de masa total (FMT) y componentes, así como flujo de cocolitos y foraminíferos planctónicos en Cuenca Alfonso y otras cuencas marginales	38
Tabla 6	Principales especies de cocolitóforos y óptimos ambientales en distintos sitios	40
Tabla 7	Óptimos ambientales de las principales especies de foraminíferos encontradas	46
Tabla 8	Distancias de Mahalanobis, para las masas de agua y los flujos de algunas especies	52

Resumen

Se analizó la contribución de cocolitóforos y foraminíferos al flujo de CaCO_3 en Cuenca Alfonso Time-series Station (CATS), Bahía de La Paz, B.C.S., desde septiembre de 2011 a septiembre de 2012. Así, el objetivo de este trabajo fue cuantificar la contribución y composición de los componentes principales (carbonato de calcio, carbono orgánico, ópalo y por diferencia fracción litogénica) del flujo de masa total, incluyendo el análisis de cocolitos y foraminíferos para determinar el principal grupo aportador de CaCO_3 , identificando también, posibles factores que modificaron sus flujos. Las muestras fueron colectadas, con una resolución mensual, mediante una trampa de sedimentos Technicapp (modelo PPS-3 con una abertura de 0.125 m^2) instalada a una profundidad de 300 m. Para el análisis de cocolitos cada una de las muestra fue fraccionada en 1/4500 partes, filtrada en una membrana nucleopore con poro de $0.8 \mu\text{m}$; el conteo de cocolitos se realizó por medio de imágenes digitales tomadas en un microscopio electrónico de barrido (Zeiss Supra VP55). Foraminíferos y otros organismos calcáreos (pterópodos, foraminíferos bentónicos, ostrácodos y micro-bivalvos) fueron tamizados a través de una malla de $63 \mu\text{m}$ y colectados manualmente utilizando un estereoscopio y pesados en una microbalanza analítica (UMX2 Mettler Toledo).

Gephyrocapsa oceanica, *Emiliania huxleyi*, *Florisphaera profunda* y *Umbellosphaera irregularis*, fueron las especies más abundantes del flujo de cocolitos y constituyeron el 80% en las muestras analizadas. El flujo de cocolitóforos registró valores mínimos (3×10^6 cocolitos $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en agosto-septiembre de 2012 y máximos (1390×10^6 cocolitos $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en septiembre-octubre de 2011. Los máximos flujos fueron asociados a temperatura superficial del mar $>28^\circ\text{C}$ y dominados por *G. oceanica*. *Globigerina*, *Globigerinoides*, *Neogloboquadrina*, *Pulleniatina* y *Globorotalia* fueron los géneros de foraminíferos planctónicos identificados en este estudio. El flujo total de foraminíferos mostró valores mínimos (20 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en junio-septiembre de 2012 y máximos (1956 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en enero-abril de 2012. Los máximos flujos fueron asociados a temperatura superficial del mar $<20^\circ\text{C}$ y salinidad >35.3 y dominados por *Globigerina* spp.

La exportación de calcita por cocolitos representó en promedio un 4% (equivalente a $4 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) mientras que los foraminíferos registraron un promedio de 3% (equivalente a $2 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) del flujo total de CaCO_3 . El flujo restante fue dominado por otros organismos calcáreos (20%) así como fragmentos y foraminíferos $< 63 \mu\text{m}$ (72%). Los máximos flujos de foraminíferos bentónicos y de ostrácodos mayormente asociados a un ambiente somero, sugieren re-depósito hacia la parte profunda de la bahía durante un posible periodo de máximas rachas de viento. Por lo que el incremento en el flujo de masa total podría estar acoplado al incremento de la contribución eólica así como material transportado por corrientes.

Se estima que en la cuenca se sedimentó alrededor de 10 toneladas métricas de CaCO_3 por cocolitos y foraminíferos en el periodo muestreado. Este aporte es el 7% respecto al total de carbonatos registrado en la trampa. Las especies susceptibles a formar parte del registro sedimentario por su grado de calcificación son *G. oceanica*, *G. menardii* y *P. obliquiloculata*, por lo que estas especies aportan pistas para futuros estudios de interés paleoceanográfico en Cuenca Alfonso y en otras cuencas marginales del Golfo de California.

Abstract

We analyzed the coccolithophore and foraminifera assemblages and associated CaCO_3 flux at Cuenca Alfonso Time-series Station (CATS), Bay of La Paz, B.C.S., from September 2011 to September 2012. The overall goal of the research project was to determine composition and vertical fluxes of various components of particulate matter, including coccolithophores and foraminifera. Sinking material was collected with a Technicap sediment trap (model PPS-3 with opening of 0.125 m^2 , monthly opening interval) installed at water depth of 300 m. Individual samples for coccoliths were split into 1/4500, filtered on nucleopore membrane of $0.8 \text{ }\mu\text{m}$ and 1500 images were automatically taken using a scanning electron microscope (Zeiss Supra VP55). All analyses were done offline on a computer. Foraminifera and other calcareous organism samples (pteropods, benthonic foraminifera, ostracods and micro-bivalves) were passed through a $63 \text{ }\mu\text{m}$ mesh sieve and organisms manually picked up using a stereoscope and weighed on a microbalance (UMX2 Mettler Toledo).

Gephyrocapsa oceanica, *Emiliania huxleyi*, *Florisphaera profunda* and *Umbellosphaera irregularis*, were the most abundant coccolith taxa and constitute about 80% of all assemblages. The total flux of coccoliths showed minimum values ($3 \times 10^6 \text{ coccoliths m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in spring-summer and maximum values ($1390 \times 10^6 \text{ coccoliths m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in autumn-early winter. The highest fluxes were associated with sea surface temperature $>28^\circ\text{C}$ and were dominated by *G. oceanica*. *Globigerina*, *Globigerinoides*, *Neogloboquadrina*, *Pulleniatina* and *Globorotalia* were the genus of planktic foraminifera identified in this study. The total flux of foraminifera showed minimum values ($20 \text{ tests m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in summer and maximum values ($1956 \text{ tests m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in spring-winter. The highest fluxes of foraminifera were associated with sea surface temperature $<20^\circ\text{C}$ and salinity >35.3 and dominated by *Globigerina* spp.

Calcite export by sinking of coccoliths represented an average of 4% ($4 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and foraminifers represented an average of 3% ($2 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) of the total CaCO_3 flux; the remaining flux is dominated by other calcareous organisms (20%) and fragments and foraminifera $<63 \text{ }\mu\text{m}$ (72%). Highest fluxes of benthic foraminifera and ostracods were related to shallow environments, these findings

suggest re-deposit to the deeper portion of the bay during periods of strong wind gusts. Therefore increases in the total mass flux may be coupled to increased eolian contribution and material transported by streams.

We estimated that the basin sedimented about 10 tons metric of CaCO_3 by coccoliths and foraminifera in the period sampled. This export contributes 7% of the total carbonate export at the trap. The species most likely to form part of the sedimentary record due to their size and degree of calcification are *G. oceanica*, *G. menardii* and *P. obliquiloculata*, so these species provide clues for future studies of paleoceanographic interest in Alfonso Basin and other marginal basins of the Gulf of California.

1. INTRODUCCIÓN

Alrededor de la mitad de la superficie del fondo marino está cubierto por sedimento calcáreo, un séptimo por material silíceo y el resto por arcillas; de ello resulta que el sedimento calcáreo domina ampliamente la superficie del fondo marino a nivel global (Berger *et al.*, 1976). Dentro de los sedimentos calcáreos los cocolitóforos y foraminíferos son considerados uno de los principales componentes; al ser exportadores de calcita hacia los sedimentos marinos convirtiéndose así, en parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono.

El ciclo biogeoquímico del carbono describe la transferencia desde un reservorio a otro en un tiempo-espacio determinado, en el cual interactúan variables biológicas, físicas y químicas (Westbroek *et al.*, 1993). La atmósfera, el océano y los sedimentos calcáreos son reservorios de dicho ciclo a escala global, en donde el océano constituye 60 veces más carbono que la atmósfera (Berger *et al.*, 1989). La producción de carbonato de calcio oscila alrededor de las 5 gigatoneladas anuales de las cuales 3 gigatoneladas se acumulan en sedimentos y el 40% restante es disuelto (Milliman, 1993). Cuando el CO_2 se disuelve en el agua de mar, este reacciona con el agua químicamente y forma ácido carbónico (H_2CO_3), el cual se disocia en bicarbonato (HCO_3^-) y iones de Hidrógeno (H^+); esto conduce a un aumento en la concentración de los iones de Hidrógeno lo que lleva a la disminución de pH ("acidificación del océano") (Hofmann y Schellnhuber, 2009), ocasionando según Beaufourt *et al.* (2011), repercusiones para algunos organismos calcáreos como cocolitóforos. De ahí el interés por comprender qué sucede con el carbono en la atmósfera y en el océano, y particularmente, qué papel juegan los organismos calcáreos (cocolitóforos y foraminíferos) dentro de dicho ciclo. Se considera que estos organismos son parte de la "bomba biológica" al exportar carbono orgánico e inorgánico, en su forma de CaCO_3 (bomba de carbonatos), de aguas superficiales hacia el sedimento, contrarrestando el "calentamiento global". De esta manera, la Tierra, como un ser vivo, se autorregula (por mecanismos de retroalimentación) de las condiciones de desequilibrio actuales según Lovelock y Margulis (1974). No obstante, a largo plazo la meteorización de las rocas

continentales y quema de combustibles fósiles, influyen en la composición de la atmósfera (Ridgwell y Zeebe, 2005).

El presente trabajo forma parte de un estudio a cargo de un grupo interdisciplinario de investigadores del CICIMAR y la UABCS, los cuales desde 2002 han llevado a cabo un estudio de series de tiempo, en Cuenca Alfonso (CA), sobre el flujo y composición de la materia particulada en hundimiento. El interés de este trabajo es estudiar la contribución de organismos calcáreos (cocolitóforos y foraminíferos) al flujo total de carbonato de calcio, como un componente importante de la materia particulada en hundimiento (MPH) y estudiar la relación que existe con los demás componentes de la MPH.

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes generales

2.1.1. Cocolitóforos

Los cocolitóforos son organismos autótrofos unicelulares dentro de la clase Prymnesiophyceae (Hibberd, 1976), de tamaño generalmente inferior a 20 μm los cuáles se reproducen por división binaria o mitosis. Viven en la zona fótica de la columna de agua, su distribución es prácticamente global, encontrándose entre los principales componentes del fitoplancton en los océanos actuales (McIntyre y Bé, 1967; Okada y Honjo, 1973). Los cocolitóforos se encuentran cubiertos de pequeñas placas de carbonato de calcio llamadas cocolitos (Watabe y Wilbur, 1966) y son uno de los mayores proveedores de CaCO_3 en los océanos y constituyen uno de los principales grupos de fitoplancton formadores de sedimento oceánico (McIntyre y McIntyre, 1971; Berger, 1976). Cada especie de cocolitóforo tiene una forma distinta de precipitar y ordenar los cristales de calcita, de tal manera que las cocósferas de especies diferentes presentan cocolitos de distinta forma y tamaño (Young *et al.*, 1997). Los cocolitóforos son excelentes indicadores de las condiciones ambientales ya que dependen directamente de la temperatura, salinidad, nutrientes y luz del sol, respondiendo rápidamente a fluctuaciones ambientales de las aguas superficiales (McIntyre y Bé, 1967; Winter *et al.*, 1979; Brand *et al.*, 1983; Cortés *et al.*, 2001; Haidar y Thierstein, 2001). Por lo tanto, sus placas de CaCO_3 (cocolitos) se emplean como paleoindicadores de salinidad, temperatura y nutrientes, siendo útiles en paleoceanografía, paleontología y bioestratigrafía (McIntyre *et al.*, 1970; Bollmann *et al.*, 1998; Gravalosa *et al.*, 2005; Grelaud *et al.*, 2009) debido a que modifican sus asociaciones en función a las características oceanográficas de las aguas en las cuales habitan (McIntyre y McIntyre, 1971; Winter *et al.*, 1979; Holligan *et al.*, 1993; Knappertsbusch *et al.*, 1997; Cortés *et al.*, 2001; Haidar y Thierstein, 2001; Quinn *et al.*, 2005). Los cocolitóforos, al ser consumidos por otros organismos, llegan hacia el fondo marino por medio de pelotillas fecales o embebidas en agregados de nieve marina. Las pelotillas fecales presentan un alto contenido de materia orgánica, la cual puede representar más del 50% de su peso total (Pilskaín y Honjo, 1987). La producción de cocolitóforos en la zona fótica, en última instancia, resulta en la

transferencia de cocóferas y cocolitos, incorporados en paquetes fecales, los cuales pueden alcanzar velocidades de asentamiento de entre $\sim 50-800 \text{ m d}^{-1}$ dependiendo del tamaño, masa y forma (Cadée *et al.*, 1992), y agregados de todo tipo, al fondo del mar (Honjo, 1976). Así, la formación de grandes agregados biogénicos permite que una parte del carbono fijado por los cocolitóforos se transporte a mayores profundidades debido a su rápido hundimiento (Fowler y Knauer, 1986).

2.1.2. Foraminíferos

Los foraminíferos son protozoos unicelulares incluidos en la Clase Sarcodina (Boersma, 1998), con la capacidad de crear una concha de carbonato de cálcico (testa, parte dura) o de aglutinar partículas. En función de su hábitat, los foraminíferos pueden dividirse en dos grandes grupos: los que viven en el medio planctónico, al ser parte integrante del zooplancton, y los que habitan el medio bentónico, adaptándose a diversas profundidades y ambientes como: lagunar, plataforma interna y planicie abisal (Boersma, 1998). Los foraminíferos están limitados por diversos factores medioambientales (temperatura, profundidad, salinidad, nutrientes y oxigenación de las aguas) que determinan además de sus rangos sus abundancias (Boersma, 1998; Kemle-von Mücke y Hemleben, 1999; Santa Rosa-del Río *et al.*, 2011) por lo que representan una herramienta fundamental para la datación de sedimentos en medios marinos para reconstrucciones tanto paleoclimáticas como paleoceanográficas (Boersma, 1998; Kemle-von Mücke y Hemleben, 1999).

Los foraminíferos planctónicos pueden dividirse entre los que prefieren aguas cálidas (tropical-subtropical), los que abundan en aguas frías (polar-subpolar) y los de aguas templadas (Kemle-von Mücke y Hemleben, 1999). En general, los foraminíferos son omnívoros. Sin embargo, especies espinosas pueden preferir una dieta carnívora, que incluye tintínidos, radiolarios, copépodos y pterópodos. Los ciclos de vida varían de especie a especie, algunas de ellas exhiben un ciclo lunar o semi-lunar, con un lapso de vida de entre 2 y 4 semanas (Schiebel *et al.*, 1997; Schiebel y Hemleben, 2005). Se conocen solo 42 especies de foraminíferos planctónicos recientes; estos existen en todos los ambientes pelágicos de los océanos y sus densidades dependen principalmente de la disponibilidad de alimento

así como de las condiciones hidrográficas (Kemle-von Mücke y Hemleben, 1999). A altas latitudes la riqueza específica de foraminíferos planctónicos disminuye y se incrementa hacia el Ecuador (Boersma, 1998). En cuanto a su distribución vertical la mayor concentración de foraminíferos planctónicos se encuentra a profundidades de entre 75 y 150 m (Boersma, 1998) no obstante, algunas especies pueden migrar hacia profundidades mayores a 1000 m (Hemleben *et al.*, 1985 en Kemle-von Mücke *et al.*, 1999). Posterior a la gametogénesis las testas de foraminíferos planctónicos se hunden migrando hacia el sedimento (Schiebel y Hemleben, 2005). A causa de sus distintos requerimientos ecológicos y biológicos (ej. ciclo reproductivo) la sedimentación de los foraminíferos planctónicos llega a presentarse a manera de pulsos intermitentes (Bijma *et al.*, 1994; Sautter y Thunell, 1989), principalmente en periodos de alta productividad primaria como por ejemplo periodos de surgencia o proliferaciones algales (Schiebel y Hemleben, 2005). Cuando los foraminíferos planctónicos mueren, sus testas de calcita se hunden en la columna de agua a través de la nieve marina (Bishop *et al.*, 1977; Silver y Gowing, 1991), la cual al sedimentarse en el fondo marino llega a formar parte del registro fósil. Los foraminíferos planctónicos tienen un registro fósil excepcional (abundancia y preservación), convirtiéndose de gran utilidad en reconstrucciones paleoclimáticas y paleoceanográficas (Boersma *et al.*, 1987).

2.2. Antecedentes regionales

2.2.1. Cocolitóforos y foraminíferos en Cuenca Alfonso

En Cuenca Alfonso (CA) se depositan materiales terrígenos y biogénicos en proporciones similares (Silverberg *et al.*, 2014). Estos depósitos, junto con bajos niveles de oxígeno, $< 1 \text{ mL L}^{-1}$ en 100 m y $< 0.5 \text{ mL L}^{-1}$ en 300 m en la columna de agua, (Monreal- Gómez *et al.*, 2001; Choumiline, 2011) y baja o nula bioturbación en sedimentos a más de 400 m de profundidad, permiten la formación de sedimentos laminados (Pérez-Cruz, 2006), lo que hace a Cuenca Alfonso un área idónea para estudios paleoceanográficos y paleoclimáticos. El flujo de masa en CA es dominado por la fracción litogénica (56%), cuantitativamente el CaCO_3 es el componente biogénico predominante (20%) seguido por el BioSiO_2 (14%) y el carbono orgánico

(5.6%) según Aguirre-Bahena (2007). En agosto-septiembre del 2003 en CA, en muestras de trampa de sedimento, se registraron altos flujos litogénicos así como máximos flujos de cocolitos, producto de la influencia de los huracanes Ignacio y Marty (Urcádiz-Cázares, 2005; Silverberg *et al.*, 2007). Adicionalmente se registraron cambios en dominancia de las especies *Gephyrocapsa oceanica* y *Emiliana huxleyi* a dominancia de *Florisphaera profunda* (Urcádiz-Cázares, 2005), especie característica de la zona fótica inferior (Cortés *et al.*, 2001). Para ese mismo periodo, verano 2003, también se documentaron altos flujos de calcita por foraminíferos de hasta más de $12 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (datos no publicados de Rochín y colaboradores). Un estudio realizado por Sidón-Ceseña (2012) sobre la variación de la distribución vertical y estacional de los cocolitóforos en la columna de agua en Cuenca Alfonso en el 2007, mostró altas densidades (máxima de $126 \times 10^3 \text{ cel. L}^{-1}$) en invierno, desde los 0 a 30 m. De las 61 especies que fueron reportadas en ese estudio, *Emiliana huxleyi*, *Gephyrocapsa oceanica*, *G. ericsonii*, *Calciopappus rigidus*, *Florisphaera profunda*, *Pappomona sp.* y *Solisphaera blagnacensis* fueron las más abundantes. Para ese mismo año la trampa de sedimento registró altos flujos (máximo de $12,800 \times 10^6 \text{ cocolitos m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) de cocolitos en el periodo (diciembre de 2007) cuando se registraron las mayores rachas de viento $>4 \text{ ms}^{-1}$ (Rochín-Bañaga, 2012). La exportación de CaCO_3 por cocolitos en CA ha llegado a representar valores de hasta más de 70-80% del CaCO_3 total (Urcádiz-Cázares, 2005; Rochín-Bañaga, 2012); cabe mencionar que estos son los dos únicos trabajos que han registrado la exportación de calcita por cocolitos en CA y han sido realizados en años que han presentado condiciones oceánicas y climáticas muy particulares como la incidencia de huracanes o periodos donde se registraron bajas temperaturas superficiales menores a los 18°C (Rochín-Bañaga, 2012). Un estudio recientemente publicado por Silverberg y colaboradores (2014) muestra una fuerte correlación ($r = 0.84$) entre los flujos de material litogénico (*ballasting agent*) con los flujos de calcita. Ambos flujos fueron importantes durante la temporada fría y de fuertes vientos; lo que puede ocasionar que partículas calcáreas como los cocolitóforos puedan sedimentarse más rápidamente al adherirse a partículas más grandes y de mayor densidad, como

agregados y nieve marina, los cuales a su vez adquieren mayor densidad debido al material terrígeno que entra a la columna de agua.

Uno de los primeros registros de foraminíferos planctónicos en sedimentos superficiales a lo largo del Golfo de California, fue el reportado por Rozo-Vera y Carreño (1988), donde encontraron un total de 48 taxa. *Globigerina pachyderma incompta*, *G. bulloides* y *Globigerinita glutinata* fueron las especies más abundantes y con distribución más amplia. Los patrones de distribución de estas y otras especies parecen indicar la influencia de zonas de surgencias y frentes oceánicos, así como masas de agua del Océano Pacífico Tropical Oriental. Cuesta-Castillo y colaboradores (2005) realizaron un estudio de foraminíferos planctónicos en Bahía de La Paz mediante muestras de sedimento superficial definiendo dos conjuntos faunísticos. El primero representado por *G. bulloides*, *Neogloboquadrina pachyderma* y *Globigerinita glutinata* indicando presencia del Agua del Golfo de California y el segundo representado por *N. dutertrei*, *G. ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globigerinoides immaturus* y *Orbulina universa*, reflejando incursión del Agua Superficial Ecuatorial y Agua Subtropical Subsuperficial. Herguera y colaboradores (2003), realizaron un estudio de reconstrucciones climáticas con muestras de foraminíferos de un núcleo tomado en Bahía de La Paz; encontrando similitud entre registros instrumentales de temperatura superficial del mar y valores isotópicos de *G. bulloides*, de la cual se creó que tiene sus máximas abundancias en periodos fríos. En Cuenca Alfonso el flujo de foraminíferos planctónicos no ha sido estudiado, sin embargo, en Cuenca Guaymas se han reportado flujos de hasta $3,700 \text{ testas m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ durante la primavera (Thunell *et al.*, 1996). Utilizando isótopos de oxígeno de ciertas especies de foraminíferos como *Neogloboquadrina dutertrei*, *Pulleniatina obliquiloculata* y *Globorotalia menardii* se ha llegado a determinar gradientes de temperatura (Wejnert *et al.*, 2010) las cuales han sido identificadas también en la trampa de sedimento de Cuenca Alfonso (datos no publicados).

2.2.2. Bahía de La Paz (Cuenca Alfonso), Características oceanográficas

Cuenca Alfonso se localiza en Bahía de La Paz, a aproximadamente 60 km al nor-noroeste de la ciudad de La Paz, B.C.S. en las coordenadas 24° 39' N y 110° 36'

W. Se ubica en el suroeste del Golfo de California (Fig. 1). Esta bahía posee un tamaño es de aproximadamente de 75 km de largo por 35 km de ancho y una profundidad máxima de ~420 m. El intercambio de agua con el Golfo de California ocurre principalmente a través de la Boca Grande al norte, dónde la profundidad varía entre 220 y 320 m, mientras que su otra comunicación, el Canal San Lorenzo, al sureste, tiene una profundidad no mayor a los 18 m (Cruz-Orozco *et al.*, 1996; Obeso-Nieblas *et al.*, 2008; Salinas-González *et al.*, 2003). En el área de estudio los vientos tienen un patrón estacional con vientos provenientes del noroeste a partir de mediados de otoño hasta el invierno con rachas más frecuentes por arriba de los 5 m s^{-1} (Silverberg *et al.*, 2014, datos de la estación meteorológica del CIBNOR). Estos intensos vientos llegan a estimular la producción primaria en la zona (Martinez-López *et al.*, 2001) y en conjunto con las corrientes de marea y las corrientes superficiales pueden producir distintos elementos dinámicos como giros y convergencias, las cuales juegan un papel importante en el acarreo de nutrientes y partículas (Salinas-González *et al.*, 2003). El resto del año los vientos son predominantemente del sureste y se presenta un menor número de rachas de viento. Por otro lado, el área de estudio está influenciada principalmente por tres masas de agua clasificadas con base a rangos de temperatura y salinidad (ver en anexo Tabla 1) de acuerdo a Torres Orozco (1993): Agua del Golfo de California (AGC), Agua Superficial Tropical (AST) y Agua Subsuperficial Subtropical (ASS), éstas han sido documentadas por varios estudios (Monreal-Gómez *et al.*, 2001; Castro *et al.*, 2006; Obeso-Nieblas *et al.*, 2008).

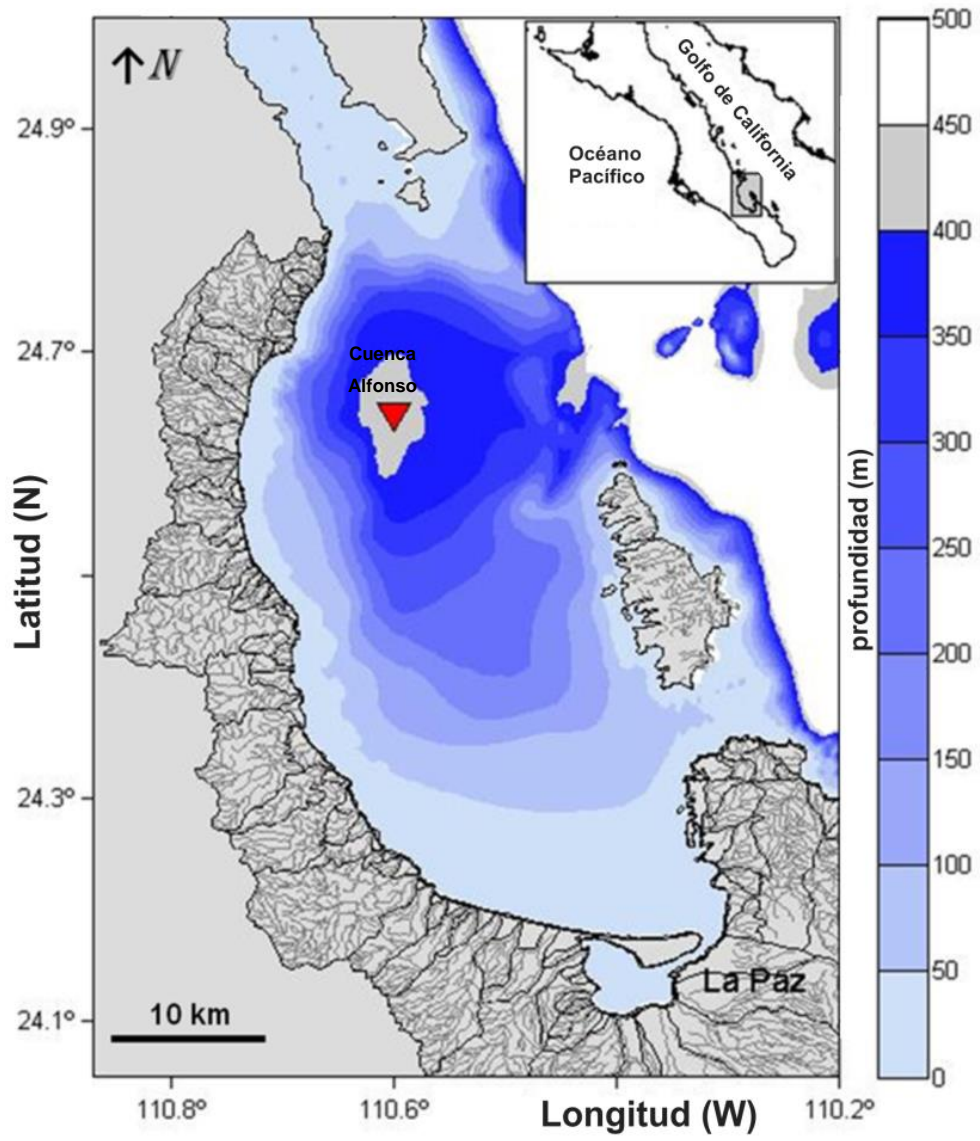


Figura 1. Localización del área de estudio (datos batimétricos proporcionados por L. Godínez Orta).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y/O HIPÓTESIS

3.1. Problemática y justificación

Los estudios sobre flujos verticales de la materia particulada en hundimiento (MPH) registrados mediante trampas de sedimentos (series de tiempo), permiten conocer cómo varían sus diversos componentes en el tiempo y en que grado estos cambios están asociados a la variabilidad en las condiciones climatológicas y oceánicas. Los cocolitóforos y foraminíferos, al ser agentes exportadores de calcita y parte de la bomba de carbonatos, se convierten en componentes fundamentales del ciclo biogeoquímico del carbono. Debido a que no todo el carbono es preservado en los sedimentos, es necesario tener un mejor entendimiento de la variabilidad de su exportación para fortalecer el desarrollo de modelos del ciclo biogeoquímico del carbono así como su interpretación. Con tal motivo en este estudio se evaluaron los flujos y la composición taxonómica de los cocolitóforos y foraminíferos, así como su aporte de calcita, incluyendo información de las condiciones oceanográficas y climatológicas durante el periodo de las observaciones correspondientes. Además este trabajo aporta información de aspectos ecológicos de cocolitóforos y foraminíferos así como pistas para futuras investigaciones de carácter paleoceanográfico.

4. HIPÓTESIS

En Cuenca Alfonso, en el periodo de otoño-invierno, el aporte de cocolitóforos al flujo de calcita es mayor que el de foraminíferos, y estos últimos, junto con otros grupos calcificados, contribuyen en mayor medida el resto del año. El flujo de cocolitos y foraminíferos varía en magnitud y composición de especies respondiendo a las condiciones estacionales tales como temperatura y salinidad.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Calcular la contribución de carbonato de calcio por cocolitóforos y foraminíferos en Cuenca Alfonso al flujo de carbonato de calcio total así como identificar las principales especies contribuidoras en el periodo de septiembre de 2011 a septiembre de 2012.

5.2. Objetivos particulares

- Determinar los contenidos de CaCO_3 total y del resto de los componentes de la materia particulada en hundimiento (ópalo, carbono orgánico y litogénico); así como sus flujos respectivos.
- Identificar las especies de cocolitóforos y foraminíferos; así como sus flujos respectivos.
- Calcular la contribución de CaCO_3 por cocolitóforos (por especie) y foraminíferos (por grupo) al CaCO_3 total.
- Identificar los posibles factores ambientales (oceanográficos-atmosféricos) que modulan los cambios en la composición y magnitud de los flujos de cocolitos y foraminíferos y por consiguiente su aporte de CaCO_3 .

6. MATERIAL Y MÉTODOS

En total se analizaron 11 muestras correspondientes al periodo septiembre de 2011 a septiembre de 2012. Para realizar la colecta de muestras se instaló una trampa de sedimento (marca Technicap® modelo PPS 3/3 de 0.125 m² de abertura) a 300 m de profundidad en Cuenca Alfonso (Fig. 2). La trampa cuenta con doce botellas en las cuales se recolectó el material particulado en hundimiento por periodos continuos programados con una resolución de 30 días. Adicionalmente se realizaron muestreos mensuales y se registraron datos de temperatura y conductividad por medio de un CTD (Seabird 19 plus). Estos datos se utilizaron para la elaboración de gráficos de la estructura termohalina de la columna de agua y de un diagrama T-S utilizando la clasificación de masas de agua propuesta por Torres-Orozco (1993).

6.1. Trabajo de laboratorio

6.1.1. Preservación de las muestras

Las botellas de la trampa de sedimento, fueron llenadas con una solución preservadora la cual fue amortiguada con tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Para la preparación de 5 litros de esta solución, se disolvieron 7.5 g de tetraborato de sodio en 250 mL de formaldehído al 37%. A esta solución se le añadió 4.5 L de agua de mar previamente filtrada (filtros de membrana de 0.45 μm) y se agregó al agua de mar 5-7 g de NaCl de alta pureza para elevar su salinidad hasta ~40. Para más detalles se recomienda ver Aguirre Bahena (2007) y Silverberg *et al.* (2007). El pH de las muestras se mantuvo alrededor de 8.5, para la preservación adecuada de los carbonatos.

6.1.2. Análisis de muestras

Una vez que las muestras fueron recuperadas de la trampa de sedimento, éstas fueron inicialmente tamizadas en una malla de 1000 μm , a fin de separar todos los organismos del zooplancton, que convencionalmente no son considerados parte del flujo de partículas. Los grandes agregados, organismos y partes de organismos mayores a 1mm fueron separados y guardados. Una vez tamizadas las muestras se

fraccionaron en diez alícuotas para los diferentes análisis (Fig. 3). Posteriormente se hizo la identificación y conteo de cocolitóforos y foraminíferos además de pterópodos y ostrácodos. Hay que considerar que material menor a 1000 μm puede no pasar la malla de 1mm, debido a que parte de ese material se encuentra embebido en los agregados y pelotillas fecales mayores a 1 mm, estos fueron colectados manualmente y regresados a la fracción menor de 1mm. Importante es mencionar que dado nuestro objetivo por cuantificar la exportación de CaCO_3 , solo se trabajó con las partes de organismos calcificados, los demás grupos fueron utilizados para otros proyectos. Mediante un fraccionador rotativo se obtuvieron 10 submuestras iguales. Estas submuestras se colectaron en tubos de 50 mL, los cuales previo a su uso se mantuvieron con HCl al 10% durante tres días, fueron lavados con abundante agua desmineralizada y desionizada y secados, para ser utilizadas en distintos análisis como análisis de carbono inorgánico, carbono orgánico y sílice biogénico.

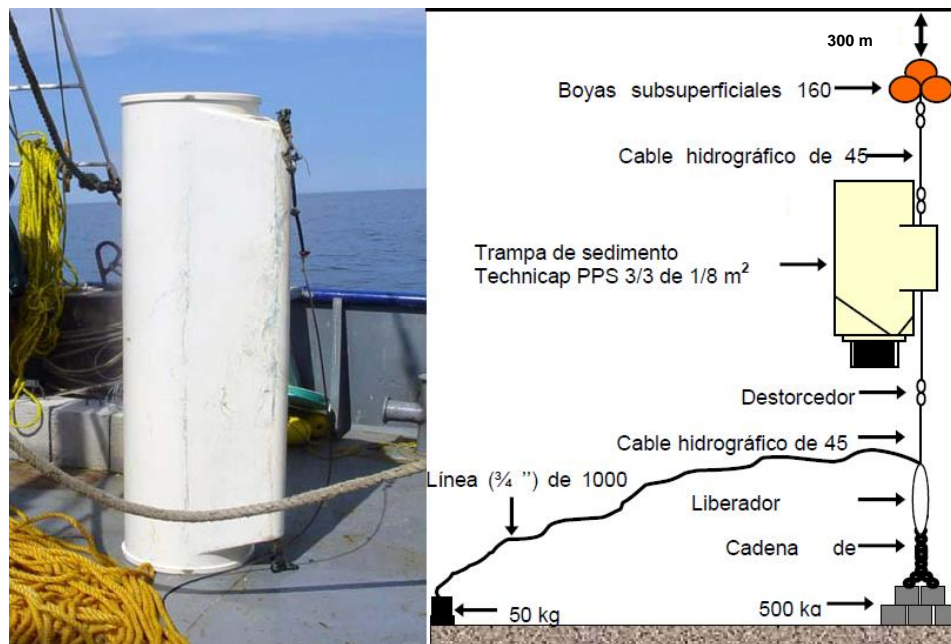


Figura 2. Trampa de sedimentos y esquema del anclaje. (Detalles de la instalación pueden consultarse en trabajos previos Aguirre Bahena, 2007).

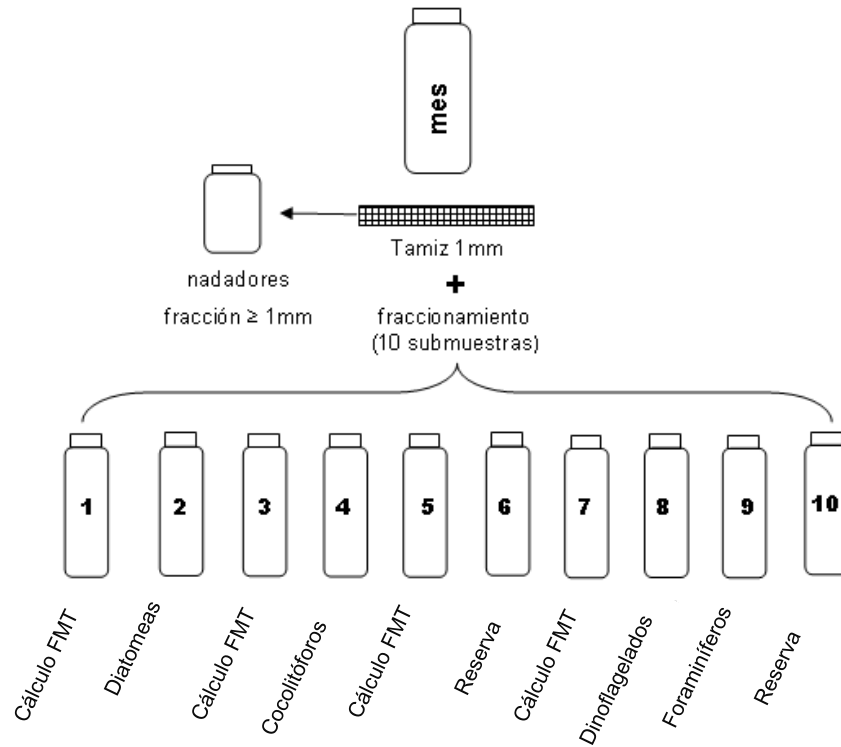


Figura 3. Diagrama que muestra los diferentes fines y análisis realizados a las muestras y submuestras (1-10) de la trampa de sedimentos.

6.1.3. Determinación del flujo de masa total

Para analizar el flujo de masa cuatro de las submuestras fueron centrifugadas durante 25 minutos a 3000 rpm para eliminar, por decantación, la solución preservadora. A continuación las muestras se lavaron con agua desmineralizada para eliminar las sales, se centrifugaron nuevamente eliminando el sobrenadante y se repitió el procedimiento 3 veces. Las muestras se secaron durante 72 horas a ~50 °C en un horno. El material recuperado fue pesado posteriormente en una balanza analítica (UMX2 Mettler Toledo) con una precisión de ± 0.01 mg. La determinación del flujo de masa total se realizó mediante la siguiente fórmula:

Donde:

FMT= flujo de masa total

M= masa promedio de las 4 muestras (en g)

N= número de alícuotas

At= área de la abertura de la trampa (0.125 m^2)

T= días que estuvo la botella recolectando material

$$\text{FMT} = \frac{M * N}{A_t * T}$$

Hay que considerar que los análisis de componentes del flujo de masa total solo fueron realizados para las primeras 8 muestras (septiembre de 2011 a mayo de 2012) debido a que las demás muestras de la trampa no contenían suficiente material para los respectivos análisis.

6.1.4. Determinación de carbonato de calcio y carbono orgánico

Para el análisis de carbono orgánico (C_{org}) y carbonato de calcio se pesaron alrededor de 20 mg de cada una de las muestras, cabe mencionar que para el análisis de C_{org} las muestras fueron previamente acidificadas. El contenido de C_{org} fue determinado en el laboratorio de química de la Universidad de California (UC Davis Stable Isotope Facility) mediante la combustión de las muestras a 1000 °C en un reactor con óxido de cobre y cromato de plomo. La precisión y exactitud de los análisis fue comprobada aplicando estándares internos y material de referencia certificado (IAEA-N1, IAEA-N2, IAEA-N3, USGS-40, and USGS-41). El carbono inorgánico fue analizado en el Centro de Investigación Científica y de Educación de Ensenada (CICESE), con el Dr. Juan Carlos Herguera; para el cual se utilizó un coulómetro modelo CM5014, donde el CO_2 producido es transportado por un flujo de oxígeno a una celda Coulomb del analizador, donde es cuantitativamente absorbido, reaccionando con monoetanolamina para formar un ácido titulable. La exactitud del método fue controlada usando sedimento estándar (CM301-002) y realizando 3 réplicas de tres muestras. La conversión de carbonato de calcio se realizó mediante fórmula estequiométrica.

6.1.5. Determinación de sílice biogénico

La determinación del silicio biogénico se realizó de acuerdo a la técnica propuesta por De Master (1981). Se pesaron alrededor de 15 mg de cada una de las sub-muestras y se colocaron en tubos de centrifuga de 50 mL. A cada uno de los tubos se le agregó 50 mL de una solución de Na_2CO_3 al 1%, esta solución fue previamente calentada a una temperatura constante de 85°C a baño maría, al igual que los tubos. Posteriormente se tomaron 0.5 mililitros del extracto cada 0.5, 1, 2, 3, 5 y 7 horas, añadiendo a un tubo con 10 mL de molibdato de amonio y 25 mL de agua destilada y se aforó a 50 mL con la solución reductora. Posteriormente se

determinó el contenido de silicatos por medio de un espectrofotómetro de acuerdo a Strickland y Parsons (1968), multiplicando la concentración de silicio por un factor de 2.4 siguiendo la metodología de Mortlock y Froelich (1989) con una precisión de 1 y 5%.

6.1.6. Contribución litogénica

El cálculo de la fracción litogénica fue estimada restando la fracción biogénica (sílice biogénico + materia orgánica particulada (MOP) ($[MOP = 2.5 \times C_{org}] + CaCO_3$) del 100% (ver Thunell *et al.*, 2007).

6.2. Flujo de cocolitóforos y aporte de $CaCO_3$ por cocolitos

Un décimo de la sub-muestra se fraccionó nuevamente en 30 partes en una fraccionadora (Fritschs de 0.1% de error) en húmedo, utilizando agua destilada con pH de 8.5 para evitar disolución del carbonato de calcio. Las fracciones resultantes fueron agrupadas en 27/300 y 3 partes /300. Un 300avo fue fraccionado nuevamente obteniendo 27/9000, 1/9000 y 2/9000, trabajando solamente esta última (2/9000), las demás se guardan como reserva (ver Urcádiz-Cázares (2005)).

Posteriormente se eliminó la materia orgánica (debido a que ésta dificulta el conteo de cocolitos) de acuerdo a la técnica propuesta por Bairbakhish y colaboradores (1999): a cada alícuota (2/9000) se le aplicó 800 μ L de la solución acuosa de NaClO al 2.8 % (blanqueador doméstico). Inmediatamente después se le aplicó un volumen similar de H_2O_2 al 30%. La alícuota fue sometida a ultrasonido, para disgregar el material, a una frecuencia de 50 kHz por 5 segundos repitiéndose de 5 a 6 veces, cada 10 minutos. Fue necesario mantener el pH en un rango de 8-9 durante todo el procedimiento para no generar disoluciones o precipitaciones de carbonatos. Con este procedimiento químico y físico se eliminó la materia orgánica antes de proceder a filtrar las muestras. La muestra procesada se filtró a través de un filtro de membrana Nucleopore® de 0.8 μ m de tamaño de poro, en un sistema de filtrado el cual consiste en mangueras conectadas a un filtro y a una bomba de vacío (Bollmann *et al.*, 2002). Después de que la membrana se secó, se cortó una pequeña área triangular ($6.5391 \times 10^{-6} m^2$) y se fijó sobre una placa de aluminio aplicando una solución de plata líquida en los márgenes del triángulo, de acuerdo a la metodología de Bollmann *et al.* (2002). La placa fue sometida a un baño de 15 nm

de oro, utilizando un pulverizador catódico para añadir conductividad eléctrica a la muestra así como para brindar protección a la misma y poder ser observada en el microscopio electrónico de barrido.

De las 12 muestras colectadas la botella 11, correspondiente al periodo del 17 de julio al 17 de agosto del 2012, contenía sólo un agregado, por lo que fue imposible hacer los respectivos análisis de cocolitos. Las muestras preparadas se procesaron en el Departamento de Geología de la Universidad de Toronto en Canadá, para su digitalización en un microscopio electrónico de barrido ZEISS SUPRA 55vp. Se tomaron 1500 imágenes digitales, por cada muestra; cada muestra tiene 15 campos visuales y cada campo visual es representado por 100 imágenes digitales, como la que se observa en la figura 4. Las imágenes digitales se analizaron a través del software AnalySIS®, el cual permite realizar mediciones y conteo de los cocolitos guardando directamente la información en hojas de Excel.

6.2.1. Identificación de especies

La identificación de los cocolitos se realizó de acuerdo a las claves descritas en Winter y Siesser (1994), Cros (2001) y Young *et al.* (2003). Adicionalmente, y considerando las variaciones en tamaño de ciertas especies de cocolitóforos como *Emiliania huxleyi*, *Gephyrocapsa oceanica*, *Florisphaera profunda* y *Calcidiscus leptoporus*, estas fueron clasificadas también de acuerdo a su tamaño siguiendo las categorías establecidas por Bollmann (1997), Quinn *et al.* (2005), Knappertsbusch *et al.* (1997) y por su grado de calcificación de acuerdo a Young *et al.* (2003).

6.2.2. Cálculo del flujo de cocolitos

Después de haber calculado el número de cocolitos totales por muestra y por especie, se determinó el flujo de cocolitos con la siguiente ecuación (Andruleit, 1997):

$$F_c = \frac{N A f_s}{a t A_t}$$

Donde:

F_c = flujo de cocolitos $m^{-2} d^{-1}$.

N = número de cocolitos contados o su equivalente en g.

A = área efectiva de filtración ($9.89 \times 10^{-4} m^2$),

f_s = factor split (cantidad de veces que se dividió la muestra original)

a = área analizada del filtro en m^2 (6.5391×10^{-6})

t = tiempo de apertura de colecta o muestreo en días,

A_t = área de la abertura de la trampa ($0.125 m^2$).

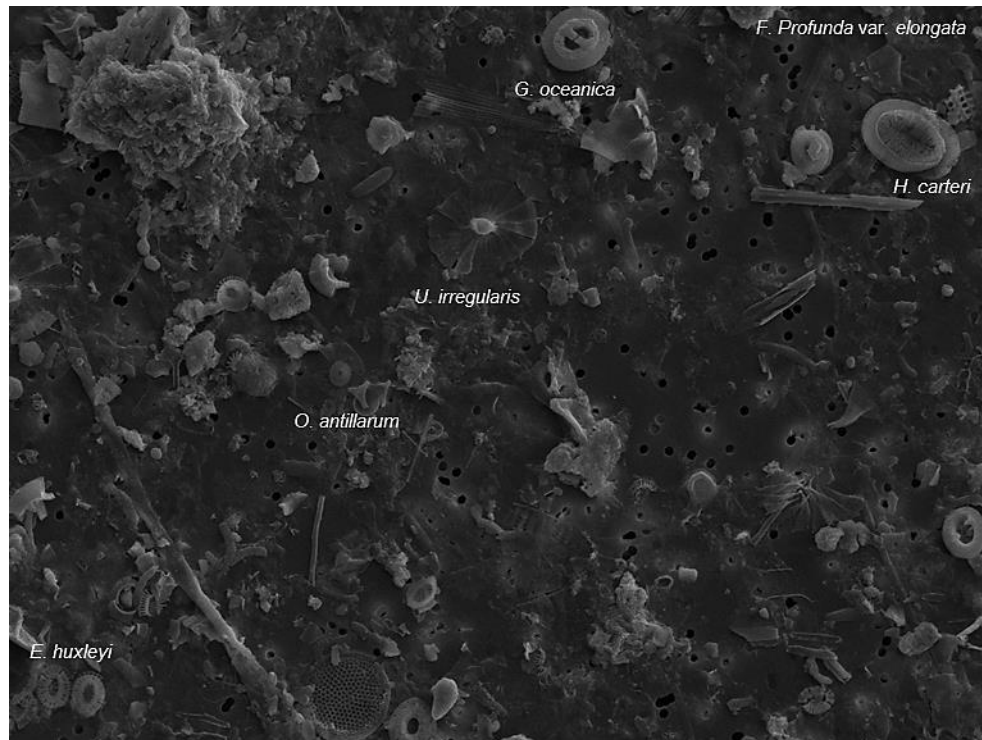


Figura 4. Imagen del MEB. Cada imagen representa un área de 56.96 μm x 76.17 μm , tomadas a una magnificación de 1500x; para más detalles consultar Bollmann *et al.* (2004).

6.2.3. Cálculo de CaCO_3 por cocolitos

Para la determinación aproximada de CaCO_3 que aportan los cocolitos (anexo Tabla 2), se consideraron no sólo las dimensiones de los cocolitos, sino también la presencia de disolución o calcificación que éstos puedan presentar, ya que una misma especie puede variar tanto en tamaño como en grado de calcificación de una muestra a otra. La longitud de los cocolitos se obtuvo por medio de mediciones directas de las imágenes digitales. La obtención de la masa de los cocolitos se realizó de acuerdo a pesos establecidos por Beaufort y Heussner (1999) y Young y Ziveri (2000) (ver en anexo Tabla 3).

6.3. Flujo de foraminíferos y cálculo de CaCO_3 por foraminíferos

El conteo de foraminíferos (63-1000 μm) se realizó con ayuda de un microscopio óptico, en el cual las especies encontradas se identificaron de acuerdo a Parker (1962), Boersma (1998) y Kemle-von Mücke y Hemleben (1999). Para la fracción fina <63 μm se realizaron láminas delgadas y fueron observadas en un

microscopio petrográfico (del Depto. de Geología Marina, UABCS). Cabe mencionar que no se realizaron conteos de organismos en esta fracción.

El flujo de foraminíferos se representa en términos de número de organismos (testas o individuos) por metro cuadrado por día (testas $m^{-2} d^{-1}$), tomando en cuenta el conteo de testas, las veces que se dividió la muestra (factor Split), la duración en que la trampa estuvo colectando material y la abertura de la trampa de sedimento (King y Howard, 2001). Para la colecta de testas, cada una de las muestras (1/10) fue tamizada en una malla de 63 μm utilizando una solución de pH 8.5. Para la determinación aproximada de $CaCO_3$ que aportan las testas se prosigue a eliminar la materia orgánica siguiendo la metodología de Bairbakhish *et al.* (1999) y a su vez separar las testas de los agregados. Para facilitar la colecta de testas, la separación se hace sobre un tamiz humedeciendo los agregados con un pincel. De otra manera las testas pueden romperse, si se hiciera la colecta en seco. Posteriormente las testas colectadas son pesadas en una microbalanza analítica UMX2 Mettler Toledo, con una legibilidad de 0.001 mg, para la obtención de su peso en mg de calcita.

6.4. Tratamiento estadístico

Los flujos de organismos y en general de la MPH se trataron estadísticamente. Primeramente se utilizaron métodos descriptivos como: media, mínimos, máximos y desviación estándar. Posteriormente, a los flujos de cocolitos y foraminíferos se le aplicó un análisis discriminante Utilizando una categorización *a priori* de las masas de agua graficando las distancias de Mahalanobis, esto con la finalidad de determinar similitud entre los flujos y las respectivas masas de agua en la bahía. Este análisis se realizó utilizando el software STATISTICA 7.

7. RESULTADOS

7.1. Condiciones de temperatura y salinidad en Cuenca Alfonso

Acorde a los resultados de temperatura y salinidad realizados en este estudio se identificaron tres principales masas de agua en nuestro muestreo de septiembre de 2011 a septiembre de 2012. El periodo de verano-otoño observó un rango de temperaturas entre 12-30°C, y salinidad de entre 34.7-35.2, que corresponde a Agua Superficial Tropical (AST) y Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt); mientras que para invierno-primavera el rango de temperatura osciló entre 12-22°C y salinidad de 34.7-35.4, propias de Agua Subsuperficial Subtropical y Agua del Golfo de California (AGC). Los datos de temperatura y salinidad (Fig. 5) muestran que los cambios estacionales más significativos se registraron en los primeros 100 m de profundidad y de acuerdo al diagrama T-S (Fig. 6), los meses de septiembre, octubre, noviembre y principios de diciembre, observaron mayor presencia de AST y ASsSt en la bahía.

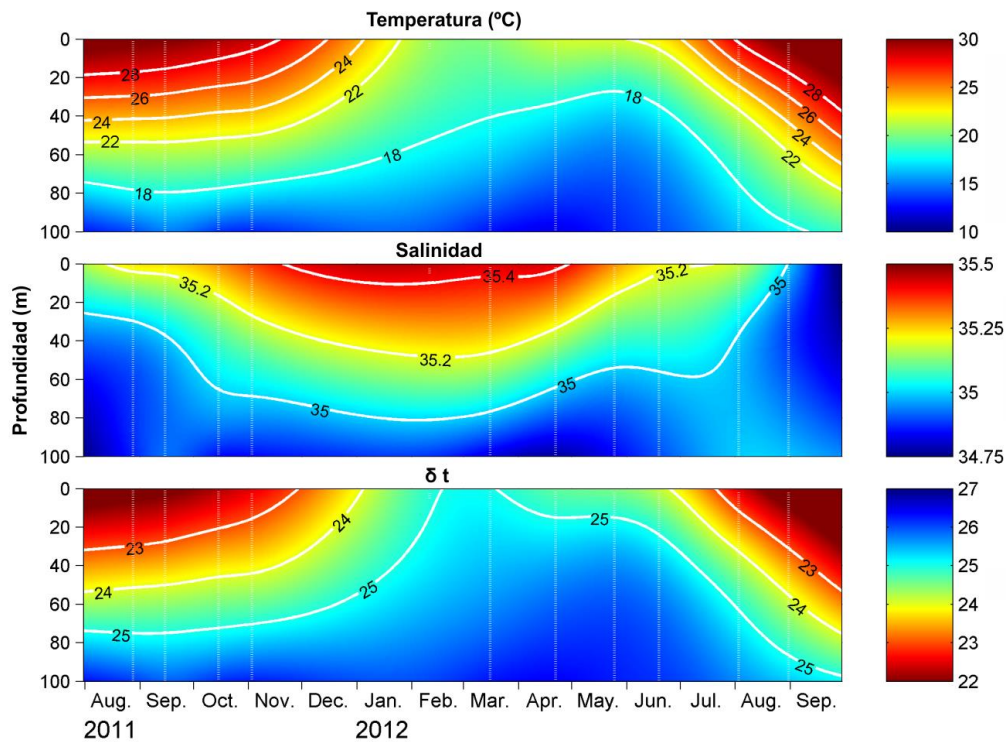


Figura 5. Distribución de temperatura, salinidad y sigma t a partir de lances de CTD para el periodo correspondiente de septiembre de 2011 a septiembre de 2012.

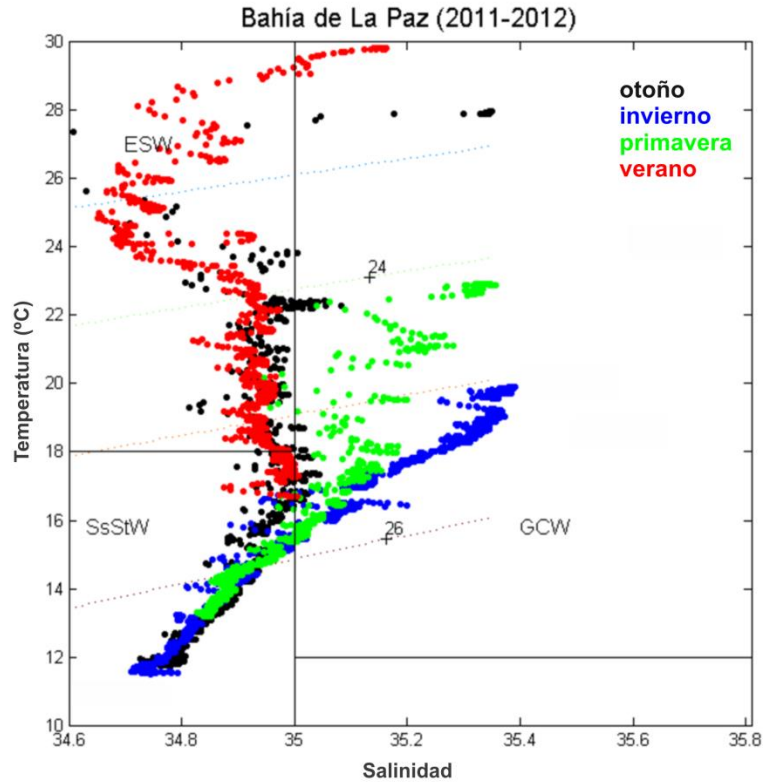


Figura 6. Diagrama T-S de las masas de agua en Bahía de La Paz para los meses de noviembre 2011, marzo, mayo y septiembre 2012. Datos hasta 270 m de profundidad.

7.2. Flujo de masa total y componentes

Los resultados del flujo de masa total (FMT) mostraron valores desde un mínimo de $0.07 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ documentado en julio-agosto de 2012 hasta un máximo de $1979 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en diciembre-enero de 2012 (Fig. 7). El flujo de masa promedio y desviación estándar, para todo el periodo de estudio fue de $604 \pm 605 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, se puede observar que en los periodos de otoño-invierno se presentan mayores valores de los FMT, mientras que en primavera-verano se registraron bajos valores, incluyendo la muestra de julio-agosto de 2012 que presentó sólo algunos agregados.

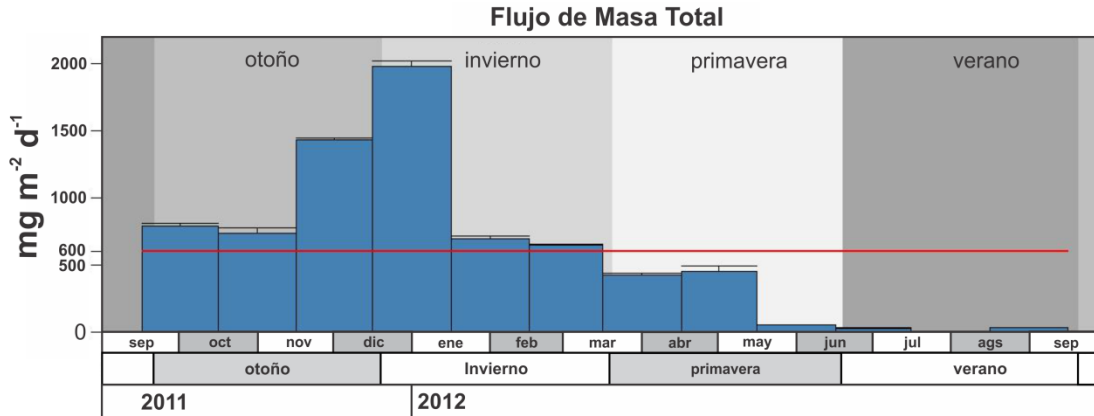


Figura 7. Flujo de masa total ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$) de la materia particulada en hundimiento en Cuenca Alfonso de septiembre de 2011 a septiembre de 2012, línea roja indica el valor promedio.

7.2.1. Material litogénico y sílice biogénico (BioSiO_2)

El flujo mínimo de material litogénico reportado fue de $120 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ en los meses de abril y mayo de 2012, mientras que el máximo fue de $889 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ en los meses de diciembre-enero de 2012 (Fig. 8). El flujo promedio y desviación estándar fue de $342 \pm 265 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$. El flujo mínimo del BioSiO_2 fue de $141 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ en los meses de marzo y abril de 2012, mientras que el máximo fue de $554 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ en los meses de diciembre-enero de 2012 (Fig. 8). El flujo promedio y desviación estándar fue de $264 \pm 140 \text{ mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$. El porcentaje de BioSiO_2 respecto al FMT varió desde un 20%, a principios de otoño de 2011 (septiembre-octubre), hasta un 41%, en invierno (febrero-marzo), mostrando un promedio de 31%; mientras que el porcentaje de la fracción litogénica respecto al FMT varió desde un 27%, en primavera (abril-mayo), hasta un 45%, en invierno (diciembre-enero), mostrando un promedio de 36%, convirtiéndose en el componente con mayor porcentaje del FMT seguido por el sílice biogénico (Fig. 9).

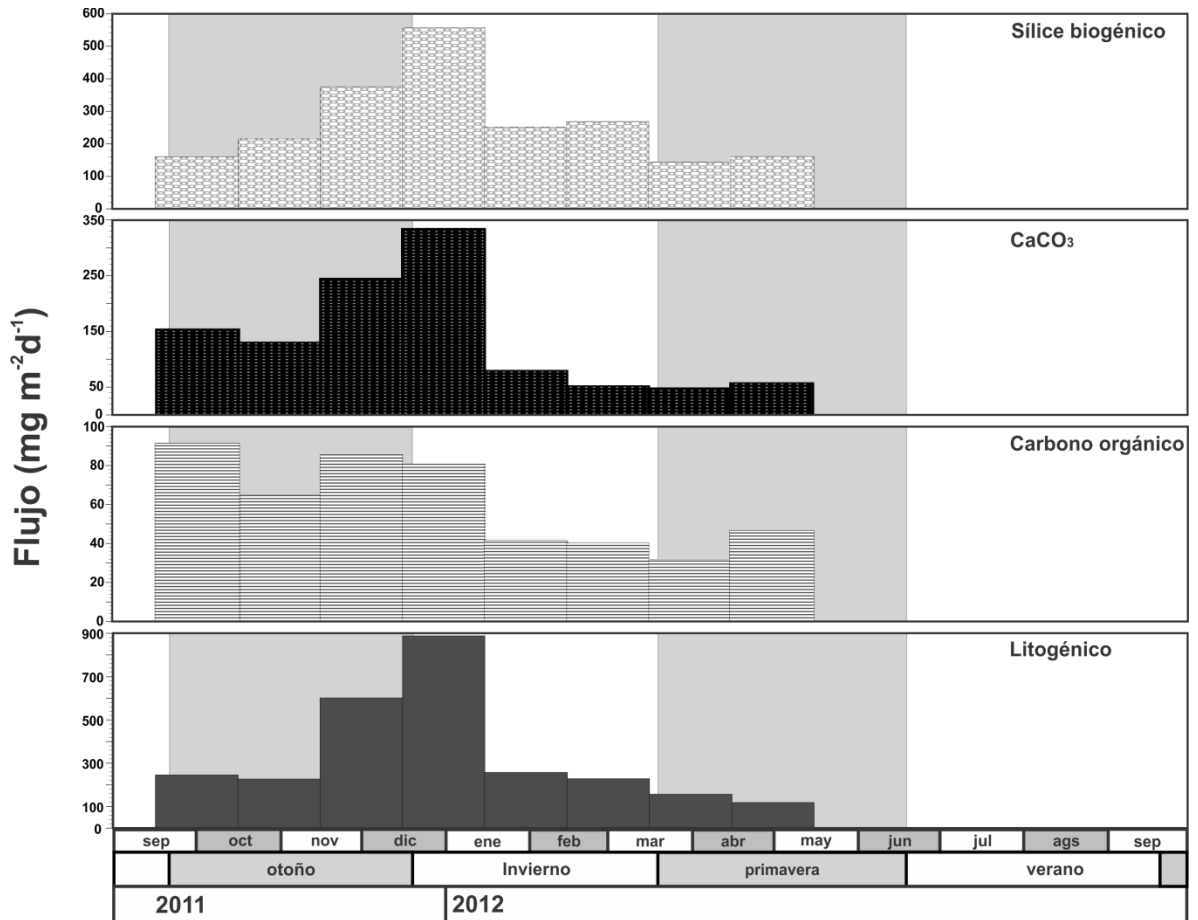


Figura 8. Variación de los flujos de los principales componentes del material en hundimiento durante el periodo muestreado (valores en anexo Tabla 4).

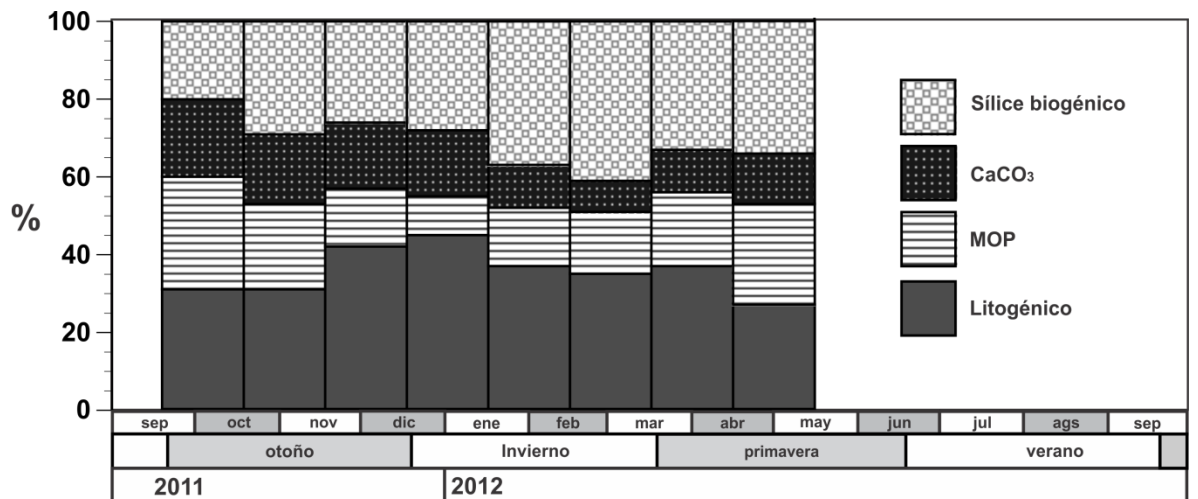


Figura 9. Porcentaje de los principales componentes del material particulado en hundimiento durante el periodo de muestreo.

7.2.2. Carbono orgánico y carbonato de calcio

El flujo de C_{org} registró valores mínimos de $31 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y se registró en marzo-abril de 2012, mientras que los valores máximos del flujo de $91 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ocurrieron en septiembre-octubre de 2011 (Fig. 8). El flujo promedio y desviación estándar fue de $60 \pm 23 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. El porcentaje de C_{org} respecto al FMT varió desde un 4%, a principios de invierno, hasta un 11%, a principios de otoño, mostrando un promedio de 8% (Fig. 9). El flujo mínimo del CaCO_3 fue de $47 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en los meses de marzo y abril de 2012, mientras que el máximo fue de $334 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en los meses de diciembre-enero de 2012 (Fig. 8). El flujo promedio y desviación estándar fue de $137 \pm 104 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. El porcentaje de CaCO_3 respecto al FMT varió desde un 8%, a finales de invierno, hasta un 19.5%, a principios de otoño de 2011, mostrando un promedio de 14% (Fig. 9). Los resultados mostraron que la fracción $> 63 \mu\text{m}$ compuesta principalmente por foraminíferos y pterópodos, representó en promedio un 24% del CaCO_3 total, mientras que la fracción $< 63 \mu\text{m}$ conformó en promedio 76% del CaCO_3 total. A partir de un análisis de láminas delgadas de la fracción fina ($< 63 \mu\text{m}$) se observó que en esta fracción están presentes foraminíferos y protoconchas de pterópodos menores a $60 \mu\text{m}$, así como fragmentos de testas y cocolitóforos.

7.3. Fracción $\geq 1\text{mm}$ (nadadores)

La fracción de la muestra original separada en la malla de 1 mm, se conformó en su mayor parte de grandes agregados de nieve marina de consistencia mucosa. Se logró identificar organismos como poliquetos y copépodos. Sin embargo, se identificaron microorganismos con tamaño mucho menor a 1mm, los cuales fueron colectados y regresados a la fracción menor; esto debido a la consistencia y tamaño de los agregados que atraparon el material impidiéndole pasar por el tamiz. El orden de organismos más representativo en esta fracción fue el de los foraminíferos el cual presentó tamaños que variaron de 80 a $600 \mu\text{m}$, seguido por el thecosomata con tamaños que variaron de 200 a $1600 \mu\text{m}$. Los pterópodos en general presentaron mayor número de individuos (40) en los meses de noviembre y diciembre de 2011, los heterópodos registraron mayor número de individuos (25) en los meses de abril y

mayo de 2012, mientras que los ostrácodos presentaron valores altos (15) en enero-febrero de 2012. En los meses de junio a septiembre de 2012 prácticamente estos grupos están ausentes en la trampa.

7.4. Flujo de cocolitóforos

7.4.1. Especies identificadas

En las 11 muestras analizadas (16,500 imágenes digitales) se identificó un total de 25 especies de cocolitóforos (Tabla 1). Algunas especies de cocolitóforos fueron adicionalmente clasificadas basándose en su tamaño y grado de calcificación (Fig. 11), ya que estos dos factores influyen en la cantidad aportada de calcita. *Gephyrocapsa oceanica* (Equatorial, Larger y Minute, definidas a partir de sedimentos del Holoceno) fue la especie más abundante seguida por *E. huxleyi* (tipo A y B). *Florisphaera* spp. fue la tercer especie en importancia y se identificaron dos variedades: *F. profunda* var. *profunda* y *F. profunda* var. *elongata*, esta última se separó en chica, mediana, grande y extra grande. El género *Syracosphaera* estuvo presente con 3 especies al igual que *Umbilicosphaera* spp. que estuvo representado por: *U. anulus*, *U. foliosa*, *U. hulburtiana* y *U. sibogae*; esta última fue la más abundante del género. Del género *Helicosphaera* también se identificaron 3 especies, *H. carteri*, *H. pavementum* y *H. wallichii*, de las cuales *H. carteri* fue la más frecuente y abundante en el periodo muestreado. De los géneros *Calcidiscus* y *Oolithotus* solo se identificaron *C. leptoporus* (chico-grande) y *O. fragilis* (chico-grande) y *O. antillarum*.

7.4.2. Flujo de nanoplacton calcáreo

Las especies *Emiliana huxleyi* tipo A y tipo B, *Florisphaera profunda* var. *elongata* mediana y *Gephyrocapsa oceanica* Equatorial y Larger fueron las más abundantes en el flujo de cocolitos y juntas comprendieron alrededor del 81% de flujo total de cocolitos de las muestras analizadas (Tabla 2).

El flujo total de cocolitos mostró un patrón estacional con flujos mínimos (3×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$) en agosto-septiembre de 2012 y flujos máximos (1390×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$) en septiembre-octubre de 2012 (Fig. 11a). *G. oceanica* spp., incluyendo sus morfotipos, fue el mayor contribuidor de cocolitos (41.9% del flujo

total) en Cuenca Alfonso. Esta especie presentó máximos flujos (513×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$) en el periodo de otoño (septiembre-octubre) de 2011, mientras que en el verano (agosto-septiembre) de 2012 esta especie registró sus flujos mínimos (0.18×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$). El flujo de la mayoría de las especies presentó el mismo patrón que *G. oceanica*. *E. huxleyi* presentó máximos flujos de 501×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$ y mínimos flujos de 0.5×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$; dominando el tipo A con flujos máximos de 398×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$ sobre el tipo B en el periodo de otoño. Sin embargo, a partir de los meses de diciembre-enero *E. huxleyi* tipo B dominó sobre tipo A con flujos máximos de 27×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$. *U. irregularis* mostró máximos flujos de 94×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$ y mínimos de 0.35×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$ hasta ser ausente a partir de febrero-marzo de 2012. El género *Umbilicosphaera* presentó flujos máximos de 39×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$ en el mes de septiembre-octubre de 2011 al igual que *Oolithotus* spp. quien registró máximos flujos de 49×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$, mientras que para octubre-noviembre de 2011 *Helicosphaera* spp. presentó sus máximos flujos de 27×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$ al igual que *Calcidiscus* spp. quien reportó flujos máximos de 7×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$. Los flujos mínimos para estos cuatro géneros se registraron en verano a partir de los meses de mayo a julio con valores de 0.2×10^6 cocolitos $m^{-2} d^{-1}$.

7.5. Exportación de $CaCO_3$ por cocolitóforos

G. oceanica Equatorial fue la mayor contribuidora de flujo de $CaCO_3$ en Cuenca Alfonso aportando el 42.8% del carbonato de calcio total por cocolitos, seguido por *Helicosphaera* spp. (16.7%), *Oolithotus* spp. (9.6%) y *Calcidiscus* spp. (6.5%) (Fig. 11b). El resto de las especies contribuyeron con poco más del 24% del flujo de $CaCO_3$ aportado por cocolitos. Los mayores valores del flujo de $CaCO_3$ por cocolitos se observaron en otoño, registrando un máximo flujo ($20.3 \text{ mg } m^{-2} d^{-1}$) en septiembre-octubre de 2011 y un flujo mínimo ($0.0025 \text{ mg } m^{-2} d^{-1}$) en agosto-septiembre de 2012. Por otro lado, la exportación de $CaCO_3$ por cocolitos varió estacionalmente registrándose un flujo promedio y desviación estándar de $4 \pm 6 \text{ mg } m^{-2} d^{-1}$; equivalente al 4% del flujo de calcita total.

Tabla 1. Listado taxonómico de especies encontradas

Heterococolitos

ORDEN: COCCOLITHALES Schwarz, 1932

Familia: Calcidiscaceae Young, y Bown 1997

Género: *Calcidiscus* Kamptner, 1950
C. leptoporus (Murray y Blackman) Loeblich Jr. y Tappan, 1978

Género: *Oolithotus* Reinhardt, 1968
O. fragilis (Lohmann) Martini y Müller, 1972
O. antillarum Reinhardt, 1968

Género: *Umblicosphaera* Lohmann, 1902
U. anulus (Lecal) Young y Geisen, 2003
U. hulburtiana Gaarder, 1970
U. sibogae (Weber-van Bosse) Gaarder, 1970

ORDEN: SYRACOSPHAERALES Hay, 1977

Familia: Calciosoleniaceae Kamptner, 1937

Género: *Calciosolenia* Gran, 1912
C. brasiliensis (Lohmann) Young, 2003
C. murrayi Gran, 1912

Familia: Rhabdosphaeraceae Lemmermann, 1903

Género: *Acanthoica* Lohmann, 1903
A. quattrosphina Lohmann, 1903

Género: *Algirosphaera* Schlauder, 1945
A. robusta (Lohmann) Norris, 1984

Familia: Syracosphaeraceae (Lohmann) Lemmermann, 1903.

Género: *Coronosphaera* Gaarder, en Gaarder y Heimdal, 1977
C. mediterranea (Lohmann in Gaarder y Heimdal, 1977

Género: *Syracosphaera* Lohmann, 1902
S. anthos (Lohmann) Janin, 1987
S. pulchra Lohmann, 1902
S. tumularis Sánchez-Suárez, 1990

ORDEN: ISOCHRYSIDALES Pascher, 1910

Familia: Noëlaerhabdaceae Jerkovic, 1970

Género: *Emiliania* Hay y Mohler en Hay et al., 1967
E. huxleyi (Lohmann) Hay y Mohler en Hay et al., 1967

Género: *Gephyrocapsa* Kamptner, 1943
G. ericsonii McIntyre y Bé, 1967
G. oceanica Kamptner, 1943

Género: *Reticulofenestra* Hay, Mohler y Wade, 1966
R. parvula (Okada y McIntyre) Biekart, 1989

ORDEN: ZYGODISCALES Young y Bown, 1997

Familia: Helicosphaeraceae Black, 1971

Género: *Helicosphaera* Kamptner, 1954
H. carteri (Wallich) Kamptner, 1954
H. pavementum Okada y McIntyre, 1977
H. wallichii Kamptner, 1954

Holococolitos

ORDEN: Coccosphaerales, Parker, 1982

Familia: CALYPTROSPHAERACEAE Boudreaux et Hay, 1969

Género: *Calyptrolithina* Heimdal, 1982
C. multipora?

Género: *Poricalyptra* Kleijne, 1991
P. magnaghii

Tabla 1. Continuación

Insertaesedis

Género: *Florisphaera* Okada y Honjo, 1973
F. profunda Okada y Honjo, 1973
F. profunda var. *elongata* Okada y McIntyre 1980

Género: *Umbellosphaera* Markali y Paasche, 1955
U. irregularis Paasche en Markali y Paasche, 1955
U. tenuis (Kamptner) Paasche en Markali y Paasche, 1955

Tabla 2. Flujo de cocolitos totales ($\times 10^6 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) de las principales especies por muestra y género con sus respectivos porcentajes del flujo total y por muestra.

Abertura	Cierra	Muestra	No. de individuos	Flujo total	<i>G. oceanica</i>		<i>E. huxleyi</i>		<i>F. profunda</i>		<i>U. irregularis</i>	
					Flujo	%	Flujo	%	Flujo	%	Flujo	%
17-sep-11	16-oct-11	XXV-1	7663	1391	514	37	502	36	135	10	95	7
17-oct-11	16-nov-11	XXV-2	4186	735	298	41	83	11	293	40	17	2
17-nov-11	16-dic-11	XXV-3	1234	224	105	47	24	11	82	36	1	1
17-dic-11	16-ene-12	XXV-4	1633	287	199	69	40	14	42	15	0	0
17-ene-12	16-feb-12	XXV-5	180	32	13	41	4	11	12	39	0	1
17-feb-12	16-mar-12	XXV-6	151	28	13	44	6	23	7	23	0	0
17-mar-12	16-abr-12	XXV-7	632	111	48	44	22	20	35	31	0	0
17-abr-12	16-may-12	XXV-8	388	70	23	33	20	28	24	34	0	0
17-may-12	16-jun-12	XXV-9	57	10	1	11	1	12	7	70	0	0
17-jun-12	16-jul-12	XXV-10	22	4	0	5	1	14	3	73	0	0
17-ago-12	16-sep-12	XXV-12	19	3	1	32	1	32	1	37	0	0
total			16165	2896	1215	42	703	24	640	22	114	4

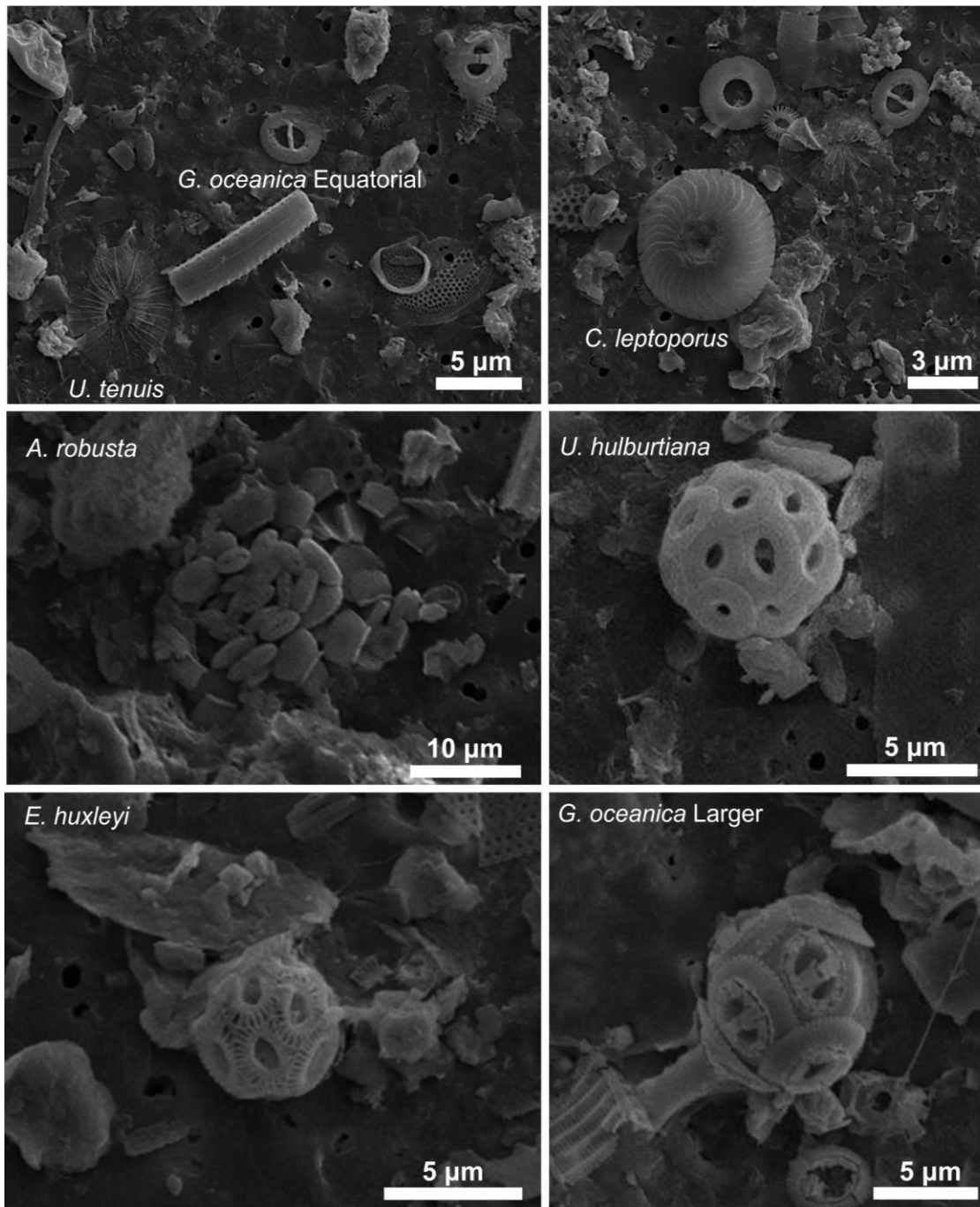


Figura 10. Cocosferas y cocolitos (distintas formas y tamaños) de algunas especies identificadas en las imágenes del MEB tomadas a una magnificación de 1500x en un ZEISS SUPRA 55vp.

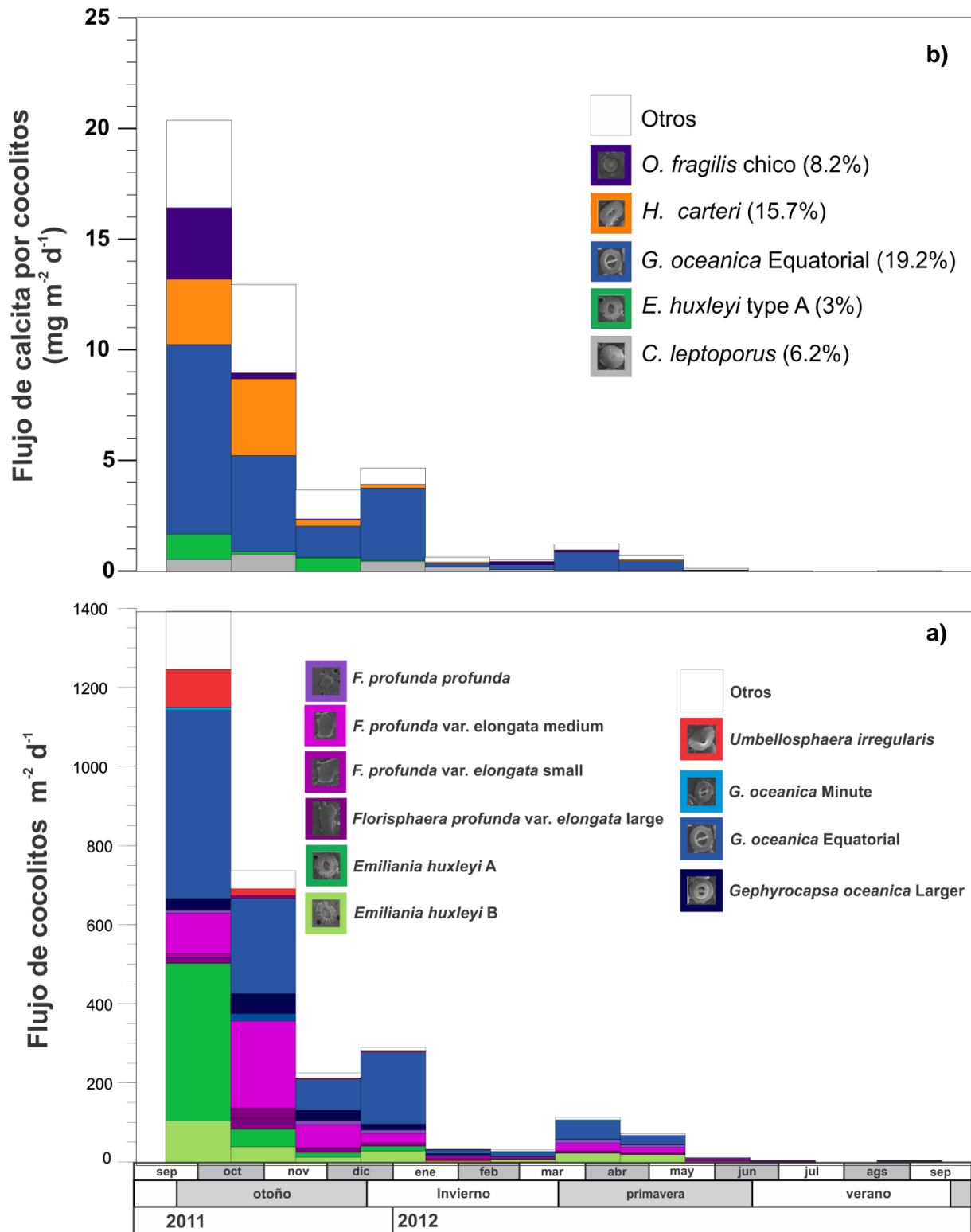


Figura 11. Flujos y aporte de CaCO_3 por cocolitos a) Flujo de cocolitos ($\times 10^6 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) de las especies principales y b) Variación de la exportación de CaCO_3 por cocolitóforos en $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

7.6. Flujo total de foraminíferos

El flujo total de foraminíferos mostró un patrón estacional con flujos mínimos (20 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en junio-septiembre de 2012 y máximos (1956 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en enero-abril del 2012 (Tabla 3). La muestra correspondiente al periodo julio-agosto de 2012, no presentó foraminíferos. *Globigerina* spp., *Neoglobocadrina* spp., *Globigerinoides* spp., *Globorotalia* spp. y *Pulleniatina* spp., fueron los principales Géneros de foraminíferos planctónicos registrados en este estudio (ver Fig. 12).

Los flujos de *Globigerina* spp. (44.7%) fueron dominantes en la mayoría de las muestras presentando su máximo flujo (1468 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en los meses de marzo-abril de 2012 y su flujo mínimo (10 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en agosto-septiembre de 2012 (Fig. 13). El segundo género que presentó altos flujos es fue *Globigerinoides* spp. (15%) el cual mostró su máximo flujo en octubre-noviembre de 2011, mientras que su mínimo flujo se registró en febrero-marzo de 2012, estando ausente en todas las muestras correspondientes a verano 2012 (Fig. 13). *Neogloboquadrina* spp. (12%) reportó su máximo flujo (312 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en marzo-abril de 2012 mientras que en noviembre-diciembre de 2011 (Fig. 13) esta especie presentó su flujo mínimo (8 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$). El género *Globorotalia* (5.6%), registró altos flujos en noviembre-diciembre mientras que para enero-febrero del 2012 los flujos fueron mínimos; este género está ausente en las muestras correspondientes a verano de 2012. Por último *Pulleniatina* spp. (1.6%) solo estuvo presente en dos muestras de oct.-dic. de 2011, presentando flujos desde 72 a 45 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, el resto del año este género estuvo ausente. Esporádicamente en la trampa de sedimentos también se registraron foraminíferos bentónicos presentando altos flujos (227 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) en diciembre-enero de 2012 y mínimos en abril-mayo de 2012 hasta ser ausentes en verano.

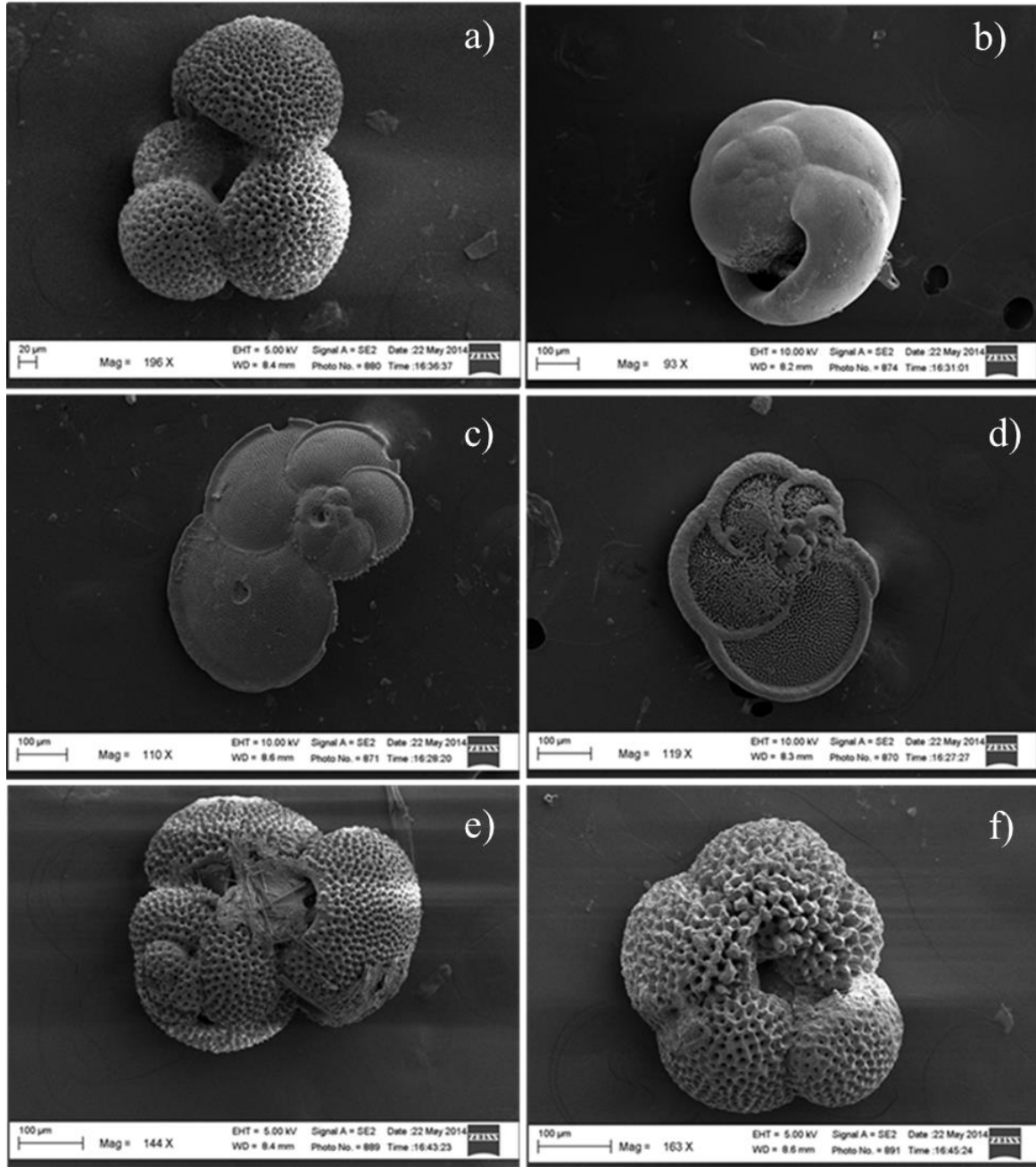


Figura 12. Principales especies de foraminíferos identificados en las muestras de CA. a) *Globigerina bulloides*, b) *Pulleniatina obliquiloculata*, c) *Globorotalia menardii cultrata*, d) *Globorotalia menardii menardii*, e) *Globigerinoides ruber* y f) *Neogloboquadrina dutertrei*. Imágenes tomadas en un ZEISS SUPRA 55vp.

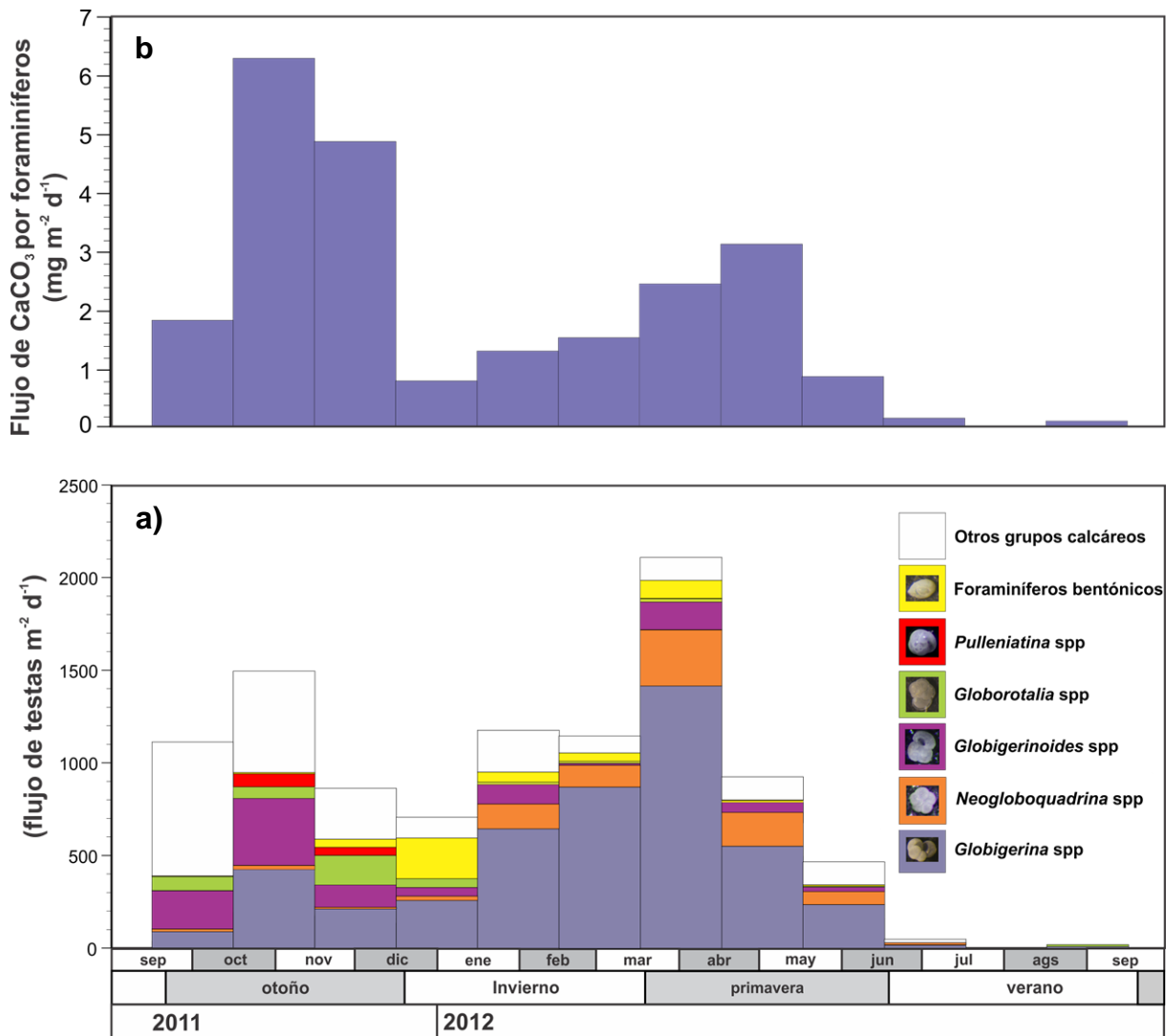


Figura 13. Flujos y aporte de CaCO_3 por foraminíferos a) Variación del flujo de foraminíferos en CA de septiembre 2011 a septiembre 2012. b) exportación de CaCO_3 por foraminíferos planctónicos.

7.7. Otros grupos calcáreos

Además de cocolitóforos y foraminíferos planctónicos, también se identificaron otros grupos de organismos que presentan conchas o valvas calcificadas. Ostrácoda y Gasterópoda (Fig. 14) son las clases que conformaron este grupo en la MPH de la trampa. Cabe mencionar que dentro de la clase Gasterópoda se incluyeron: heterópodos, bivalvos, prosobranquios y pterópodos, estos últimos se contabilizaron de manera independiente ya que fueron los más abundantes del grupo. La clase Ostrácoda representó en este estudio tan solo un 2.4% del flujo total de “otros grupos” calcáreos, su mayor flujo ($38 \text{ valvas m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) se registró en los meses de

diciembre de 2011-enero de 2012. Sin embargo, no está presente en todas las muestras La clase Gasterópoda representó un 22% del flujo total de “otros grupos” y registró su mayor flujo (210 valvas $m^{-2} d^{-1}$) en septiembre-octubre de 2011, en estos mismos meses los pterópodos también presentaron su máximo flujo (533 tecas $m^{-2} d^{-1}$) constituyendo un 75% del flujo total de “otros grupos”. De manera general y en conjunto presentaron máximos flujos (746 individuos $m^{-2} d^{-1}$) en otoño de 2011 y mínimos (18 individuos $m^{-2} d^{-1}$) en verano de 2012 (Fig. 15).

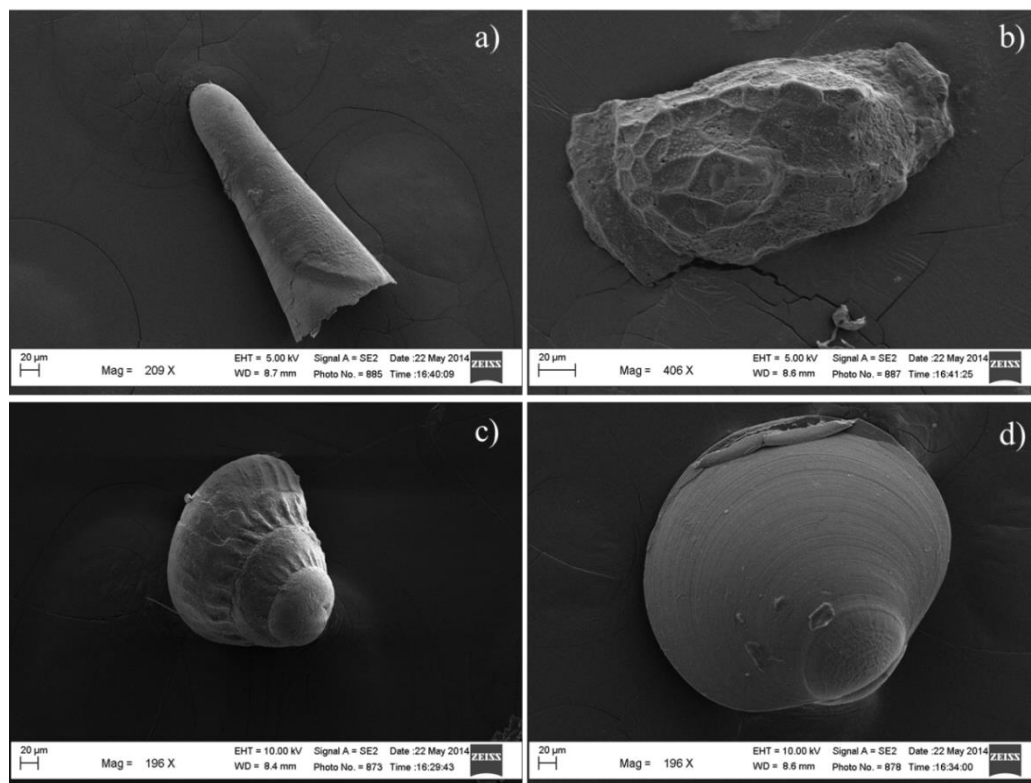


Figura 14. Otros organismos calcáreos identificados en la MPH de CA, a) protoconcha de *Clio* spp., b) valva izquierda de ostrácodo bentónico (anexo lamina 1) y c-d) micromoluscos.

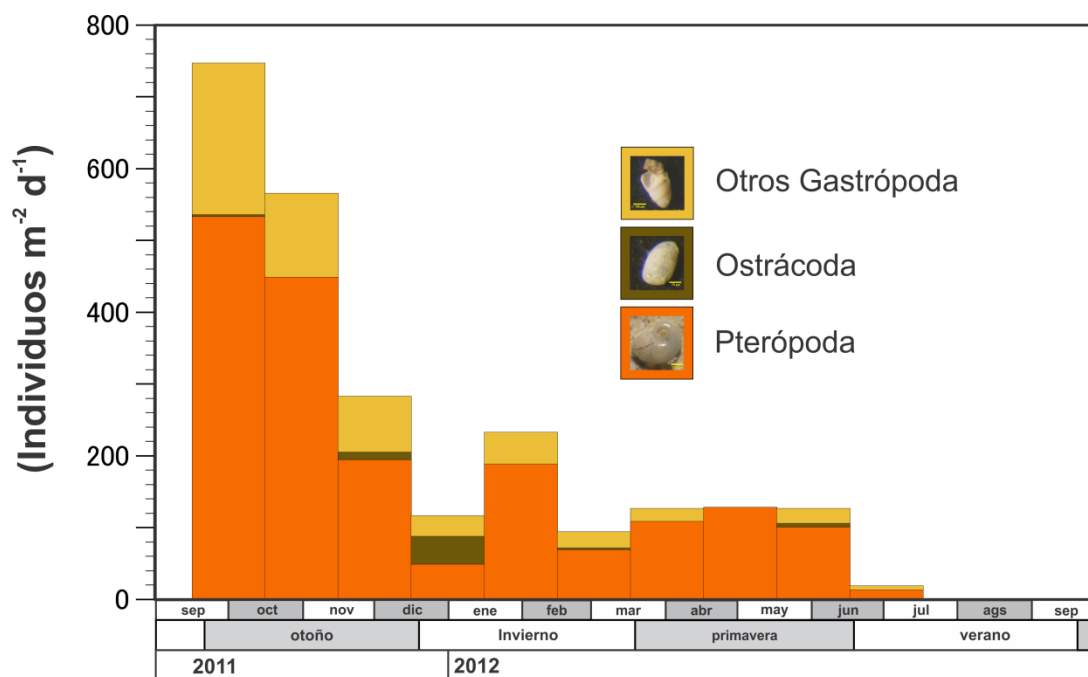


Figura 15. Variación temporal del flujo de “otros grupos” en Cuenca Alfonso (ver en anexo Tabla 5) durante el periodo septiembre de 2011 a septiembre de 2012.

Tabla 3. Flujo (No. de testas m⁻² d⁻¹) de foraminíferos totales por muestra y género con sus respectivos porcentajes del flujo total así como su aporte de calcita en mg m⁻² d⁻¹.

Muestra	No. de testas	Flujo total	<i>Globigerina</i>		<i>Neogloboquadrina</i>		<i>Globigerinoides</i>		<i>Globorotalia</i>		<i>Pulleniatina</i>		Flujo CaCO ₃
			Flujo	%	Flujo	%	Flujo	%	Flujo	%	Flujo	%	
XXV-1	151	403	96	24	13	3	213	53	80	20	0	0	1.96
XXV-2	378	975	444	46	21	2	374	38	65	7	72	7	6.81
XXV-3	212	565	221	39	8	1	125	22	165	29	45	8	5.27
XXV-4	151	390	268	69	23	6	49	13	49	13	0	0	0.84
XXV-5	360	929	671	72	137	15	111	12	10	1	0	0	1.39
XXV-6	379	1046	902	86	121	12	11	1	11	1	0	0	1.64
XXV-7	758	1956	1468	75	312	16	155	8	21	1	0	0	2.66
XXV-8	310	827	568	69	187	23	61	7	11	1	0	0	3.37
XXV-9	135	348	245	70	72	21	26	7	5	1	0	0	0.92
XXV-10	11	29	19	64	11	36	0	0	0	0	0	0	0.15
XXV-12	8	21	10	50	10	50	0	0	0	0	0	0	0.10
total	2853	7489	4913	66	916	12	1126	15	417	6	118	2	

7.8. Exportación de CaCO₃ por foraminíferos y otros grupos

La exportación de CaCO₃ por foraminíferos varió estacionalmente (Fig. 13a) presentando altos flujos en el otoño, registrando un máximo de 6.8 mg m⁻² d⁻¹ en octubre-noviembre de 2011 y un flujo mínimo de 0.10 mg m⁻² d⁻¹ en agosto-septiembre de 2012. El promedio y desviación estándar del aporte de calcita por foraminíferos en el periodo muestreado fue de 2.3 ± 2.1mg m⁻² d⁻¹. Adicionalmente se obtuvieron pesos en mg por especie los cuales indican que *Globorotalia* spp. y *Pulleniatina* spp. son las más densas y calcificadas (Tabla 4). Otros grupos calcáreos aportaron máximos flujos (49 mg m⁻² d⁻¹) en diciembre de 2011-enero de 2012, mientras que sus mínimos flujos (0.01mg m⁻² d⁻¹) se registraron en febrero-marzo del 2012.

Tabla 4. Pesos y medidas de testa de un solo foraminífero por especie en micrómetros y microgramos.

Especie	Ancho (µm)	Peso (µg)
<i>Globigerinoides ruber</i>	320	7
<i>Globigerina bulloides</i>	600	16
<i>Globorotalia menardii</i>	1400	112
<i>Neogloboquadrina dutertreii</i>	482	27
<i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	597	50

8. DISCUSIÓN

8.1. Variabilidad de la materia particulada en hundimiento

De acuerdo con los datos del flujo de masa total (FMT) y sus componentes (litogénico, BioSiO_2 , carbono orgánico y CaCO_3) es claro observar variación en la magnitud de los flujos incluso a una escala corta (Fig. 8). Esta variación debe ser controlada por cambios en las condiciones atmosféricas (asociadas al suministro de material terrígeno), oceánicas (corrientes y presencia temporal de giros) y biológicas (empaquetamiento, producción, partículas expolimericas transparentes [PET], etc.). Los datos arrojados en este estudio, respecto al flujo de material particulado en hundimiento, concuerda con lo reportado en trabajos previos (Aguirre-Bahena, 2007; Silverberg et al., 2007; Rochín-Bañaga, 2012; Silverberg et al., 2014) donde se ha observado que los máximos flujos de masa y sus componentes se han registrado en otoño-invierno, mientras que bajos flujos son presentes en primavera-verano; siendo el componente litogénico, suministrado por viento, el que ha representado mayor porcentaje del FMT. El contenido medio de C_{org} y CaCO_3 en el material de la trampa (8 y 14%, respectivamente) concuerda con trabajos previos (8 y 12%, Silverberg et al., 2014), así como con depósitos resientes en el fondo de Cuenca Alfonso (5-7 y 1-25 %, González-Yajimovich, 2005).

Cuenca Alfonso tiende a exhibir menores tasas en los flujos de masa total en comparación con cuencas en el Pacífico como, Cuenca Santa Bárbara, aunque los flujos de carbonatos son similares (Silverberg et al., 2007). Para el Golfo de California Cuenca Alfonso ha registrado mayores flujos de masa total, particularmente de carbonatos, en comparación con otras cuencas como Cuenca Guaymas (Tabla 5). Un estudio reciente por Silverberg y colaboradores 2014, han reportado, mediante muestras de trampa de sedimento, una significativa correlación ($r = 0.84$) entre los componentes litogénico y CaCO_3 ; proponiendo que el material terrígeno es un buen mecanismo de lastre para el material calcáreo en la cuenca. Para este presente estudio también se encontró una buena correlación ($r = 0.95$) entre los componentes litogénico y CaCO_3 , así como carbono orgánico y CaCO_3 ($r = 0.80$). El hecho de que el carbono orgánico particulado tenga una sedimentación preferente con los carbonatos puede deberse a la densidad relativa de estos

componentes: cuarzo, 2.6 g cm^{-3} ; calcita biogénica 2.7 g cm^{-3} , ópalo biogénico, 2.1 g cm^{-3} . Pues se sabe que los agregados generados por el nanoplancton calcáreo son más compactos y adquieren mayor velocidad de sedimentación, 246 m d^{-1} , comparados con los de diatomeas, 113 m d^{-1} (Iversen y Ploug, 2010). Por lo que se creé que la materia orgánica particulada en la cuenca, se deba a organismos calcáreos, principalmente cocolitóforos y foraminíferos, y no a organismos silíceos como las diatomeas ($C_{\text{org}}:\text{BioSiO}_2$, $r=0.45$).

Tabla 5. Flujos ($\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) de masa total (FMT) y componentes, así como flujo de cocolitos y foraminíferos planctónicos en Cuenca Alfonso y otras cuencas marginales.

Localidad profundidad trampa (m)	FMT	Lito	BioSiO ₂	C _{org}	CaCO ₃	cocolitos	foram.
	$\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	$\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	$\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	$\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	$\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	$\times 10^6 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	$\text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
^a Cuenca Alfonso (360 m)	2800 - 65	2196 - 70	674 - 27	117 - 19	309 - 15	12888 - 5235	
^b Cuenca Alfonso (360 m)	2270 - 174	2679 - 64	830 - 31	176 - 18	677 - 18	12800 - 256	
^c Cuenca de Guaymas (500 m)	1137 - 83	708 - 14	360 - 19	46 - 5	106 - 12	900	3700
^d Sistema central de Benguela (BUS) (2516 m)	203 - 12	35 - 1.6	10 - 0.6	10 - 0.8	139 - 8	23400 - 200	2075 - 26 ($> 150 \mu\text{m}$)
^e Cuenca Alfonso (300 m)	1900 - 40	889 - 119	554 - 140	91 - 31	334 - 47	1390 - 3	1956 - 21

^aUrcádiz-Cázares, 2005; Silberverg et al. 2014; ^bRochín-Bañaga, 2012; Silberverg et al. 2014; ^cZiveri y Thunell, 2000; Thunell, 1998; ^dRomero et al. 2000 y ^epresente estudio.

8.2.Registro de cocolitóforos y foraminíferos planctónicos en Cuenca Alfonso

8.2.1. Cocolitóforos

8.2.1.1. Ecología y distribución

Se sabe que la diversidad de los cocolitóforos es alta en zonas oceánicas; éstos abundan en aguas cálidas y estratificadas con restringida circulación (Okada y Honjo, 1973; Okada y Honjo, 1975; Brand, 1994). Baja diversidad de cocolitóforos ha sido reportada en zonas con alta concentración de nutrientes, donde se ha

registrado dominancia de *Emiliania huxleyi* y *Gephyrocapsa oceanica*, principalmente en áreas de surgencias (Kleijne, 1993; Brown y Yoder, 1994; Hagino *et al.*, 2000). No obstante, en las costas de Bahía Magdalena se han registrado 94 taxa de cocolitóforos (García-Romero, 2012), valor relativamente alto para zonas de surgencias. Sin embargo, este valor es bajo en comparación a lo reportado en zonas oligotróficas donde se han registrado hasta 125 taxa (Cortés *et al.*, 2001); sustentando que la diversidad de especies puede ser alta en regiones productivamente bajas (Okada y Honjo, 1973; Honjo y Okada, 1974; Okada y Honjo 1975; Cortés *et al.*, 2001; Sidón-Ceseña, 2012). En general, las mayores densidades de cocolitóforos se registran dentro de los primeros 100 m de profundidad, dominando las especies *E. huxleyi*, *G. oceanica*, *G. ericsonii*, *U. irregularis*, *U. tenuis* y *F. profunda* (Tabla 6). De éstas especies *G. oceanica* y *E. huxleyi* se encuentran preferentemente en ambientes con altas concentración de nutrientes como en áreas de surgencias y áreas cercanas a la costa (Brand, 1994). Sin embargo, para Cuenca Alfonso estas especies han registrado altas densidades a una baja disponibilidad de nutrientes (Tabla 6).

Observaciones previas sobre el registro de flujo del nanoplancton calcáreo en Cuenca Alfonso (Urcádiz-Cázares, 2005), reportan a *G. oceanica* como especie que dominó el flujo de cocolitos. Esta especie ha sido reportada como especie oceánica y asociada a condiciones eutróficas (Brand, 1994), de igual manera ha sido reportada en aguas ricas en nutrientes a lo largo de los bordes de los giros centrales subtropicales, regiones de surgencias ecuatoriales, surgencias costeras y plataformas externas (Winter, 1985; Andrulleit *et al.*, 2000; Broerse *et al.*, 2000; Mergulhao *et al.*, 2013). *G. oceanica* Equatorial, especie dominante en el flujo de cocolitos, ha sido asociada a aguas cálidas (Bollmann y Klaas, 2008) y a rangos de temperaturas de entre 25-29.5°C según Bollman (1997); prefiriendo aguas más cálidas que la especie cosmopolita *E. huxleyi* (Brand, 1994), la cual ha llegado a representar mayores flujos y densidades celulares sobre *G. oceanica* en periodos cuando se han registrado bajos valores de temperatura superficial (16.7 °C, invierno de 2007) en Cuenca Alfonso (Rochín-Bañaga, 2012; Sidón Ceseña, 2012). De acuerdo a Cortés *et al.* (2003) y Sidón-Ceseña (2012), reportan para Cuenca

Alfonso, máximas densidades celulares de *E. huxleyi* y *G. oceanica* a profundidades de 0 a 30 m y *F. profunda* de 45 a 75 m de profundidad.

Tabla 6. Especies de cocolitóforos dominantes en columna de agua y profundidad de máximas densidades celulares en distintos ambientes.

Estación	Profundidad de máximas densidades (m)	Especies dominantes	Observaciones
HOT, Hawaii (Cortés et al., 2001)	50 - 100	<i>Emiliania huxleyi</i> , <i>Umbellosphaera irregularis</i> , <i>U. tenuis</i> , <i>Florisphaera profunda</i> y <i>Gephyrocapsa ericsonii</i>	En la zona fótica superior, cocolitofóridos son en su mayoría influenciados por la temperatura y la disponibilidad de fosfato más que de las concentraciones de nitrato. En contraste, las variables importantes en la zona fótica inferior son la luz y la temperatura.
BATS, Bermuda (Haidar y Thierstein, 2001)	0 - 100	<i>Emiliania huxleyi</i> , <i>Umbellosphaera irregularis</i> , <i>U. tenuis</i> y <i>Florisphaera profunda</i>	Máximas densidades en invierno-primavera y bajos en verano. Las densidades decrecen por debajo de 100 m. rangos óptimos de 20-25°C temperatura y 36.6-36.7 salinidad. Máximas densidades no están relacionadas a la alta concentración de nutrientes.
CATS, Bahía de La Paz (Sidón-Ceseña, 2012)	0 - 30	<i>Emiliania huxleyi</i> , <i>Gephyrocapsa oceanica</i> , <i>G. ericsonii</i> , <i>Calciopappus rigidus</i> y <i>Florisphaera profunda</i>	Temperaturas altas y bajas concentraciones de nutrientes propiciaron condiciones favorables para los cocolitóforos.
BAMAG, Bahía Magdalena (García-Romero, 2012)	0-30	<i>Emiliania huxleyi</i> , <i>Gephyrocapsa oceanica</i> , <i>Syracosphaera orbiculus</i> y <i>Florisphaera profunda</i> var. <i>elongata</i>	Los cocolitóforos mostraron una mayor dependencia a los cambios de temperatura que a la salinidad. La diversidad de especies disminuye cuando se presenta alta concentración de nutrientes.

8.2.1.2. Flujo y sedimentación de cocolitóforos

A través del estudio del flujo de cocolitos y de su distribución taxonómica se han podido separar varias zonas biogeográficas tanto en el Atlántico (McIntyre y Bé, 1967) como en el Pacífico (Okada y Honjo, 1973). De estas zonas biogeográficas se han reportado mayores flujos en zonas subtropicales (Andruleit *et al.*, 2000; Tanaka, 2004) y los menores en zonas subárticas (Ziveri *et al.*, 1995). La magnitud del flujo de cocolitos es asociado a periodos de baja producción primaria y bajo contenido de nutrientes (Ziveri *et al.*, 1995) o cambios ambientales causados por la dinámica monzonal (Andruleit *et al.*, 2000; Broerse *et al.*, 2000). El máximo flujo de cocolitos registrado en este estudio (Tabla 5) es muy bajo (8 veces menos, valor promedio)

comparado con trabajos anteriores en CA, donde se ha llegado a obtener valores máximos por más de $12,800 \times 10^6$ cocolitos $m^{-2} d^{-1}$ (Urcádiz-Cázares, 2005; Rochín-Bañaga *et al.*, 2012). Cabe mencionar que las condiciones oceanográficas para ambos casos, fueron distintas a las del presente estudio. Urcádiz-Cázares (2005), reportó sus máximos flujos en periodos influenciados por huracanes (Ignacio y Marty, octubre 2003) dominando la especie *G. oceanica*; mientras que para invierno de 2007 Rochín-Bañaga (2012), reportó máximos flujos en el mes de diciembre cuando se presentaron las mayores anomalías negativas de temperaturas dominando en el flujo la especie *E. huxleyi* (Fig. 16), así como el máximo flujo de silicoflagelados (Martinez-López *et al.*, 2012). De acuerdo a la figura 16, los flujos de cocolitóforos en Cuenca Alfonso ocurrieron bajo la influencia de un año promedio, a diferencia del año 2002-2003, año Niño moderado, o el 2007, año Niña (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>).

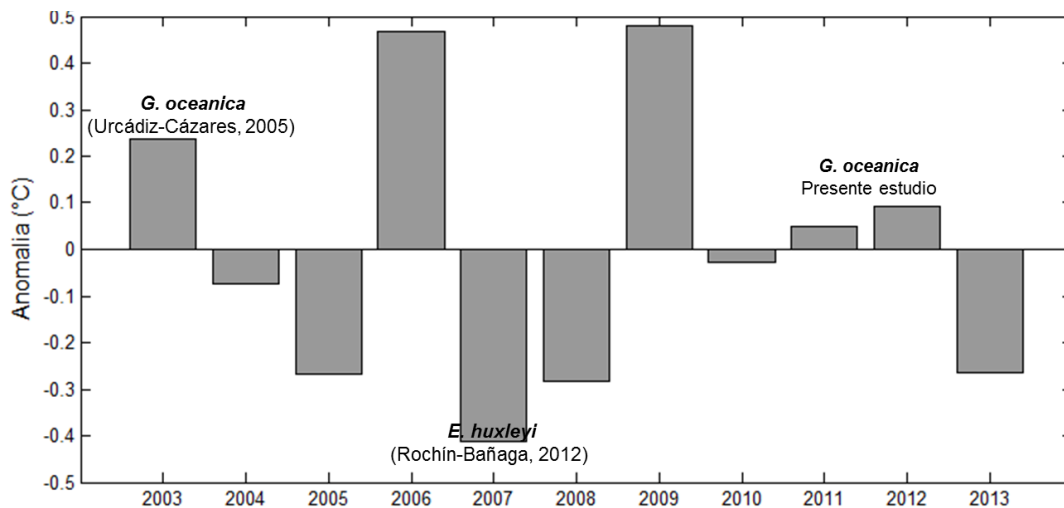


Figura 16. Anomalías de temperatura superficial del mar en Cuenca Alfonso desde el 2003 al 2013. Así mismo se muestra los años con previos trabajos de flujos de cocolitos y la especie que fue dominante. Datos de MODIS (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) a una resolución de 4×4 km^2 . Los datos se restringieron a un cuadrante de 20×20 km (24.5° y 24.7° de latitud N y los 110.65° y 110.45° de longitud W).

Rochín-Bañaga (2012) sugiere que los máximos flujos de cocolitos en invierno de 2007, fueron producto de la cantidad de material terrígeno suministrado en el periodo de máximas rachas consecutivas (diciembre 2007). Este material terrígeno se adhirió a agregados biogénicos, brindándoles mayor densidad y causando que el

flujo de cocolitos aumentara en ese periodo. Aun cuando para esa muestra no se presentó el máximo flujo de material litogénico. Observándose que no siempre que se tengan altos flujos de material litogénico se tendrán máximos flujos de cocolitos; ya que los altos flujos dependerán, a su vez, de la presencia y abundancia de los cocolitóforos en la zona fótica.

Se sabe, mediante el análisis del material colectado por trampas de sedimento, que el hundimiento de pelotillas fecales es un mecanismo eficiente de transporte de cocolitóforos hacia el fondo marino (Broerse *et al.*, 2000a; Honjo, 1975; Steinmetz, 1994). La velocidad de caída de un cocolito en promedio es de 13.8 cm d⁻¹ mientras que la velocidad de asentamiento de una pelotita fecal varía de 50-800 m d⁻¹ dependiendo del tamaño, masa y forma (Honjo, 1975; Cadée *et al.*, 1992). Estudios recientes han demostrado que los paquetes fecales de copépodos que se alimentan de diatomeas y cocolitóforos muestran altas velocidades de hundimiento comparado con las pellets producidas a base de una dieta de nanoflagelados (Ploug *et al.*, 2008).

El análisis de algunas pelotillas fecales de la trampa, para el año muestreado, indican que una sola pelotilla fecal mayor a 500 µm puede contener hasta 525 cocolitos (ver en anexo Tabla 6). Dentro de las pelotillas también se pudo identificar otros grupos como diatomeas y silicoflagelados indicando que “aparentemente” no hay preferencia del zooplancton por algún grupo en especial, aunque se recomienda hacer un análisis más detallado del contenido de las pelotillas. Por otra parte hay que considerar que los mismos procesos que promueven la rápida sedimentación de partículas carbonatadas como los cocolitos (ingestión, digestión, egestión por zooplancton) pueden ser responsables de gran parte de la disolución del carbonato de calcio (Milliman, 1999); ya que se ha registrado que los procesos digestivos de algunas especies de copépodos pueden disolver hasta un 50% del total de los cocolitos ingeridos (Harris, 1994). Datos no publicados de Cortés M. Y.; Rochín H. y Sidón-Ceseña en Cuenca Alfonso, sugieren la pérdida de especies menos calcificadas de columna de agua hacía la trampa de sedimento, probablemente a causa de disolución en columna de agua y/o en procesos digestivos. Las especies identificadas en las pelotillas fecales, para el año muestreado, no parecen presentar

disolución alguna, así como se muestra en la figura 17. No obstante, tampoco se encontraron especies poco calcificadas como lo hipotetizan Cortés M. Y.; Rochín H. y Sidón-Ceseña.

En Cuenca Alfonso no se ha realizado aún un análisis detallado del contenido de las pelotillas fecales, ni tampoco el tipo de pelotillas que producen los diferentes grupos del zooplancton. Para nuestro periodo muestreado los máximos flujos de cocolitos y material litogénico, al igual que en el 2007, parecen no estar relacionados (Fig. 8 y 11). Esto sugiere, para nuestro periodo muestreado, un mecanismo distinto de sedimentación de los cocolitos hacia la trampa. Probablemente para los meses de septiembre a noviembre se presentó bajo contenido de nutrientes en el área lo que ocasionó un aumento en la concentración de cocolitóforos y una disminución de otros grupos como diatomeas. Estos fueron consumidos por grupos del zooplancton como eufáusidos, copépodos y tintínidos, estos últimos tienen la capacidad de aglutinar cocolitos en sus loricas (Fig. 18) y junto con sus heces fecales contribuyen en el transporte de cocolitos hacia el sedimento.

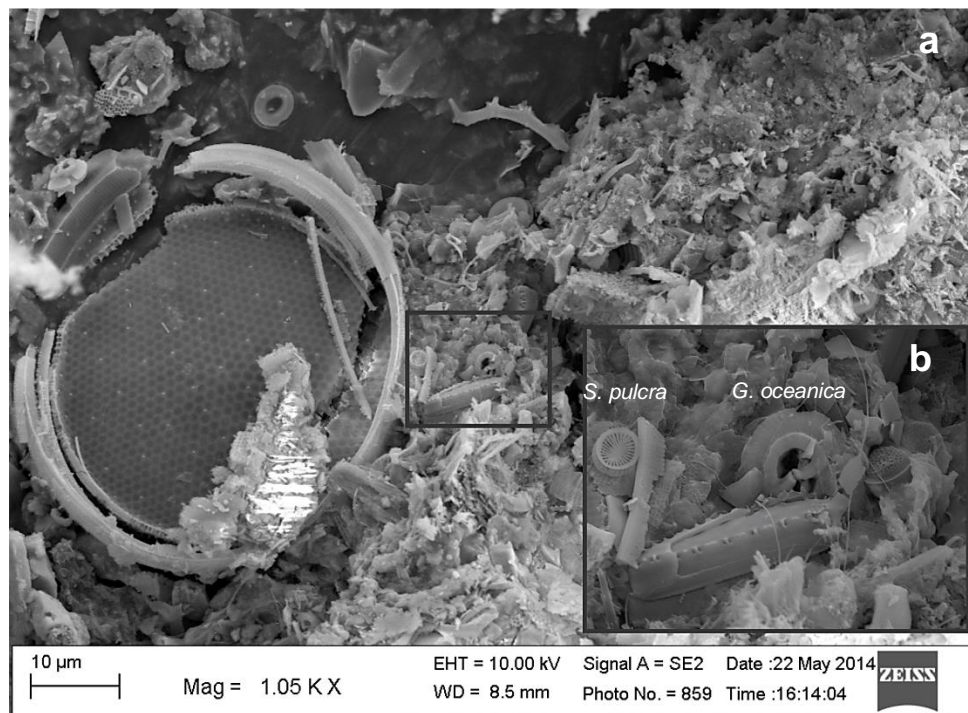


Figura 17. Pelotilla fecal, a) Imagen del MEB en donde se observa parte del contenido de una pelotilla fecal (cocolitos, diatomeas y partes de silicoflagelados); b) acercamiento a *G. oceanica* y *S. pulcra* mostrando excelente preservación.

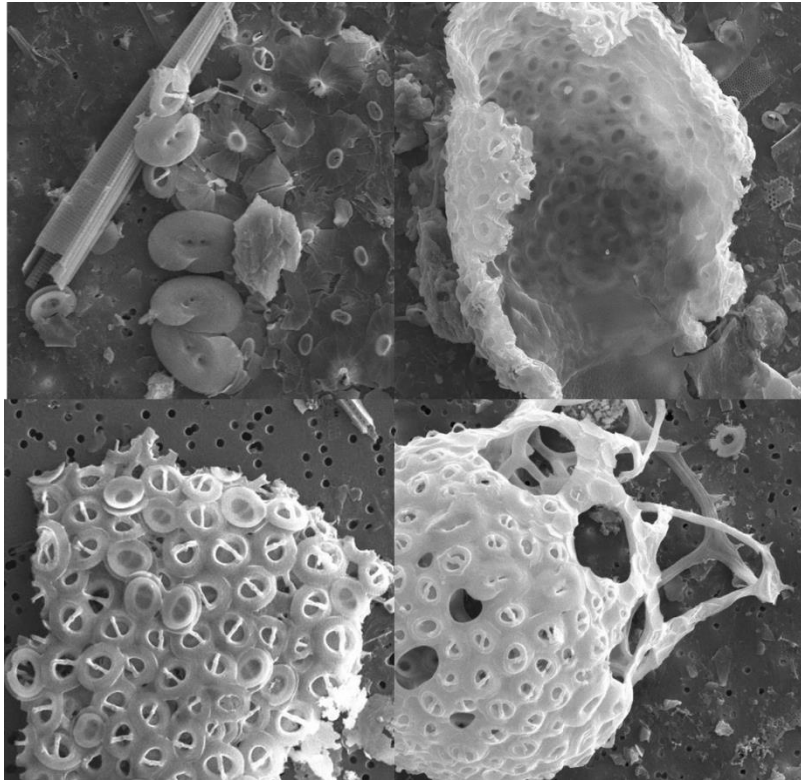


Figura 18. Fragmentos de loricas de tintínidos, compuestas por coccolitos, encontradas en imágenes del MEB (ZEISS SUPRA 55vp) a una magnificación de 1500X.

8.2.2. Foraminíferos

8.2.2.1 Ecología y distribución

Estudios ecológicos de foraminíferos planctónicos en el Golfo de California indican que las mayores abundancias de foraminíferos se han registrado cerca de la entrada del golfo y que las especies *Globigerina bulloides* y *Neogloboquadrina dutertrei* dominaron, en invierno, en áreas donde prevalecieron temperaturas más bajas (Parker, 1973). De acuerdo a los requerimientos ecológicos de algunas especies de foraminíferos planctónicos (Tabla 7), *G. bulloides* podría reflejar aguas frías y con alta disponibilidad de alimento en Cuenca Alfonso, ya que esta especie ha sido asociada a condiciones de surgencias en varias zonas geográficas, principalmente en latitudes bajas (Bé y Tolderlund, 1971; Kincaid *et al.*, 2000).

De las especies identificadas en este estudio, *Globigerinoides ruber*, especie espinosa, mostró altos flujos en los meses cálidos (septiembre-noviembre) del

periodo muestreado, como se ha reportado en muestras de columna de agua en el Atlántico sur, preferentemente asociada a aguas superficiales (Kemle-von Mücke *et al.*, 1999). Se sabe que *G. ruber* tienen una amplia variedad de presas en las que se incluyen pterópodos copépodos, y ostrácodos (Spindler *et al.*, 1984) sin embargo, los foraminíferos también pueden ser presa de gasterópodos como los pterópodos (Boersma, 1998). En este estudio los máximos flujos de *G. ruber* son correlacionados a los máximos flujos de “otros grupos” en especial al máximo flujo de pterópodos ($r = 0.86$), algunas testas de esta especie mostraron marcas como las que se observa en la figura 19, señal de que estos foraminíferos fueron depredados.

Otra especie asociada a altas temperaturas es *P. obliquiloculata* (Baohua *et al.*, 1967) y *G. menardii* la cual ha incrementado su abundancia y tamaño en periodos interglaciares cálidos, las diferencias en abundancia y talla son causados por cambios en temperatura y salinidad del mar y no por cambios en la productividad (Bhonsale y Saraswat, 2012). Tanto *P. obliquiloculata* como *G. menardii* tienen preferencias ecológicas por debajo de la picnoclina en zonas oceánicas (Schiebel y Hemleben, 2005), *G. menardii* ha sido reportada a profundidades de entre 500-1000 m según Jones (1967) en Kemle-von Mücke y Hemleben (1999) y también ha sido asociada a una capa de mezcla profunda (Baars *et al.*, 1994; Brummer, 1995; Schiebel y Hemleben, 2005). En Cuenca Alfonso en el periodo de otoño-invierno se han presentado los máximos números de rachas consecutivas de viento del NW, los cuales pueden provocar una capa de mezcla profunda (Salinas-González *et al.*, 2003; Silverberg *et al.*, 2014). Los máximos flujos de *G. menardii* se registraron en noviembre-diciembre del 2011, indicando para estos meses una profundización de la capa de mezcla causada por el máximo número de rachas consecutivas de viento.

Tabla 7. Óptimos ambientales de las principales especies de foraminíferos de acuerdo a: Field (2004); Schiebel y Hemleben (2005); Field et al. (2006); Wejnert et al. (2010) y Sijinkumar et al. (2011).

Especie	Óptimos ecológicos
<i>G. bulloides</i>	Altas abundancias cerca de la superficie. Asociada a surgencias y condiciones de alta productividad y concentraciones de clorofila. Rangos de temperatura en el Golfo de California de 13-38°C.
<i>G. ruber</i>	Especie asociada a capa de mezcla superficial, característica de zonas tropicales y subtropicales. Rangos de temperatura en el Golfo de California de 17-41°C.
<i>P. obliquiloculata</i> <i>G. menardii</i>	Relacionada a aguas cálidas, bajas condiciones de luz. Se reproducción por debajo de la pycnoclina. Rangos de temperatura en el Golfo de California de 15-29°C.
<i>N. dutertrei</i>	Vive dentro de la termoclina cerca de los máximos de clorofila; se asocia a altos gradientes de salinidad y turbidez. Rangos de temperatura en el Golfo de California de 15-27°C.

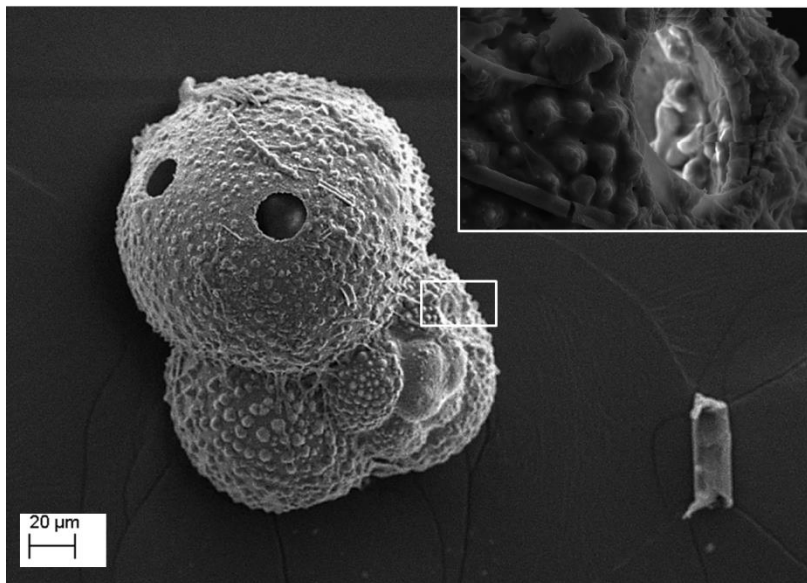


Figura 19. Imagen del MEB en donde se observan bio-marcas en *G. ruber* y el acercamiento a la perforación. Imagen tomada a una magnificación de 1500X.

8.2.2.1. Flujo y sedimentación de foraminíferos

El flujo de foraminíferos planctónicos (Tabla 5), registrado en Cuenca Alfonso, fue bajo en comparación a lo registrado en zonas de surgencias donde se ha llegado a presentar valores de más de 13,000 y hasta 28,000 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (Conan y Brummer, 2000); o inclusive a lo reportado en Cuenca Guaymas donde se encontró que el máximo flujo de foraminíferos (3,700 testas $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$) estuvo asociado a condiciones del ENSO durante la primavera de 1992 (Thunell *et al.*, 1996; Ziveri y Thunell, 2000). Al igual que en Cuenca Guaymas los máximos flujos de foraminíferos para Bahía de La Paz se observaron en primavera. Si bien es cierto que Cuenca Alfonso no es un área de surgencias como tal, los máximos valores del flujo de foraminíferos en marzo-abril 2012 (dados por la especie *G. bulloides*) pueden indicar condiciones propicias (altas concentraciones de nutrientes) que promuevan una alta producción primaria; ya que entre los meses de enero a julio se han observado incrementos de nutrientes en área de estudio (Villegas-Aguilera, 2009; Pardo *et al.*, 2013).

A diferencia del nanoplancton calcáreo, los foraminíferos planctónicos $>150 \mu\text{m}$ pueden descender hasta 3800 m en 3-12 días a velocidades de entre 122 y 583 m d^{-1} , dependiendo de la ausencia o presencia de espinas (Takahashi y Bé, 1984). Esta situación implica que una sola testa podría descender a través de la columna de agua en Cuenca Alfonso en tan sólo algunas horas reflejando las condiciones oceanográficas de ese momento. Sin embargo, estos foraminíferos también pueden depender de la formación de agregados para depositarse, ya que durante el análisis de las muestras, sin manipulación previa, se observaron agregados que contenían foraminíferos inmersos dentro de éstos.

A diferencia de los foraminíferos planctónicos “caída libre o embebidos en detritos orgánicos”, los foraminíferos bentónicos son afectados por distintos procesos tafonómicos como re-depósito o re-suspensión de material. Para los meses de diciembre y enero la trampa de sedimento colectó el máximo flujo de foraminíferos bentónicos y de ostrácodos; así como máximos flujos de diatomeas bentónicas (Acevedo-Acosta *et al.*, 2014). Dentro de los foraminíferos bentónicos registrados (anexo lamina 2), se identificó: *Quinqueloculina* spp., *Loxostomum* spp.,

Chilostomella spp., *Eponides* spp., *Valvulineria* spp., *Nonionella* spp. y *Bolivina* spp. Este último asociado principalmente a bajos niveles de oxígeno, $<0.2 \text{ mL L}^{-1}$ en el Golfo de California (Streeter, 1972 en Gupta y Machain-Castillo, 1993). Con la finalidad de reforzar nuestras interpretaciones se identificó, mediante las imágenes del MEB utilizadas para el conteo de los cocolitos, de la muestra que registró mayor flujo de foraminíferos bentónicos, algunas especies de diatomeas bentónicas (*Amphora coffeaeformis*, *Amphora proteus contigua*, *Navicula* sp., *Fallacia oculata* y *Cocconeis* sp., anexo lamina 3) las cuales han sido registradas en la bahía y asociadas a un ambiente somero según Siqueiros-Beltrones (2002) y López-Fuerte *et al.* (2010). Esto que sugiere una influencia de transporte horizontal de material de zonas someras aledañas por corrientes de mareas hacia la cuenca (Fig. 20).

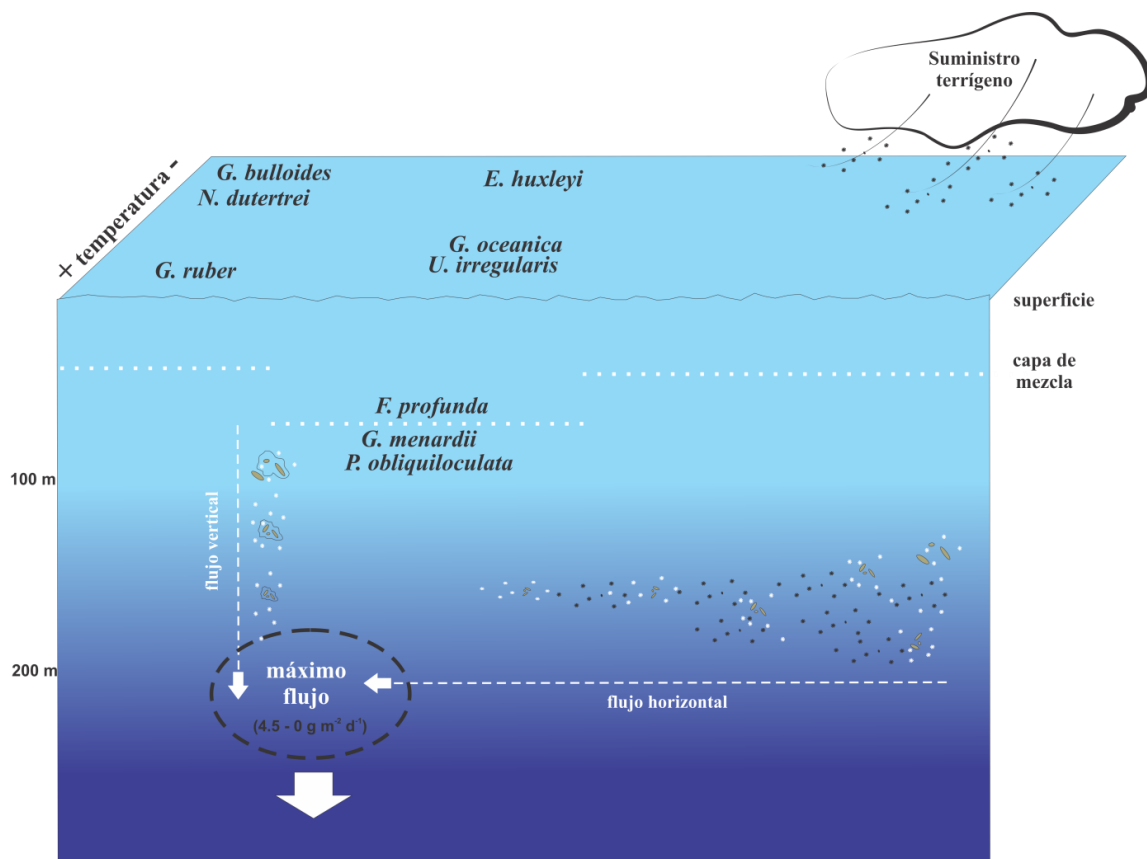


Figura 20. Diagrama de los procesos que influyen en el periodo de máximos flujos de partículas, así como el posible hábitat y temperaturas óptimas de ciertas especies de cocolitóforos y foraminíferos planctónicos respecto a las condiciones oceanográficas y atmosféricas en CA (tomado de Schiebel y Hemleben, 2005; Rochín-Bañaga, 2012; Sidón-Ceseña, 2012; Silverberg *et al.* 2014), para el periodo muestreado.

8.3. Implicaciones para reconstrucciones oceanográficas en Cuenca Alfonso

La variabilidad de las condiciones hidrológicas en Cuenca Alfonso, promueven una sucesión en la estructura de la comunidad del plancton; observándose dominio de diatomeas durante primavera, disminuyendo su abundancia en otoño, apareciendo posteriormente el grupo de los coccolitóforos y los silicoflagelados (Signoret y Santoyo, 1980). En la Bahía de La Paz, los heterópodos y pterópodos, grupos característicos de aguas oceánicas, incrementan sus abundancias en verano y otoño, mientras que el grupo de los foraminíferos está presente, sin ser dominante, en las cuatro estaciones del año (Signoret y Santoyo, 1980). De acuerdo a Villegas-Aguilera, 2009, en el área de estudio en los meses de agosto-noviembre se ha observado bajo crecimiento de organismos silíceos relacionado a un incremento en la temperatura, disminución en la concentración de nutrientes, marcada estratificación y presencia de Agua Superficial Tropical (AST). Durante el año muestreado, en los meses de septiembre de 2011 a diciembre de 2012, se presentaron los máximos flujos de coccolitóforos (*U. irregulares*, *G. oceanica*, *E. huxleyi* y *F. profunda*), pterópodos y algunas especies de foraminíferos (*G. ruber*, *P. obliquiloculata* y *Globorotalia menardii*); así como altas temperaturas (Fig. 5), profundización de la capa de mezcla (~50 m, Fig. 21) y de igual manera presencia del AST.

Salinas-González y colaboradores (2003) encontraron en la bahía de La Paz, durante el otoño de 1998, características del Agua del Golfo de California (AGC) de la capa superficial hasta los 50 m de profundidad, mientras que a partir de los 80 m hasta 300 m, las aguas se encontraron en el rango del Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt). Estos mismos autores sugieren que en verano la capa superficial acumula el calor y cambia la concentración en la salinidad, debido a procesos de precipitación y evaporación. Durante el otoño los vientos y huracanes distribuyen el calor ayudando a una profundización de la capa de mezcla (hasta 50 m). Finalmente, los parámetros termohalinos del cuerpo de agua profunda de la bahía, con profundidades mayores de 100 m, se alteran durante el invierno por procesos de enfriamiento y mezcla vertical profunda.

Para los meses de invierno-primavera, se presentaron bajos flujos de cocolitóforos pero a su vez, máximos flujos de foraminíferos, dominando la especie *G. bulloides*. Para estos meses la bahía se encontraba influenciada por una masa de agua fría proveniente del golfo, derivada del AGC y ASsSt, lo cual concuerda con registros que indican que en los primeros 40 m de profundidad en la bahía, existe un flujo permanente de agua fría del Golfo de California. Esta intrusión de agua fría y densa del mar abierto provoca una inclinación del campo de densidad en las secciones transversales de la bahía según Salinas-González *et al.* (2003).

Basándose en las distribuciones del flujo de los tres principales grupos calcáreos (cocolitóforos, foraminíferos y pterópodos) identificados en este estudio, se deduce que para la bahía de La Paz, se presentaron dos grupos faunístico/florístico. El primero dominado por los máximos flujos de las especies *G. ruber*, *P. obliquiloculata*, *U. irregularis* y por el grupo de los pterópodos (*Clio* spp. y *Limacina* spp.), que conjuntamente señalan condiciones cálidas (temperatura superficial del mar > 28°C) propias del Agua Superficial Tropical. El segundo grupo estuvo conformado por *G. bulloides* y *N. dutertrei*, los máximos flujos de estas dos especies se presentaron bajo condiciones frías (< 20°C) y de alta salinidad (>35.3) para la bahía de La Paz; propias de Agua del Golfo de California, coincidiendo con observaciones previas descritas mediante sedimento superficial (Cuesta-Castillo *et al.*, 2005).

Lo anteriormente descrito se apoya mediante un análisis de funciones discriminantes. Utilizando la categorización *a priori* de las masas de agua con los flujos y graficando las distancias de Mahalanobis, se observa la similitud o disimilitud entre los flujos y su asociación con las masas de agua. Mediante este análisis se buscó comprobar si los flujos corresponden con la presencia de las respectivas masas de agua que entran a la bahía (Fig. 22). Las distancias de Mahalanobis para las agrupaciones (Tabla 8) mostraron que los flujos del periodo de septiembre-diciembre de 2011 y de junio-septiembre de 2012, concuerdan en el grupo en el que se le asignó influencia del AST y ASsSt, mientras que los flujos del resto de las muestras parecen tener similitud entre sí, al ser influenciadas por el AGC y ASsSt, a

excepción de la muestra de diciembre-enero de 2012 la cual indicó un periodo de influencia o transición de ambas masas de agua.

Se sabe que la cantidad de material litogénico particulado que entra en la columna de agua, a diferentes profundidades (Honjo, 1982); puede colisionar o adherirse a micro-agregados, fitoplancton, pelotillas fecales y detritos orgánicos debido a cargas eléctricas o por acción de compuestos orgánicos como TEP (Alldredge y Silver, 1988). Algunos autores concuerdan que para Cuenca Alfonso, el transporte eólico es el principal mecanismo que suministra partículas terrígenas (tamaño arcillas, figura 23) hacia la columna de agua ocasionando incrementos del flujo de masa total debido a que aportan mayor densidad (Aguirre-Bahena, 2007; Rochín-Bañaga, 2012; Silverberg *et al.*, 2014; Silverberg, 2008); sin embargo, puede ser que el flujo vertical de partículas terrígenas suministradas por viento no siempre sea el principal agente. Los organismos bentónicos identificados (principalmente foraminíferos y ostrácodos) fueron asociados principalmente a un ambiente somero; siendo producto de un transporte horizontal por corrientes tal y como se esquematiza en la figura 20. Comparando los datos de FMT con los máximos flujos de foraminíferos bentónicos y flujos de arcillas minerales (anexo tabla 7), es claro ver una notoria correspondencia en relación a la variación de los flujos. Así mismo, los altos valores de dichos flujos son relacionados al periodo de mayor profundidad (63 m) de la capa de mezcla (Fig. 21), producida por los fuertes vientos que comunmente se presentan para ese periodo. Esto sugiere que los vientos no sólo transportan material litogénico a través de la atmosfera, si no que re-suspenden material en las zonas someras de la bahía, transportándolo a la parte profunda donde eventualmente se sedimenta ocasionando, conjuntamente al suministro eólico, un aumento en el flujo de material particulado (Fig. 20). Sin embargo, no fue posible discernir entre el material que es re-depositado por corrientes de marea o por vía eólica.

Tabla 8. Distancias de Mahalanobis, para las masas de agua y los flujos de algunas especies (ver en anexo Tabla 8).

muestra	G_1:1	G_2:2	G_3:3
	ASE ASsSt	AGC ASsSt	ASE/AGC ASsSt
XXV-1	6.400	25.562	16.974
XXV-2	6.400	25.931	17.152
XXV-3	6.400	25.098	16.407
XXV-4	18.819	23.911	4.000
XXV-5	14.063	6.000	12.235
XXV-6	19.101	6.000	17.107
XXV-7	39.826	6.000	29.963
XXV-8	15.046	5.999	10.796
XXV-9	3.711	7.140	4.000
XXV-10	2.402	13.633	4.912
XXV-12	2.400	13.826	4.881

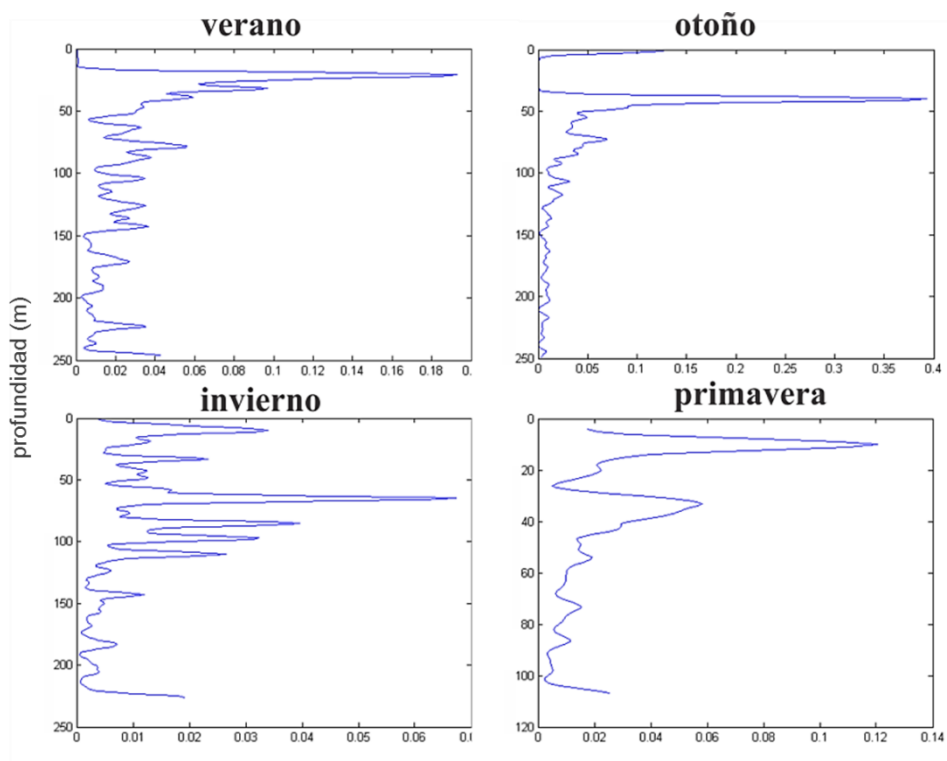


Figura 21. Estimación de la capa de mezcla, para las diferentes estaciones del periodo muestreado, y= profundidad, x= estabilidad de la columna.

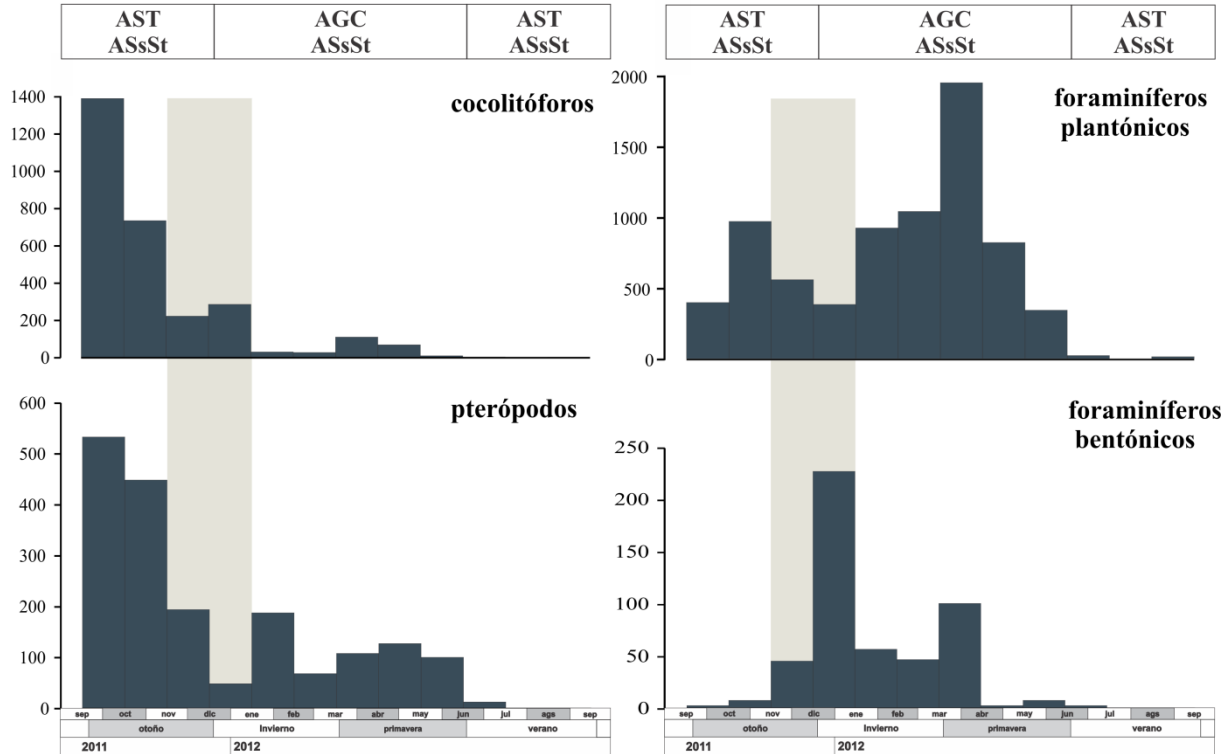


Figura 22. Registro en trampa de sedimento del flujo de los principales grupos calcáreos. Todos los flujos están dados en individuos $m^{-2} d^{-1}$; el periodo sombreado muestra los máximos valores del FMT.

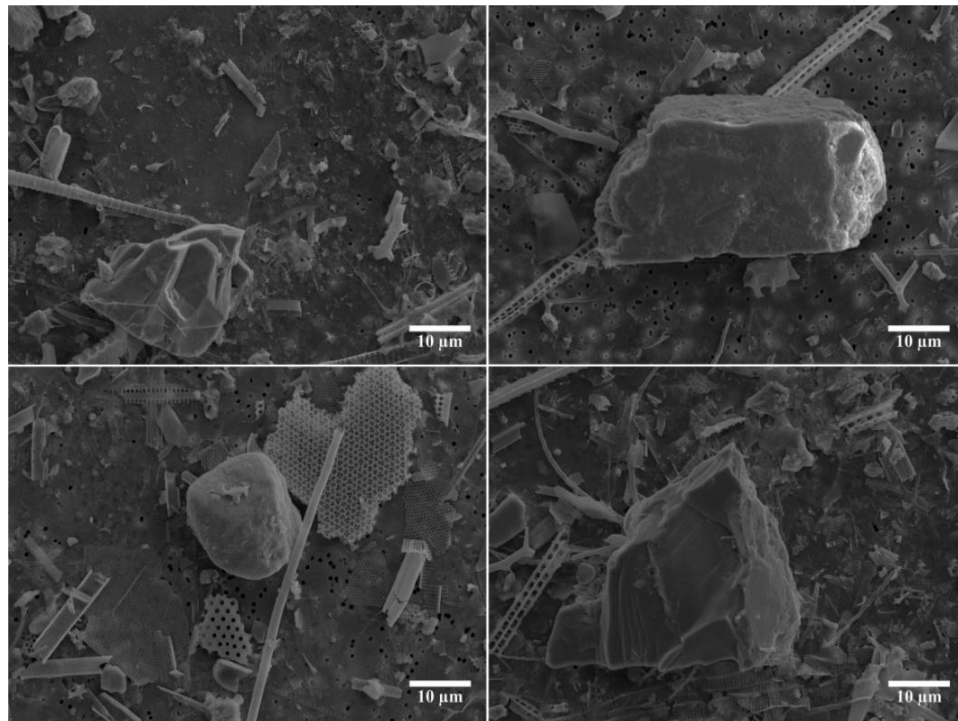


Figura 23. Imágenes de las diferentes formas de minerales en CA, tomadas a una magnificación de 1500x en un ZEISS SUPRA 55vp (flujos en anexo tabla 7).

8.4. Exportación de calcita por cocolitóforos y foraminíferos en Cuenca Alfonso

A partir de los datos de CaCO_3 el aporte de calcita por cocolitos y foraminíferos planctónicos fue, en conjunto y para todo el periodo muestreado, de $35 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ representando un 7% del CaCO_3 total. Para el caso de los cocolitóforos (Fig. 24) el porcentaje de exportación de calcita fue muy baja (4% del CaCO_3 total, 6 veces menos) en relación a lo reportado anteriormente en la cuenca, por dos estudios independientes (Urcádiz-Cázares, 2005; Rochín-Bañaga, 2012), y en zonas oceánicas (Broerse *et al.*, 2000; Tanaka, 2004), donde el aporte de cocolitos, para ambas zonas, ha llegado a representar en ocasiones hasta más del 20 o inclusive hasta un 60% de la calcita total (en trampas instaladas a distintas profundidades). El hecho de que para una misma área se tengan aportes tan variados de acuerdo a la calcita por cocolitos, es reflejo de la variabilidad interanual del flujo de las especies, dominancia de especies y su respuesta ante las condiciones atmosféricas y oceanográficas del periodo muestreado. Para el caso de los foraminíferos planctónicos en zonas oceánicas, la exportación de calcita se encuentra entre 9 y 50 $\text{mg CaCO}_3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Schiebel *et al.*, 1995), cabe mencionar que el presente estudio es el primero en su tipo en zonas costeras, en estimar la contribución de calcita por foraminíferos por lo que no existen datos para comparar. Otros grupos calcáreos como: foraminíferos bentónicos, ostrácodos, pterópodos y otros micromoluscos, representaron poco más del 20% de la calcita total (Fig. 24). Esto se debe a que por lo general las formas de organismos bentónicos como los foraminíferos o los bivalvos, son más densos que organismos calcáreos planctónicos por lo que su aporte de CaCO_3 es mayor. De la fracción fina $<63 \mu\text{m}$ se identificaron foraminíferos, protoconchas (pterópodos) y en su mayoría fragmentos de testas (ver anexo Fig. 2), esta fracción, en conjunto, contribuyó con más del 70% de la calcita total. La razón por la cual se presentaron especies de foraminíferos planctónicos menores a $63 \mu\text{m}$, es por el momento incierta. Pero podría deberse a juveniles o especies que aceleran su ciclo de vida para alcanzar su madurez y reproducción en tamaños menores a lo normal a causa de la disponibilidad de alimento o competencia.

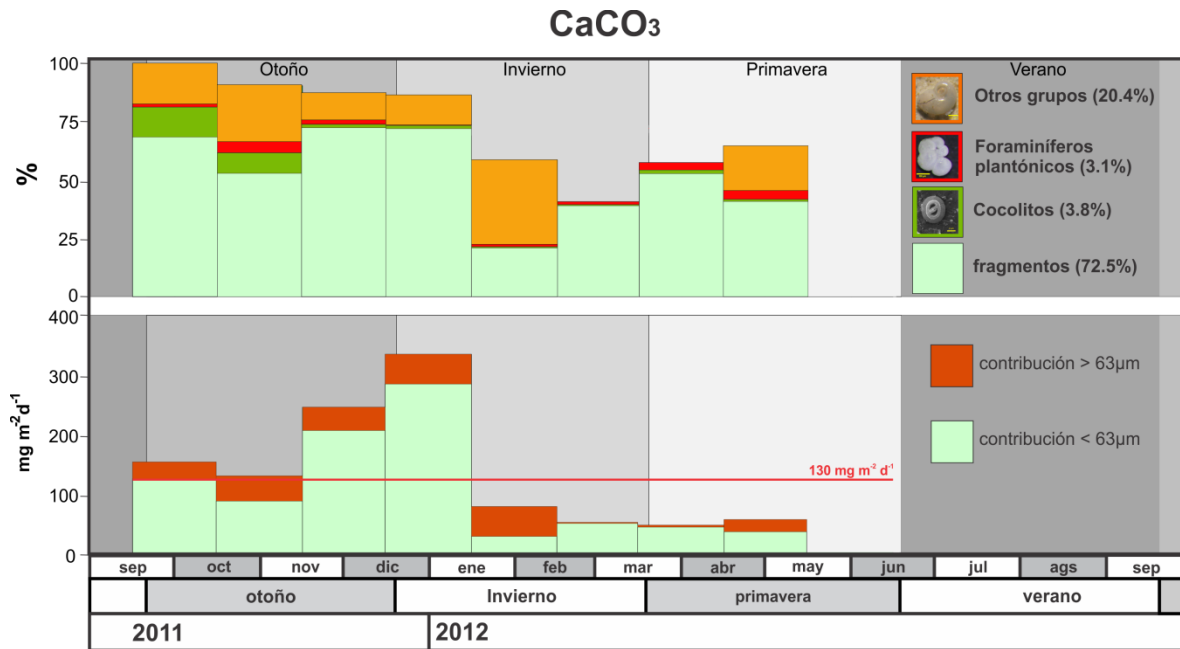


Figura 24. Variación del flujo de CaCO₃ y el aporte por diferentes grupos calcáreos. Hay que mencionar que para verano 2012 no se cuenta con muestras analizadas debido a que el material colectado era insuficiente para los respectivos análisis.

Asumiendo que los flujos de cocolitos y foraminíferos planctónicos en Cuenca Alfonso fueron uniformes sobre un área de ~254 km², y considerando solamente la porción de la cuenca con diámetro de 18 km, que es la que presenta profundidades mayores a 300 m (Silverberg *et al.*, 2007). Entonces podemos decir que en la cuenca se sedimentó (a esta profundidad) alrededor de 10 toneladas de carbonato de calcio en el año muestreado tan solo por cocolitóforos y foraminíferos planctónicos; mostrando una vez más la gran importancia de estos grupos como exportadores de carbonato de calcio hacia el sedimento “bomba de los carbonatos” y señalando la importancia de Cuenca Alfonso como un sumidero tanto de carbono orgánico (70 ton año⁻¹) como de carbonatos (158 ton año⁻¹).

9. CONCLUSIONES

El flujo de masa total registrado en los meses de septiembre de 2011- enero de 2012 presentó valores máximos de $1979 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; mientras que a partir de enero de 2012 se presentaron valores menores, incluyendo un registro mínimo de $0.07 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ registrado en julio-agosto de 2012. La causa exacta de esta variación es incierta; pero pudiera ser resultado de la interacción de forzamientos locales y regionales como momentos de calma de los vientos sobre el área de estudio. No obstante, existe una gran correlación ($r = 0.99$, $p < 0.05$) entre el flujo de masa total y la fracción litogénica, indicando que esta última influye en la sedimentación de agregados.

Existe una correlación significativa entre: C_{org} : CaCO_3 ($r = 0.80$, $p < 0.02$) y litogénico: CaCO_3 ($r = 0.95$, $p < 0.01$) mostrando que el material terrígeno es un eficiente mecanismo de transporte para estos dos componentes. Los datos muestran una pobre correlación entre el BioSiO_2 con el carbono orgánico ($r = 0.45$, $p < 0.05$), indicando que este último se debe, en su mayoría, por influencia de organismos calcáreos y no por organismos silíceos.

Las especies *G. ruber*, *P. obliquiloculata* y *U. irregularis*, se pueden caracterizar como de “asociación cálida”, ya que sus flujos máximos se presentan cuando se registraron temperaturas superficiales $>28^\circ\text{C}$. En sentido opuesto, las especies *G. bulloides* y *N. dutertrei* pueden caracterizarse como de “asociación fría”, con flujos máximos durante la presencia de temperaturas superficiales $< 20^\circ\text{C}$ y salinidad >35.3 .

Los flujos máximos de *G. menardii* ($165 \text{ testas m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en Cuenca Alfonso se registraron durante otoño; periodo donde se presentó una estimación de la capa de mezcla de $\sim 40 \text{ m}$; se menciona que esta especie se reproduce por debajo de la pycnoclina, por lo que los flujos de esta especie pueden indicar el periodo de mayor intensidad de viento sobre el área de estudio.

Asimismo los flujos máximos de *G. menardii*, *P. obliquiloculata* y *G. oceánica* ocasionaron incrementos del flujo de calcita por cocolitos y foraminíferos, ya que poseen mayor grado de calcificación por lo que son susceptibles a formar parte del

registro sedimentario aportando pistas para futuras investigaciones de carácter paleoceanográfico en la bahía.

Los flujos de ostrácodos y foraminíferos bentónicos (*Bolivina* spp., *Quinqueloculina* spp., entre otros), así como la presencia de diatomeas bentónicas como: *Amphora coffeaeformis*, *Amphora proteus contigua*, *Navicula* sp., *Fallacia oculata* y *Cocconeis* sp., en la trampa de sedimento, son un indicador de la existencia de un proceso de re-depósito de material hacia la cuenca.

El presente trabajo asume que durante el periodo de intensos vientos existe re-suspensión de material en zonas aledañas (manglar y plataforma), y debido a las corrientes, este material se deposita en la zona más profunda de la bahía favoreciendo al flujo de masa total. Sin embargo, nuestra metodología no nos permite discernir entre el material que es re-depositado por corrientes o por vía eólica.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con el análisis y conteo de los cocolitos y foraminíferos en la trampa de sedimentos para incrementar el conocimiento mostrado en el presente trabajo. Un estudio prolongado (de series de tiempo), ayuda a establecer patrones oceanográficos para una región específica como Cuenca Alfonso, los cuales llevados a largo plazo pueden ser utilizados como proxies.

Por otra parte, se propone realizar un análisis (detallado) de la composición de las pelotillas fecales, para tener una estimación de cuántos cocolitos podría almacenar y transportar una pelotilla fecal hacia el fondo de la cuenca. También se propone examinar los sedimentos laminados en Cuenca Alfonso, con el objeto de registrar los taxones de foraminíferos bentónicos y ostrácodos para poder identificar sus respectivos ambientes y/o procedencia; principalmente el género *Bolivina* la cual indica un ambiente con bajo contenido de oxígeno propio de aguas profundas.

11. REFERENCIAS

- Acevedo-Acosta, J. D., Martínez-López, A., y Verdugo-Díaz, G., 2014. Patrón estacional (2008-2012) del flujo vertical de diatomeas en Cuenca Alfonso; Bahía de La Paz B.C.S., Reunión Anual 2014, Unión Geofísica Mexicana (resumen).
- Aguiñiga, S., Sanchez, A., y Silverberg, N., 2010. Temporal variations of C, N, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ in organic matter collected by a sediment trap at Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, SW Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 30: 1692-1700.
- Aguirre Bahena F., 2007. Cambios temporales en los componentes y flujos de la materia en hundimiento en Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, durante el periodo 2002-2005. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, 102 p.
- Allredge, A., y Silver, M., 1988. Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Progress In Oceanography*, 20.
- Andruleit, H., 1997. Coccolithophore fluxes in the Norwegian–Greenland Sea: seasonality and assemblage alterations. *Marine Micropaleontology*, 31: 45–64.
- Andruleit, H. A., von Rad, U., Bruns, A., y Ittekkot, V., 2000. Coccolithophore fluxes from sediment traps in the northeastern Arabian Sea off Pakistan. *Marine Micropaleontology*, 38: 285-308.
- Baars, M. A., Bakker, K. M., de Bruin, T. F., van Couwelaar, M., Hielde, M. A., Kraaij, G. W., Oosterhuis, S. S., Schalk, P. H., Sprong, I., Veldhuis, M. J. W., Wiebinga, C. J., y Witte, J. I., 1994. Seasonal fluctuations in plankton biomass y productivity in the ecosystems of the Somali current, Gulf of Aden and southern Red Sea., En: Baars, M. A., (Eds.), *Monsoons and Pelagic Systems, Cruise Reports Netherlands Indian Ocean Programme*, 1: National Museum of Natural History, Leiden, 13-34.
- Bairbakhish, A. N., Bollman, J., Sprengel, C., y Thierstein, H. R., 1999. Disintegration of aggregates y coccospheres in sediment trap samples. *Marine Micropaleontology*, 37: 219-223.
- Balch, W. M., Kilpatrick, K. A., Holligan, P., Harbour, D., y Fernández, E., 1996. The 1991 coccolithophore bloom in the central North Atlantic. 2. Relating optics to coccolith concentration. *Limnology and Oceanography*, 41: 1684-1696.
- Bauohua, L., Zhimin, J., and Pinxian, W., 1996. *Pulleniatina obliquiloculata* as a paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20,000 years. *Marine Micropaleontology*, 32: 59-69.
- Bé, A. W. H., y Tolderlund, D. S., 1971. Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans, En: Funnel, B. M., and Riedel, W. R., (Eds.), *The Micropaleontology of Oceans*, 105-149.
- Beaufort, L., y Heussner, S., 1999. Coccolithophorids on the continental slope of the bay biscay - production, transport and contribution to mass fluxes. *Deep-Sea Research II*: 2147-2174.
- Beaufort, L., Probert. I., Garidel-Thoron, T., Bendif, E. M., Ruiz-Pino, D., Metzl, N., Goyet, C., Goyet. N., Coupel, P., Grelaud, M., Rost, B., Rickaby, R., y Vargas., C. d., 2011. Sensitivity of coccolithophores to carbonate chemistry and ocean acidification. *Nature*, 476: 80-82.

- Berger, W., 1976. Biogenous deep-sea sediments: Production, preservation and interpretation, En: Riley, J. P., y Chester, R., (Eds.), Treatise on chemical oceanography: London, Academic press, 265-388.
- Berger, W. H., Smetacek, V., y Wefer, G., 1976. Ocean productivity and paleoproductivity-An overview. *Productivity of the Ocean*, 1-34.
- Berger, 1989. Ocean productivity and paleoproductivity-an overview, En: Berger W., S. V. S., y Wefer G., (Eds.), *Productivity in the Oceans*. New York, J.Wiley & Sons.
- Bhonsale, S., y Saraswat, R., 2012. Abundance and Size Variation of *Globorotalia menardii* in the Northeastern Indian Ocean During the Late Quaternary. *Journal Geological Society of India*, 80: 771-782.
- Bijma, J., Hemleben, C., y Wellnitz, K., 1994. Lunar-influenced carbonate flux of the planktic foraminifer *Globigerinoides sacculifer* (Brady) from the Central Red-Sea. *Deep-Sea Research I*, 141: 511-530.
- Bishop, J., Edmond, J., Ketten, D., Bacon, M., y Silker, W., 1977. The chemistry, biology, and vertical flux of particulate matter from the upper 400 m of the equatorial Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research I*, 24: 511-548.
- Boersma, A., 1998. Foraminifera, En: Haq, B. U., y Boersma, A., (Eds.), *Introduction to marine micropaleontology*: Amsterdam, 19-77.
- Boersma, A., Premoli Silva, I., y Shackleton, N., 1987. Atlantic Eocene planktonic foraminiferal paleohydrographic indicators and stable isotope paleoceanography. *Paleoceanography*, 2: 287-331.
- Bollmann, J., 1997. Morphology and biogeography of *Gephyrocapsa coccoliths* in Holocene sediments. *Marine Micropaleontology*, 29: 319-350.
- Bollmann J., Baumann K.H., y Thierstein H.R., 1998. Global dominance of *Gephyrocapsa coccoliths* in Late Pleistocene: Selective dissolution, evolution, or global environmental change?. *Paleoceanography*. 13: 517–529.
- Bollmann, J., Cortés, M. Y., Haidar, A. T., Brabec, B., Close, A., Hofman, R., Palma, S., Tupas, L., y Thierstein, H. R., 2002. Techniques for quantitative analyses of calcareous marine phytoplankton. *Marine Micropaleontology*, 44: 163-185.
- Bollmann J., Quinn P., Vela M., Brabec B., Brechner S., Cortés M. Y., Hilbrecht H., Schmidt D. N., Schiebel R. y Thierstein H. R. 2004. Automated particle analysis: calcareous microfossils. En: Francus P. (Eds.). *Image Analysis, Sediments and Paleoenvironments*.
- Bollmann, J., and Klaas, C., 2008. Morphological variation of *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner 1943. En: plankton samples: implications for ecologic and taxonomic interpretations. *Protist*, 159: 369-381.
- Brand, L. E., Sunda, W., y Guillard, R., 1983. Limitation of marine phytoplankton reproductive rates by zinc, manganese and iron. *Limnology and Oceanography*, 28: 1182-1198.
- Brand, L. E., 1994. Physiological ecology of marine coccolithophores, En: Winter, A., y Siesser, W., (Eds.), *Coccolithophores*, Cambridge University, 39-49.
- Broerse, A., Brummer, G. J. A., y Van Hinte, J. E., 2000. Coccolithophore export production in response to monsoonal upwelling on Somalia (northwestern Indian Ocean). *Deep-Sea Research II*, 47: 2179-2205.

- Broerse, A., Ziveri, P., y Honjo, S., 2000a. Coccolithophore ($-CaCO_3$) flux in the Sea of Okhotsk: seasonality, settling and alteration processes. *Marine Micropaleontology*, 39: 179-200.
- Brown, C. W., and Yoder, J. A., 1994. Coccolithophorid blooms in the global ocean. *Journal of Geophysical Research*, 99: 7467-7482.
- Brummer, G. J. A., 1995. Sediment traps and particle dynamics En: Van Hinte, J. E., Van Weering, Tj.C.E., Troelstra, S.R., (Eds.), *Tracing a Seasonal Upwelling. Cruise Reports Netherlands Indian Ocean Programme*, National Museum of Natural History, Leiden, 4: 55-61.
- Cadée, G. C., Gonzáles, H., y Schnack-Schiel, S. B., 1992. Krill diet affects faecal string settling. *Polar Biology*, 12: 75- 80.
- Castro, R., Durazo, R., Mascarenhas, A. S., Collins, C. A., y Trasviña, A., 2006. Thermohaline variability and geostrophic circulation in the southern portion of the Gulf of California. *Deep-Sea Research I*, 53: 188-200.
- Choumiline, K., 2011. Geoquímica de la materia particulada en hundimiento, y de los sedimentos recientes en Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, 160 p.
- Conan, S. M. H., y Brummer, G. J. A., 2000. Fluxes of planktic foraminifera in response to monsoonal upwelling on the Somalia Basin margin. *Deep-Sea Research II*, 47: 2207-2227.
- Cortés, M. Y., Bollman, J., y Thierstein, H. R., 2001. Coccolithophore ecology at the HOT station ALOHA, Hawaii. *Deep-Sea Research II*, 48: 1957-1981.
- Cortés, M.Y., Bollmann, J. Cervantes-Duarte, R. Douglas, R. Silverberg, N. y Turrent, C. 2003. Preliminary results of extant coccolithophores in plankton and surface sediment samples from the Alfonso Basin. IX congreso Asociación de investigadores del Mar de Cortés, A.C., B.C.S. (poster).
- Cros, L., 2001. Planktonic coccolithophores of the NW Mediterranean. Tesis Doctoral: Universidad de Barcelona, 180 p.
- Cruz-Orozco, R., Martínez-Noriega, C., y Mendoza-Maravillas, A., 1996. Batimetría y sedimentos de la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Oceanides*, 11: 21-27.
- Cuesta-Castillo, L. B., Machain-Castillo, M. L., Monreal-Gómez, M. A., y Gio-Argáez, F. R., 2005. Los Foraminíferos planctónicos de la Bahía de La Paz: Su abundancia y distribución en relación a la dinámica oceánica. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 2, 65-77.
- DeMaster, D. J., 1981. The supply and accumulation of silica in the marine environment. *Geochim. Cosmochim. Acta* 45, 1715–1732.
- Deuser, W. G., Jickells, T. D., King, P., y Commeau, J. A., 1995. Decadal and annual changes in biogenic opal and carbonate fluxes to the deep Sargasso Sea. *Deep-Sea Research I*, 42: 1923-1932.
- Field, D.B., 2004. Variability in vertical distributions of planktonic foraminifera in the California Current: relationships to vertical ocean structure. *Paleoceanography*, 19.
- Field, D.B., Baumgartner, T., Charles, C., Ferreira-Bartrina, V., y Ohman, M., 2006. Planktonic foraminifera of the California Current reflect 20th-century warming. *SCIENCE*, 311: 4.

- Fowler, S., y Knauer, G., 1986. Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the ocean water column. *Progress in Oceanography*, 16: 147-194.
- García-Romero, F., 2012. Estructura de la comunidad de cocolitóforos frente a Bahía Magdalena, Baja California Sur, México (octubre 2009-junio 2010), Tesis de Licenciatura: UABCS, 71 p.
- Gonzalez-Yajimovich, O., Douglas, R., y Gorsline, D., 2005. The preserved carbonate record in Holocene sediments of the Alfonso and Pescadero basins, Gulf of California, Mexico. *Proceedings of the Geologists' Association*, 116: 315-330.
- Gravalosa, J. M., Flores, J. A., Sierro, F. J., y Gersonde, R., 2005. Distribución espacial del cocolito *Emiliana huxleyi* en el sector pacífico del Océano Antártico: nuevos datos para la reconstrucción paleoambiental y caracterización de eventos bioestratigráficos. *GEOGACETA*, 38: 191-194.
- Grelaud, M., Schimmelmann, A., y Beaufort, L., 2009. Coccolithophore response to climate and surface hydrography in Santa Barbara Basin, California, AD 1917–2004. *Biogeosciences*, 6: 2025–2039.
- Gupta, B. y Machain-Castillo, M. L., 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*, 20: 183-201.
- Hagino, K., Okada, H., and Matsuoka, H., 2000. Spatial dynamics of coccolithophore assemblages in the Equatorial Western-Central Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*, 39: 53-72.
- Harris, R. P., 1994. Zooplankton grazing on the coccolithophore *Emiliana huxleyi* and its role in inorganic carbon flux. *Marine Biology*, 119: 431-439.
- Hayward, B. W., Neil, H., Carter, R., Grenfell, H. R., y Hayward, J. J., 2002. Factors influencing the distribution patterns of Recent deep-sea benthic foraminifera, east of New Zealand, Southwest Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*, 46: 139-176.
- Herguera, J. C., Bernal-Franco, G., y Molina-Cruz, A., 2003. Decadal surface ocean variability in the lower Gulf of California: Records for the past 300 years. *Geofísica Internacional*, 42: 397-406.
- Hibberd, D. J., 1976. The ultrastructure and taxonomy of the Chrysophyceae and Prymnesiophyceae (Haptophyceae): a survey with some new observations on the ultrastructure of the Chrysophyceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 72: 55-80.
- Hofmann, M., y Schellnhuber, H. J., 2009. Oceanic acidification affects marine carbon pump and triggers extended marine oxygen holes. *PNAS*, 106: 3017–3022.
- Holligan, P. M., Fernández, E., Aiken, J., Balch, W. M., Boyd, P., Burkill, P. H., Finch, M., Groom, S. B., Malin, G., Muller, K., Purdie, D. A., Robinson, C., Trees, C. C., Turner, S. M., y van der Wal, P., 1993. A biochemical study of the coccolithophore, *Emiliana Huxleyi*, in the North Atlantic. *Global Biogeochemical Cycles*, 7: 870-900.
- Honjo, S., 1975. Dissolution of suspended coccoliths in the deep-sea water column and sedimentation of coccolith ooze. *Dissolution of Deep-Sea Carbonates*, 13: 114-128.

- Honjo, S., 1976. Coccoliths: Production, Transportation and Sedimentation. *Marine Micropaleontology*, 1: 65-79.
- Honjo, S., Manganini-Steven, J., y Poppe-Lawrence, J., 1982. Sedimentation of lithogenic particles in the deep ocean. *Marine Geology*, 50: 177-197.
- Iversen, M. H., and Ploug, H., 2010. Ballast minerals and the sinking carbon flux in the ocean: carbon-specific respiration rates and sinking velocity of marine snow aggregates. *Biogeosciences*, 7: 2613-2624.
- Karl, D. M., y Michaels, A. F., 1996. Preface: The hawaiian Ocean Time-series (HOT) and Bermuda Atlantic Time-series Study (BATS). *Deep-Sea Research I*, 43: 127-128.
- Kemle-von Mücke, S., y Hemleben, C., 1999. Foraminifera, En: Boltovskoy, D., (Eds.), *South Atlantic Zooplankton*, Backhuys, 43-73.
- Kincaid, E., Thunell, R. C., Le, J., Lange, C. B., Weinheimer, A. L., y Reid, F. M. H., 2000. Planktonic foraminiferal Fluxes in the Santa Barbara Basin: response to seasonal and interannual hydrographic changes. *Deep-Sea Research II*, 47: 1157-1176.
- King, A. L., y Howard, W. R., 2001. Seasonality of foraminiferal flux in sediment traps at Chatham Rise, SW Pacific: implications for paleotemperature estimates. *Deep-Sea Research I*, 48: 1687-1708.
- Kleijne, A., 1993. Coccolithophorid biogeography, En: Kleijne, A., (Eds.), *Moephology, taxonomy and distribution of extant coccolithophorids (calcareous nannoplankton)*: 297-317.
- Knappertsbusch, M., Cortés, M. Y., y Thierstein, H. R., 1997. Morphologic variability of the coccolithophorid *calcidiscus leptoporus* in the plankton, surface sediments and from the Early Pleistocene. *Marine Micropaleontology*, 30: 293-317.
- López-Fuerte, F. O., Siqueiros-Beltrones, D., y Navarro, J., 2010. Benthic Diatoms associated with mangrove environments in the northwest region of México, La Paz, B.C.S., México, CONABIO, UABCS Y CICIMAR-IPN.
- Lovelock, J., y Margulis, L., 1974. Atmospheric Homeostasis by and for the Biosphere: The Gaia Hypothesis. *Tellus*, 26: 2-9.
- Martinez-López, A., Cervantes Aguirre, R., Reyes Salinas, A., y Valdez Holguin, J. E., 2001, Cambio estacional de clorofila en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Hidrobiológica*, 11: 45-52.
- Martinez-López, A., Álvarez-Gómez, I., y Durazo, R., 2012. Climate variability and silicoflagellate fluxes in Alfonso Basin (southern Gulf of California). *Botánica Marina*, 55: 177–185.
- McIntyre, A., y Bé, A. W. H., 1967. Modern Coccolithophoridae of the Atlantic Ocean. I. Placoliths and cyrtoliths. *Deep-Sea Research I*, 14: 561-597.
- McIntyre, A., Bé, A. W. H., y Roche, M. B., 1970. Modern Pacific Coccolithophorida: A Paleontological Thermometer. *Trans. N.Y. Acad. Sci.*, 32: 720-731.
- McIntyre, A., y McIntyre, R., 1971. Coccolith concentrations and differential solution in oceanic sediments., En: Funnell, B. M., y Riedel., W. R., (Eds.), *The micropaleontology of the oceans*. Cambridge, Cambridge Univ. Press., 253-261.
- Mergulhao, L., Guptha, M.V.S., Unger, D., y Murty, V.S.N., 2013. Seasonality and variability of coccolithophore fluxes in response to diverse oceanographic

- regimes in the Bay of Bengal: Sediment trap results. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 371: 119–135.
- Milliman, J., 1993. Production and accumulation of calcium carbonate in the ocean: Budget of a nonsteady state. *Global Biogeochemical Cycles*, 7: 927-957.
- Monreal-Gómez, M. A., Molina-Cruz, A., y Salas-de-León, D. A., 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *Journal of Marine Systems*, 50: 305-315.
- Mortlock, R. A. y Froelich, P. N., 1989. A simple method for rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. *Deep Sea Research I*, 36: 1415-1426.
- Obeso-Nieblas, M., Shirasago-Germán, B., Gaviño-Rodríguez, J., Perez-Lezama, E., Obeso-Huerta, H., y Jiménez-Illescas, A., 2008. Variabilidad hidrográfica en Bahía de La Paz, Golfo de California, México (1995-2005). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43: 559-567.
- Okada, H., and Honjo, S., 1973. The distribution of oceanic coccolithophorids in the Pacific. *Deep-Sea Research I*, 20: 355-374.
- Okada, H., y Honjo, S., 1975. Distribution of coccolithophores in the marginal Seas along the Western Pacific Ocean and the Red Sea. *Marine Biology*, 31: 271-285.
- Pardo, M. A., Silverberg, N., Gendron, D., Beier, E., y Palacios, D. M., 2013. Role of environmental seasonality in the turnover of a cetacean community in the southwestern Gulf of California. *Marine Ecology Progress Series*, 487: 245-260.
- Parker, F., 1962. Planktonic foraminiferal species in Pacific sediments. *Micropaleontology*, 8: 219-254.
- Parker, F., 1973. Living planktonic foraminifera from the Gulf of California. *Journal of Foraminiferal Research*, 3: 70-77.
- Pérez-Cruz, L., 2006. Climate and ocean variability during the middle and late Holocene recorded in laminated sediments from Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico. *Quaternary Research*, 65: 401-410.
- Pilskaln, C., y Honjo, S., 1987. The fecal pellet fraction of biogeochemical particle fluxes to the deep sea. *Global Biogeochemical Cycles*, 1: 31-48.
- Ploug, H., Iversen, M. H., Koski, M., y Buitenhuis, E. T., 2008. Production, oxygen respiration rates, and sinking velocity of copepod fecal pellets. Direct measurements of ballasting by opal and calcite. *Limnology and Oceanography*, 53: 469-476.
- Quinn, P. S., Cortes, M. Y., y Bollmann, J., 2005. Morphological variation in the deep sea ocean-dwelling coccolithophore *Florisphaera profunda* (Haptophyta). *Journal of Phycology*, 40: 31- 42.
- Ridgwell, A., y Zeebe, R., 2005. The role of the global carbonate cycle in the regulation and evolution of the Earth system. *Earth and Planetary Science Letters*, 234: 299–315.
- Rochín-Bañaga, H., 2012. Aporte de carbonato de calcio en Cuenca Alfonso, mediante el flujo de nanoplancton calcáreo, Tesis de Licenciatura: UABCS, 50 p.
- Rochín-Bañaga, H., Cortés, M. M. Y., Aguirre-Bahena, F., Silverberg, N., y Bollmann, J., 2012. Variabilidad del flujo de coccolitofóridos mediante trampas de

- sedimento, en Cuenca Alfonso, desde otoño 2006 a invierno 2008., En: Cuevas, F. P. y R. M., (Eds.), Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2011. México, Programa Mexicano del Carbono; Instituto Nacional de Ecología., 451-459.
- Romero, O., Boeckel, B., Donner, B., Lavik, G., Fischer, G., y Wefer, G., 2000. Seasonal productivity dynamics in the pelagic central Benguela System inferred from the flux of carbonate and silicate organisms. *Journal of Marine Systems*, 37: 259- 278.
- Rozo-Vera, G. A., y Carreño, A., 1988. Distribución de foraminíferos plantónicos en sedimentos superficiales del Golfo de California. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 7: 217-225.
- Salinas-González, F., Zaytsev, O., y Makaron, V., 2003. Formación de la estructura termohalina del agua en la Bahía de La Paz de verano a otoño. *Ciencias Marinas*, 29: 51-56.
- Santa Rosa-del Río, M. A., Ávila Serrano, G. E., Téllez-Duarte, M. A., Gonzalez-Yajimovich, O., y Cupul Magaña, L. A., 2011. Distribución y abundancia de tanatocenosis de foraminíferos bentónicos submareales en el delta del río Colorado. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63: 445-458.
- Sautter, L. R., y Thunell, R. C., 1989. Seasonal succession of planktonic Foraminifera: Results from four-year time series sediment trap experiment in the northeast Pacific. *Journal of Foraminiferal Research*, 19: 253-267.
- Schiebel, R., Hiller, B., y Hemleben, C., 1995. Impacts of storms on Recent planktic foraminiferal test production and CaCO₃ flux in the North Atlantic at 47°N, 20°W (JGOFS). *Marine Micropaleontology*, 26: 115-129.
- Schiebel, R., Bijma, J., y Hemleben, C., 1997. Population dynamics of the planktic foraminifer *Globigerina bulloides* from the eastern North Atlantic. *Deep-Sea Research I*, 44: 1701-1713.
- Schiebel, R., y Hemleben, C., 2005. Modern planktic foraminifera. *Paläontologische Zeitschrift*, 79: 135–148.
- Sidón-Ceceña, K., 2012. Variación de la distribución vertical y estacional de los cocolitóforos en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz (Feb-2007-Ene-2008). Tesis de Licenciatura: UABCS, 50 p.
- Signoret, M., y Santoyo, H., 1980. Aspectos Ecológicos del Plancton de La Bahía de La Paz Baja California Sur. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*. UNAM. México, 7:217-248.
- Sijinkumar, A. V., Nath, B. N., Possnert, G., y Aldahan, A., 2011. Pulleniatina Minimum Events in the Andaman Sea (NE Indian Ocean): Implications for winter monsoon and thermocline changes. *Marine Micropaleontology*, 81, 88-94.
- Silver, M., y Gowing, M., 1991. The "Particle" Flux: Origins and biological components. *Progress in Oceanography*, 26: 75-113.
- Silverberg, N., Martínez-López, A., Aguiñiga, S., Carriquiry, J. D., Romero, N., Shumilin, E., y Cota, S., 2004. Contrasts in sedimentation flux below the Southern California Current in late 1996 and during the El NIÑO event of 1997-1998. *Estuarine, Coastal and shelf Science*, 59: 575-587.
- Silverberg, N., Aguirre-Bahena, F., Cortes-Martínez, M. Y., y Urcadiz-Cazares, F. J., 2007. Flujos verticales de carbono orgánico e inorgánico particulado en

- Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz y comparación con otros ambientes en el norte de México. En: Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México, SEMARNAT, 411-425.
- Silverberg, N., Shumilin, E., Aguirre-Bahena, F., Rodríguez-Castañeda, A. y Sapozhnikov, D., 2008. The impact of hurricanes on sedimenting particulate matter in the semi-arid Bahía de La Paz, Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 28: 1089–1090.
- Silverberg, N., Aguirre-Bahena, F., y Mucci, A., 2014. Time-series measurements of settling particulate matter in Alfonso Basin, La Paz Bay, southwestern Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 84: 169-187.
- Siqueiros-Beltrones, D., 2002. Diatomeas bentónicas de la Península de Baja California; diversidad y potencial ecológico, Instituto Politecnico Nacional y Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Spindler, M., Hemleben, C., Salomons, J. B., y Smit, L. P., 1984. Feeding behavior of some planktonic foraminifers in laboratory cultures. *Journal of Foraminiferal Research*, 14: 237-249.
- Steinmetz, J. C., 1994. Sedimentation of Coccolithophores. En: Winter & Siesser, A. S., W. G., (Eds.), *Coccolithophores*, Reino Unido, Cambridge. University Press., 1: 179-199.
- Strickland, J. D. y T. R. Parsons, 1968. A practical handbook of seawater analysis. (Eds.), Fisheries Research Board of Canada. Ottawa, 311.
- Takahashi, K., y Bé, A. W. H., 1984. Planktonic foraminifera: factors controlling sinking speeds. *Deep-Sea Research I*, 31: 1477-1500.
- Tanaka, Y., 2004. Coccolith Carbonate Fluxes in the Northwest Pacific Ocean. *TERRAPUB*, 133-146.
- Thunell, R. C., Pride, C., Ziveri, P., Muller-karger, F., Sancetta, C., y Murray, D., 1996. Plankton response to physical forcing in the Gulf of California. *Journal of Nanoplankton Research*, 18: 2017-2026.
- Thunell, R. C., 1998a. Particle fluxes in a coastal upwellin zone: Sediment trap result from Santa Barbara Basin, California. *Deep-Sea Research I*, 45: 1863-1884.
- Thunell, R. C., 1998b. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep-Sea Research I*, 45: 2059-2083.
- Thunell, R. C., Benitez-Nelson, C., Varela, R., Astor, Y., y Muller-Karger, F., 2007. Particulate organic carbon fluxes along upwelling-dominated continental margins: rates and mechanisms. *Global Biogeochemical Cycles*, 21, GB1022(htt).
- Torres-Orozco, E., 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua en el Golfo de California. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, México, 80 p.
- Urcádiz-Cázares, F. J., 2005. Flujo de cocolitos (cocolitóforos) y su aporte de CaCO₃ evaluado con trampa de sedimentos en Cuenca Alfonso (Bahía de La Paz), Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. UABCS, 50 p.
- Usbeck, R., Schlitzer, R., Fischer, G., y Wefer, G., 2003. Particle fluxes in the ocean: comparison of sediment trap data with results from inverse modeling. *Journal of Marine Systems*, 39: 167- 183.

- Villegas-Aguilera, M., 2009. Fitoplancton silíceo de la zona eufótica, como señal de la productividad primaria en Cuenca Alfonso, Golfo de California. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, 112 p.
- Watabe, N., y Wilbur, K., 1966. Effects of temperature on growth, calcification coccolith form in *Coccolithus huxleyi* (*Coccolithinae*). *Limnology and Oceanography*, 11: 567-575.
- Wejnert a, K. E., Pride, C. J., y Thunell, R. C., 2010. The oxygen isotope composition of planktonic foraminifera from the Guaymas Basin, Gulf of California: Seasonal, annual, and interspecies variability. *Marine Micropaleontology*, 74: 29–37.
- Westbroek, P., Brown, C., Bleijswijk, J., Brownlee, C., Brummer, G., Conte, M., Egge, J., Fernández, E., Jordan, R., Knappertsbusch, M., Stefels, J., Veldhuis, M., Van der Wall, P., y Young, J., 1993. A model system approach to biological climate forcing. The example of *Emiliania huxleyi*. *Global and Planetary Change*, 8: 27-46.
- Winter, A., Reiss, Z., y Luz, B., 1979. Distribution of living Coccolithophore assemblages in the Gulf of Elat (Aqaba): *Marine Micropaleontology*, 4: 197-223.
- Winter, A., 1985. Distribution of living coccolithophores in the California current system, Southern California borderland. *Marine Micropaleontology*, 35-45.
- Winter, A., y Siesser, W. G., 1994. *Coccolithophores*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Young, J. R., Bergen, J. A., Bown, P. R., Burnett, J. A., Fiorentino, A., Jordan, R. W., Kleine, A., Van Niel, B. E., Ton Romein, A. J., y Von Salis, K., 1997. Guidelines for coccolith y calcareous nannofossil terminology. *Paleontology*, 40: 875-912.
- Young, J. R., y Ziveri, P., 2000. calculation of coccolith volume and its use in calibration of carbonate flux estimates. *Deep-Sea Research I*, 47: 1679-1700.
- Young, J., Geisen, M., Kleijne, A., Sprengel, C., Probert, I., y Ostegaard, J., 2003. A guide to extant coccolithophore taxonomy. *Journal of Nannoplankton Research Special*, 1: 1-124.
- Ziveri, P., Thunell, R. C., y Rio, D., 1995. Seasonal changes in coccolithophore densities in the Southern California bight during 1991-1992. *Deep-Sea Research I*, 42: 1881-1903.
- Ziveri, P., y Thunell, R. C., 2000. Coccolithophore export production in Guaymas Basin, Gulf of California: response to climate forcing. *Deep-Sea Research I*, 47: 2073-2100.

Anexos

Tabla 1. Rangos de temperatura y salinidad de las masas de agua que se han reportado en la porción sur del golfo de California basado en Torres-Orozco (1993), tomado de Castro *et al.* (2006).

Masa de agua	salinidad	Temperatura °C
AST	S < 35.0	≥18
AGC	S > 34.9	≥12
ASsSt	34.5 ≤ S ≤ 35.0	9 ≤ T ≤ 18

Tabla 2. Flujo de CaCO₃ de cocolitóforos en mg m⁻² d⁻¹ de las 11 muestras correspondientes a sep. 2011 a sep. 2012.

muestra	<i>Calcidiscus leptoporus</i>	<i>Calcidiscus leptoporus small</i>	<i>Emiliania huxleyi</i>	<i>E.huxleyi</i> B	<i>Fialosphaera prof. elong. critica</i>	<i>F. profunda elong. grande</i>	<i>F. profunda elong. grande</i>	<i>Gephyrocapsa oceanica</i> Mediana	<i>G. oceanica</i> Langer	<i>G. oceanica</i> Equatorial	<i>G. oceanica</i> Minute	<i>Heliosphaera carteri</i>	<i>H. pavementum</i>	<i>H. wallichii</i>	<i>Oolithus fragilis</i>	<i>Oolithus fragilis</i> chico	<i>Synacosphaera pulchra</i>	<i>Umbellosphaera irregularis</i>	<i>Umbellosphaera tenuis</i>	<i>Umbellosphaera sibogae</i>	TOTAL
XXV-1	0.54	0.08	1.15	0.12	0.01	0.19	0.69	0.78	8.56	0.05	2.95	0.39	0.31	0.49	3.24	0.05	0.55	0.13	0.07	20.37	
XXV-2	0.78	0.05	0.13	0.05	0.03	0.37	1.50	1.29	4.34	0.04	3.46	0.30	0.13	0.05	0.27	0.00	0.10	0.02	0.05	12.95	
XXV-3	0.60	0.02	0.04	0.01	0.00	0.13	0.39	0.63	1.42	0.01	0.26	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.01	0.00	0.05	3.66	
XXV-4	0.46	0.00	0.03	0.03	0.00	0.07	0.17	0.38	3.28	0.01	0.15	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	4.65	
XXV-5	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.09	0.17	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	
XXV-6	0.09	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.22	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.52	
XXV-7	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00	0.05	0.13	0.01	0.84	0.01	0.03	0.00	0.00	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	1.24	
XXV-8	0.06	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.08	0.04	0.39	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.72	
XXV-9	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	
XXV-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	
XXV-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	

Tabla 3. Comparación de masas de cocolitos estimadas por Young y Ziveri, 2000 y Beaufort y Heussner, 1999.

Species	Young & Ziveri, 2000		Beaufort & Heussner, 1999	
	wide (μm)	CaCO ₃ (pg)	wide (μm)	CaCO ₃ (pg)
<i>Calcidiscus leptoporus</i>	9.60	164.20	8.10	125.21
<i>Coronosphaera mediterranea</i>	3.95	12.10		
<i>Emiliana huxleyi</i> type A	3.62	2.90	3.10	2.90
<i>E. huxleyi</i> type B	3.62	1.20		
<i>Florisphaera profunda</i> var. <i>elongata</i> small	2.50	1.30		
<i>F. profunda elongata</i> large	5.13	13.00		
<i>F. profunda elongata</i> medium			4.20	6.80
<i>Gephyrocapsa ericsonii</i>	3.00	3.60		
<i>G. oceanica</i> large	6.39	25.70		
<i>G. oceanica</i> medium	4.17	18.00		
<i>G. oceanica</i> small	3.00	5.81		
<i>Helicosphaera carteri</i>	10.00	135.00	9.11	142.90
<i>Oolithotus fragilis</i> small	6.04	72.60		
<i>Oolithotus fragilis</i>	8.55	96.80		
<i>Syracosphaera pulcra</i>			5.85	16.53
<i>Umbellosphaera irregularis</i>	6.00	5.80		
<i>U. tenuis</i>	6.00	8.70	5.00	23.86
<i>Umbilicosphaera sibogae</i>	4.10	16.00	4.10	15.97

Tabla 4. Flujo de los componentes principales del flujo de masa total (FMT). De las muestras restantes no hubo lo suficiente material para hacer los respectivos análisis.

muestra	BioSiO ₂ mg m ⁻² d ⁻¹	litogénico mg m ⁻² d ⁻¹	Corg mg m ⁻² d ⁻¹	Cino mg m ⁻² d ⁻¹	FMT mg m ⁻² d ⁻¹
XXV-1	157.3	248.8	91.5	153.7	651.3
XXV-2	212.6	229.5	64.9	130.0	636.9
XXV-3	373.8	604.6	85.5	244.5	1308.5
XXV-4	554.1	889.2	80.7	334.0	1858.0
XXV-5	248.8	258.9	41.7	79.1	628.6
XXV-6	265.5	229.5	40.5	51.5	587.0
XXV-7	140.5	158.0	31.8	47.8	378.1
XXV-8	158.0	119.7	46.7	56.9	381.3
total	2110.7	2738.2	483.3	1097.6	6429.7
prom	263.8	342.3	60.4	137.2	803.7
max	554.1	889.2	91.5	334.0	1858.0
min	140.5	119.7	31.8	47.8	378.1
desvest	139.89	265.29	23.25	104.01	514.73

Tabla 5. Flujo de “otros grupos” calcáreos en individuos m⁻² d⁻¹, de las 11 muestras correspondientes a sep. 2011 a sep. 2012.

muestra	Ostrácoda		Gastropoda		Pterópodos	
	nº individuos	flujo	nº individuos	flujo	nº individuos	flujo
XXV-1	1	2.67	79	210.67	200	533.33
XXV-2	0	0.00	45	116.13	174	449.03
XXV-3	4	10.67	29	77.33	73	194.67
XXV-4	15	38.71	11	28.39	19	49.03
XXV-5	0	0.00	17	43.87	73	188.39
XXV-6	1	2.76	8	22.07	25	68.97
XXV-7	0	0.00	4	18.06	42	108.39
XXV-8	0	0.00	0	0.00	48	128.00
XXV-9	2	5.16	7	20.65	39	100.65
XXV-10	0	0.00	2	5.33	5	13.33
XXV-12	0	0.00	0	0.00	0	0.00

Tabla 6. Datos de abundancia relativa y conteo de cololitos en una pelotilla fecal.

	Nº	ni/N
<i>E. hux</i>	23	0.23
<i>G. oce</i>	66	0.66
<i>F. prof</i>	7	0.07
<i>Syracos</i>	3	0.03
<i>Helicosphaera</i>	1	0.01

Tabla 7. Flujo de minerales (minerales m⁻² d⁻¹), de las 11 muestras correspondientes a sep. 2011 a sep. 2012.

abertura	cierre	muestra	# mineral	días	factor split	área observada m ²	área filtrada m ²	apertura de trampa m ²	flujo
17-sep-11	16-oct-11	XXV-1	59	30	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	10.71
17-oct-11	16-nov-11	XXV-2	57	31	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	10.01
17-nov-11	16-dic-11	XXV-3	83	30	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	15.06
17-dic-11	16-ene-12	XXV-4	155	31	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	27.22
17-ene-12	16-feb-12	XXV-5	37	31	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	6.50
17-feb-12	16-mar-12	XXV-6	38	29	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	7.13
17-mar-12	16-abr-12	XXV-7	1	31	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	0.18
17-abr-12	16-may-12	XXV-8	39	30	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	7.08
17-may-12	16-jun-12	XXV-9	29	31	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	5.09
17-jun-12	16-jul-12	XXV-10	10	30	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	1.81
17-ago-12	16-sep-12	XXV-12	44	31	4500	6.539E-06	9.89E-04	0.125	7.73

Tabla 8. Flujo de especies (individuos m⁻² d⁻¹), de las 11 muestras correspondientes a sep. 2011 a sep. 2012, utilizados para el análisis de funciones discriminantes.

muestra	presencia de masa de agua en CA	valor asignado "a priori" a las masas de agua							
			<i>G. bulloides</i>	<i>G. ruber</i>	<i>G. menardii</i>	<i>N. dutertrei</i>	<i>P. Obliqui.</i>	<i>E. huxleyi</i>	<i>G. oceanica</i>
XXV-1	ASE	1	96.00	213.33	80.00	13.33	0.00	501.83	513.6
XXV-2	ASE	1	443.87	374.19	64.52	20.65	72.26	82.73	298.4
XXV-3	ASE	1	221.33	125.33	165.33	8.00	45.33	24.32	104.9
XXV-4	AGC/ASE	3	268.39	49.03	49.03	23.23	0.00	39.69	198.8
XXV-5	AGC	2	670.97	110.97	10.32	136.77	0.00	3.51	13.0
XXV-6	AGC	2	902.07	11.03	11.03	121.38	0.00	6.38	12.6
XXV-7	AGC	2	1468.39	154.84	20.65	312.26	0.00	22.48	48.3
XXV-8	AGC	2	568.00	61.33	10.67	186.67	0.00	19.60	23.0
XXV-9	ASE/AGC	3	245.16	25.81	5.16	72.26	0.00	1.23	1.1
XXV-10	ASE	1	18.67	0.00	0.00	10.67	0.00	0.54	0.2
XXV-12	ASE	1	10.32	0.00	0.00	10.32	0.00	1.05	1.1

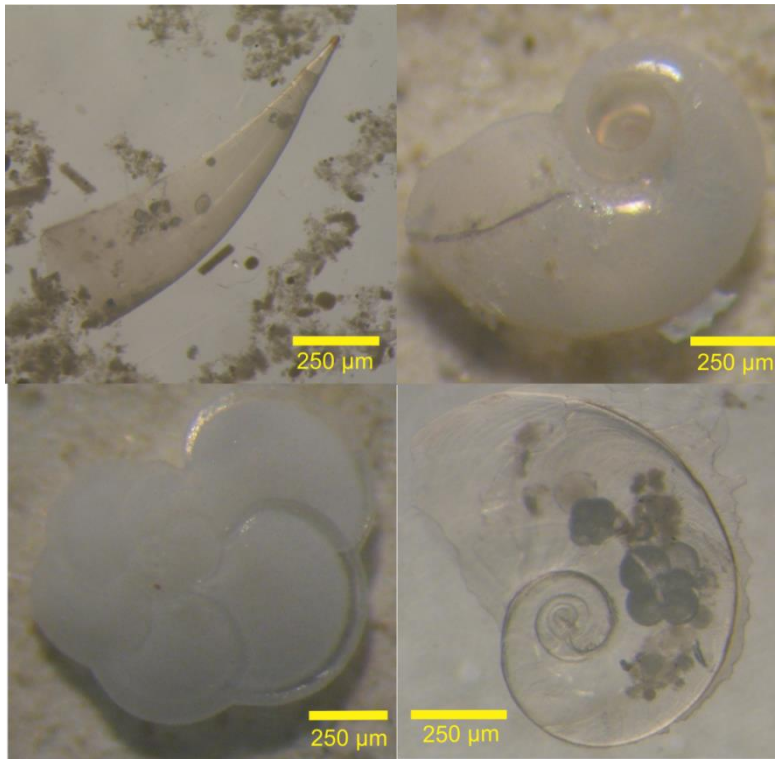


Figura 1. Organismos calcáreos (pterópodos (*Clio* y *Limacina* spp.), testa de *G. menardii* y heterópodo con testas dentro de la concha), retenidos en la malla de 1 mm.

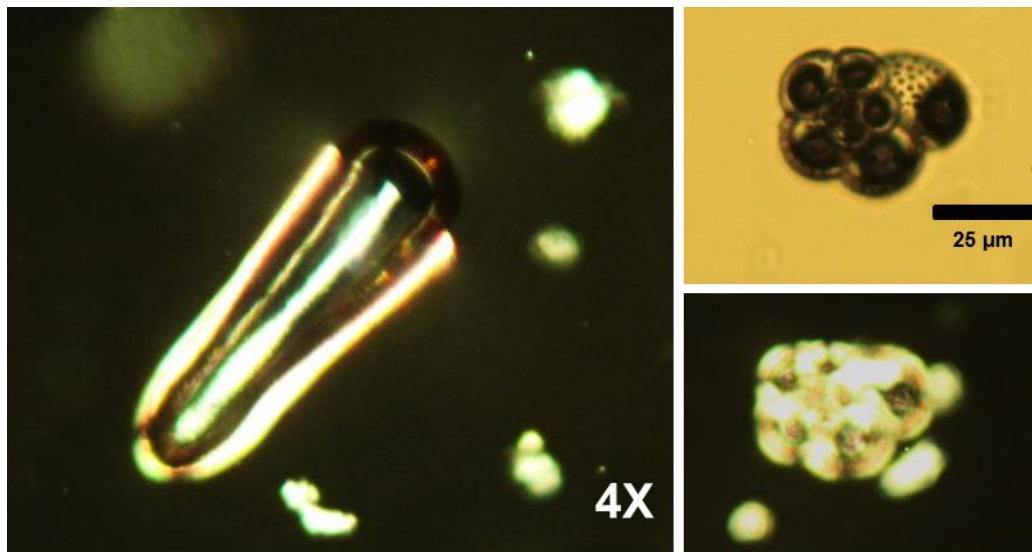
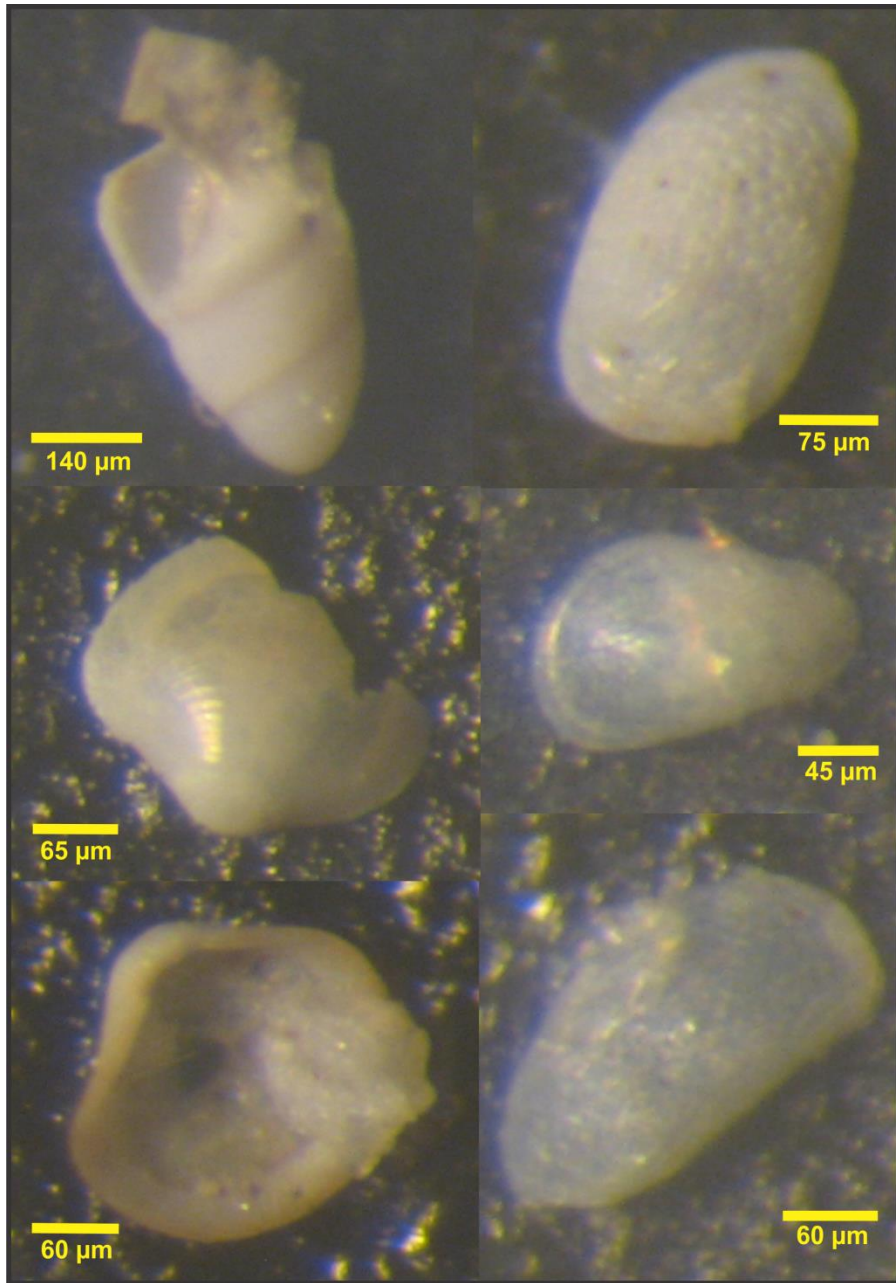
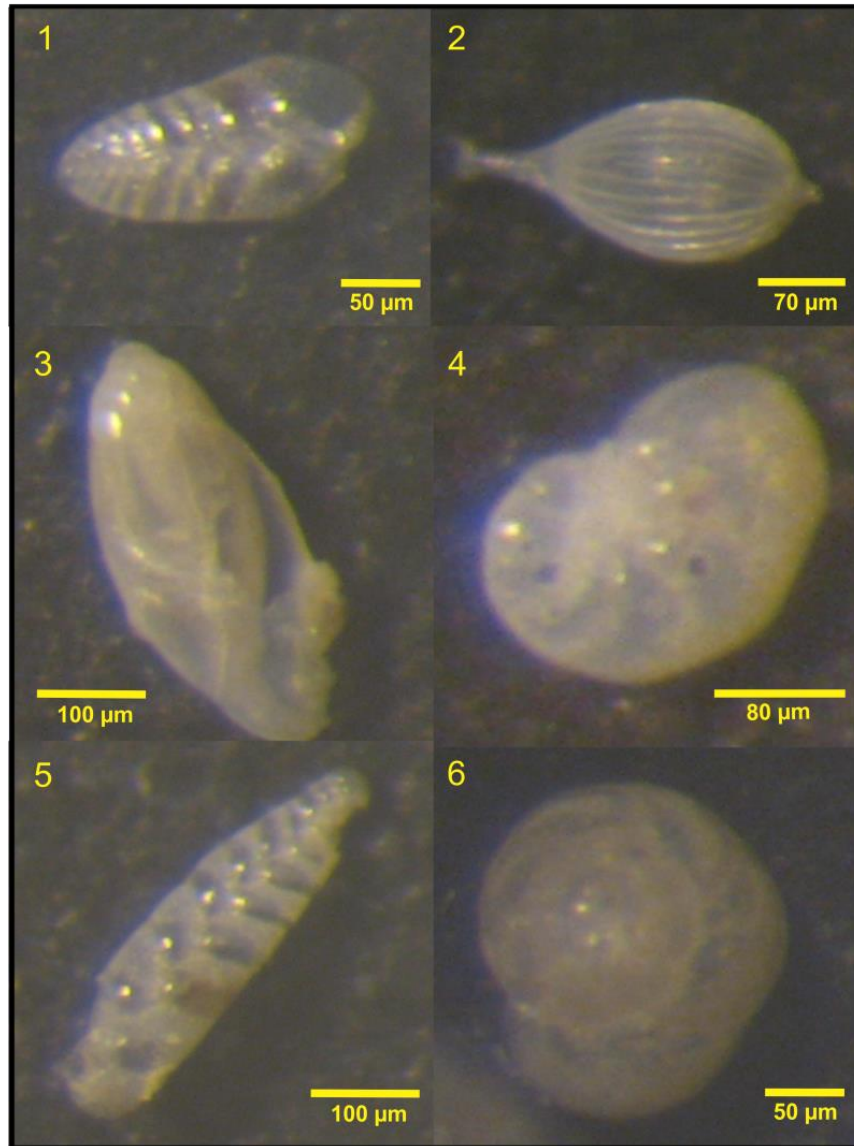


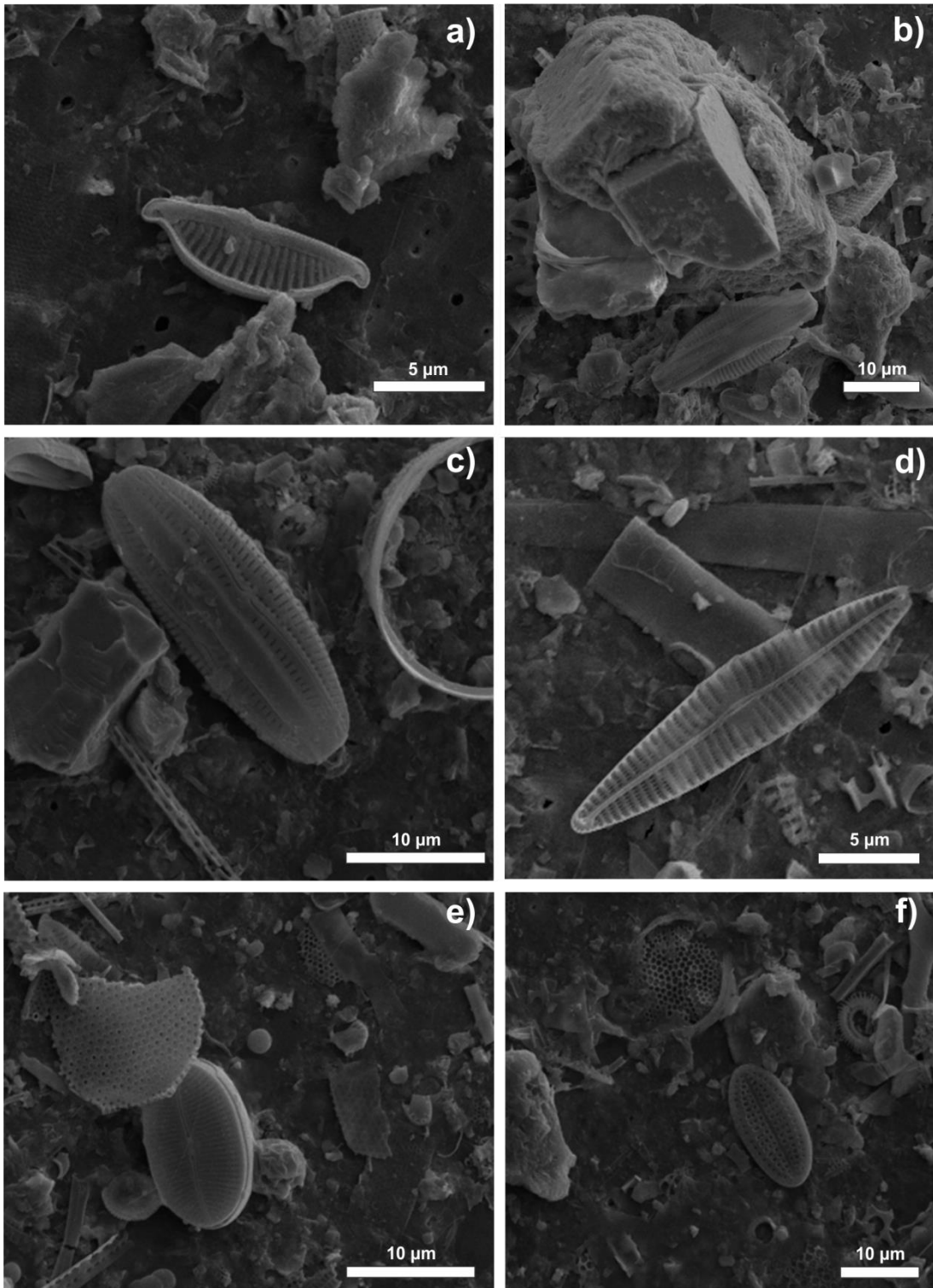
Figura 2. Testas y restos de organismos calcáreos como pterópodos dentro de la fracción menor a 63 µm.



Lamina 1). Ostrácodos y micromoluscos identificados en las muestras.



Lamina 2). 1. *Bolivina* spp., 2. *Lagena* spp., 3. *Quinqueloculina*? 4. *Nonionella* spp., 5. *Bolivina seminuda*, 6. *Trichohyalus*?



Lamina 3. a) *Amphora wissei*, b) *Amphora coffeaeformis*, c) *Amphora proteus contigua*, d) *Navicula* sp., e) *Fallacia oculata* y f) *Cocconeis* sp.