



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
CIENCIAS MARINAS**

DEPARTAMENTO DE PLANCTON Y ECOLOGÍA MARINA

**PRIMERAS OBSERVACIONES DE LA NATURALEZA DE
PARTICULAS EN SEDIMENTACIÓN EN EL GOLFO DE SAN
LORENZO (Canadá)**

T E S I S

Que como requisito para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS

Presenta:

M. en C. NANCY ROMERO IBARRA

LA PAZ, B. C. S.

Noviembre 2005.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Tabla de contenido	2
Lista de Tablas	4
Lista de Figuras	5
Resumen	8
Abstract	9
Capítulo I: INTRODUCCIÓN GENERAL	10
1.1 Ciclo global de carbono marino	11
1.2. Antecedentes y justificación	17
1.3 Objetivo General	20
1.4 Hipótesis	20
Capítulo II: NATURALEZA DE LAS PARTÍCULAS	21
2.1 Introducción	22
2.2 Metodología	23
2.2.1 Colocación de trampas de sedimento	23
2.2.2 Recuperación de muestras, sub-muestreo y otros procedimientos a bordo del barco	26
2.2.3 Análisis microscópico	28
2.3. Resultados	30
2.3.1 Flujos verticales y contenido de material orgánica del material particulado en sedimentación	30
2.3.2. Caracterización microscópica del material de las trampas	34
2.3.3 Abundancia de las diferentes clases de partículas: numérica	43
2.3.4 Abundancia de las diferentes clases de partículas: área de superficie	50
2.3.5 Abundancia de las diferentes clases de partículas: patrones temporales	53

2.4. Discusión	54
2.4.1 Confiabilidad de la mediciones de las trampas	54
2.4.2 Composición del material en sedimentación	56
2.4.3 Factores que influncian variaciones en la composición del material particulado en sedimentación	57
Capítulo III :VECTORES DE TRANSPORTE DEL CARBONO	66
3. La contribución de varios tipos de partículas en hundimiento al flujo de carbono orgánico en el Golfo de San Lorenzo (GSL)	67
3.1 Introducción	67
3.2 Metodología	69
3.3 Resultados	74
3.3.1 Flujos absolutos atribuidos a los componentes medido del material en sedimentación	74
3.3.2 Contribuciones relativas de los componentes del flujo	76
3.4 Discusión	81
3.4.1 Flujos absolutos de carbono	85
3.4.2 Contribuciones relativas de carbono atribuido a los componentes del flujo	85
3.4.3 Importancia de la contribución de carbono heterotrófico	90
3.4.4 Nieve marina y otras incertidumbres	90
3.4.5 Importancia de la contribución de nieve marina	94
Capítulo IV DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES	98
4.1 Discusión y comentarios generales	99
4.2 Sumario y conclusiones generales	104
Glosario	106
Bibliografía	109
Anexo	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Reproducibilidad de la técnica utilizada para estimar la abundancia relativa de la nieve marina a partir del diagrama de cobertura de porcentajes de Terry y Chilingar (1955).	30
Tabla 2. Resumen de flujos de trampas de libre deriva.	31
Tabla 3. Componentes de la materia orgánica del flujo vertical.	32
Tabla 4. Abundancia de varios organismos cuantificados e identificados en la fracción > 1 mm (“nadadores”).	38
Tabla 5. Flujos numéricos de varias regiones del océano mundial.	46
Tabla 6. Fórmulas para estimar el volumen de diferentes clases de partículas y respectivas ecuaciones para cálculos de carbono.	71
Tabla 7. Contribución en carbono aplicando las ecuaciones de Menden-Deuer y Lessard (2000) y las ecuaciones de Strathmann (1967) modificadas por Silver y Gowing (1991).	72
Tabla 8. Flujos absolutos de carbono orgánico ($\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$).	77
Tabla 9. Estimación de la contribución en carbono de la nieve marina.	79
Tabla 10. Diversos factores de conversión carbono/ volumen utilizados en la literatura para pelotillas fecales. Incertidumbre en la estimación de la nieve marina.	93
Tabla 11. Incertidumbre en la estimación de la nieve marina.	96
Tabla 1. ANEXO. Tabla 1. Comparación de los resultados de diferentes clases de partículas provenientes de muestras del Golfo de San Lorenzo y separadas por su velocidad de sedimentación (experimento), con los valores de las mismas muestras, estimados en el trabajo de tesis (carbono asignado a clases específicas de partículas medidas al microscopio). Se muestran: sus pesos secos expresados en μg ; sus contenidos de carbono en $\mu\text{g C}$; las fracciones que representan del peso total de la muestra; carbono total y carbono orgánico de varios tipos de partículas. (P= trampa pequeña; G= trampa grande).	133

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización de los sitios de colocación de trampas de sedimento en el área de estudio. St.1 Giro de Anticostí (Mont-Louis); St. 2 Pasaje de Jaques Cartier; St. 3 Estrecho Cabot; St. 4 Plataforma Magdalena; St.5 Canal Miscou; St.6 Canal Esquiman; St. B. Cuenca Esmeralda y St. S Plataforma de Nueva Escocia.	24
Figura 2. Trampas de sedimento utilizadas en este estudio. Trampas de libre deriva colocadas por 24 hrs. a) trampa grande modelo “Riki.Tiki”y b) trampa pequeña- (fabricación manual). c) Trampa de serie de tiempo larga modelo PPS-3/3 colocada por cuatro meses y medio.	25
Figura 3. Comparación de flujos de masa obtenidos de trampas pequeñas, de trampas grandes, de cilindros de trampas pequeñas montados sobre la estructura de la trampa grande y de una segunda trampa pequeña (2sb) colocada 24h después en la misma localidad (St. 2).	34
Figura 4. Flujos de masa y carbono total, contenido de carbono (% de peso seco) y razón C/N (peso seco) para la serie de tiempo de la trampa Technicap colocada en la St.1 en el Giro de Anticosti por 4 meses y medio entre noviembre 1994 y marzo 1995.	35
Figura 5. Flujos de masa y carbono total, contenido de carbono (% de peso seco) y razón C/N (peso seco) para la serie de tiempo de la trampa Technicap desplegada en Cuenca Esmeralda por 4 meses y medio desde mediados de mayo hasta septiembre de 1993. Note los bajos flujos (en todas las muestras salvo la primera) y los contenidos más altos de carbón en éste sitio comparado con los del Giro de Anticosti.	36
Figura 6. Fotografías del material de trampa de sedimento. (a) y (b) ejemplos de material fresco recolectado. Note los largos y dispersos parches de nieve marina, pelotillas fecales intactas y copépodos “nadadores”. (c) después del tratamiento de la muestra, la nieve marina esta principalmente dispersa y las pelotillas fecales fragmentadas.	39
Figura 7. Fotografías de varios tipos de pelotillas fecales observadas al microscopio invertido utilizando material fijado de este estudio: (a) cilíndricas compactas; (b) cilíndricas no compactas; (c) ovals compactas y d) cilíndricas pequeñas no compactas.	41
Figura 8. Partículas zooplanctónicas: microzooplancton moluscos (a) y (b); (c) larva de crustáceo (copépodo); protozoarios tintínidos comunes: (d) <i>Parafavella</i> ; (e) <i>Tintinopsis</i> ; (f) <i>Stenosemella</i> . Polen (partícula no zooplanctónica).	43
Figura 9. Contribución de diferentes tipos de partículas al flujo numérico total en las trampas grandes y chicas.	45
Figura 10. Muestras “no florecimiento” de 1993. Abundancia relativa, en términos de	47

<p>sus flujos numéricos de varias clases de partículas de fitoplancton, pelotillas fecales y zooplancton. Notar el incremento en la contribución de las partículas fecales y zooplanctónicas al flujo numérico total y la importancia de los dinoflagelados al flujo fitoplanctónico. En el eje de las abcisas las mayúsculas corresponden a las trampas grandes y las minúsculas a las trampas pequeñas.</p>	
<p>Figura 11. Florecimiento primaveral de abril 1994 y florecimiento de fines de otoño en la St. 5 en noviembre – diciembre de 1993. Abundancias relativas en términos de sus flujos numéricos de varias clases de partículas fitoplanctónicas, fecales y zooplanctónicas. Notar la dominancia de las células fitoplanctónicas, incluyendo numerosas formas penales. En el eje de las abcisas las mayúsculas corresponden a las trampas grandes y las minúsculas a las trampas pequeñas.</p>	48
<p>Fig. 12 Periodo de “post-florecimiento” de junio de 1994. Abundancia relativa, en términos de los flujos numéricos, de varias clases de partículas fitoplanctónicas, fecales y zooplanctónicas. Nótese los decrementos en la contribución del fitoplancton, particularmente de las diatomeas penales. En el eje de las abcisas las mayúsculas corresponden a las trampas grandes y las minúsculas a las trampas pequeñas.</p>	49
<p>Figura 13. La contribución de varias clases de pelotillas fecales al flujo numérico total fecal, como una función del diámetro de las heces. A = 20-40 μm; B = 50-79 μm; C = 80-109 μm; D = 110 -130 μm; E = 140 – 169 μm; y F = 170 – 199 μm. Nótese la fuerte contribución de heces con diámetros de la clase B y C, y la única aparición de cilíndricas pequeñas no compactas en noviembre-diciembre de 1993. (Nota: small = trampa pequeña; big = trampa grande).</p>	51
<p>Figura 14. La abundancia relativa expresada como la superficie del área total ocupada por las diferentes clases de partículas observadas bajo el microscopio. Las letras mayúsculas son usadas para referir las muestras tomadas con la trampa grande, mientras que las minúsculas son usadas para las muestras obtenidas con la trampa pequeña. Son excepciones la segunda muestra en la St. 2 en “ABRIL”, la cual es de hecho la otra muestra de la trampa pequeña tomada un día después y la muestra de St. 3 “junio” la cual proviene de la trampa grande.</p>	52
<p>Figura 15. Comparación de la abundancia numérica relativa de las diferentes clases de fitoplancton medidas en muestras de: botellas Niskin de la zona fótica; trampa pequeña a 50 m de profundidad; y trampa grande a 150 m de profundidad –(a) St.1 Giro de Anticosti; (b) St. 5 Canal Miscou. La fuerte semejanza de composición en conjunto del fitoplancton indica que no hay errores significativos en el hundimiento de diferentes clases de fitoplancton o selectividad por las trampas de sedimento.</p>	58
<p>Figura 16. Flujos absolutos de carbono atribuidos a las diferentes clases de partículas. a) Trampas grandes; b) trampas pequeñas.</p>	75
<p>Figura 17. Flujos promedio de COP en el Golfo de San Lorenzo (primeras dos barras) comparados con los flujos de COP de otras regiones reportados por otros</p>	78

autores.	
Figura 18. Contribución relativa de los componentes del flujo vertical del COP en a) trampas grandes y b) pequeñas.	80
Figura 19. Contribución relativa de carbono al flujo fotosintético total atribuida a sus principales componentes en el ciclo 1993-1994. En el eje de las abcisas al pie de cada barra, los números del 5-7 corresponden a los cruceros de 1993 (mayo-junio; julio y noviembre-diciembre) respectivamente. Los números del 8-9 corresponden a los cruceros de 1994 (abril y junio) respectivamente. El segundo número es la localidad, la letra “B”corresponde a las trampas grandes y la “s” a las trampas pequeñas.	82
Figura. 20. Contribución relativa de carbono al flujo total fecal atribuida a los cuatro tipos de pelotillas fecales durante el ciclo 1993. 1994. En el eje de las abcisas al pie de cada barra, los números del 5-7 corresponden a los cruceros de 1993 (mayo-junio; julio y noviembre-diciembre) respectivamente. Los números del 8-9 corresponden a los cruceros de 1994 (abril y junio) respectivamente. El segundo número es la localidad, la letra “B”corresponde a las trampas grandes y la “s” a las trampas pequeñas.	83
Figura. 21 Contribución relativa de carbono al flujo total zooplanctónico atribuida a sus principales componentes durante el ciclo 1993-1994. En el eje de las abcisas al pie de cada barra, los números del 5-7 corresponden a los cruceros de 1993 (mayo-junio; julio y noviembre-diciembre) respectivamente. Los números del 8-9 corresponden a los cruceros de 1994 (abril y junio) respectivamente. El segundo número es la localidad, la letra “B”corresponde a las trampas grandes y la “s” a las trampas pequeñas.	84
Figura 22. Contenido de carbono atribuido a dinoflagelados autótrofos y heterótrofos en a) trampas grandes y b) pequeñas.	89

Resumen

Se presentan las primeras observaciones acerca de las partículas en sedimentación que forman parte del material exportado de la zona fótica en el Golfo de San Lorenzo (Canadá, GSL) obtenidas mediante trampas de sedimento, así como sus relaciones con las variaciones del régimen trófico. Las partículas fueron recolectadas en varios sitios y periodos del año durante muestreos de 24 horas con trampas de libre deriva de 0.03 m² y 0.5 m² (superficie de recolecta) a 50 y 150 m de profundidad. Los flujos de masa total variaron ampliamente (80-1500 mg/m²/d), así como los flujos de carbono (16-300 mgC/m²/d). Las trampas pequeñas recolectaron consistentemente más material (16-300 mgC/m²/d) que las grandes, sin importar la profundidad o el diseño de deriva. Adicionalmente se obtuvieron seis meses de datos de series de tiempo con una trampa de 0.125 m² anclada en dos localidades. En el Giro de Anticosti los flujos estimados de series de tiempo fueron consistentes con los obtenidos mediante las trampas de libre deriva (flujos promedios: 480 mg/m²/d; 39 mgC/m²/d peso seco) y con las tasas de acumulación de sedimento medidas independientemente. Los flujos numéricos del fitoplancton durante el florecimiento de abril-1994 correspondieron con los que se presentan en márgenes oceánicos moderadamente productivos y en regímenes oligotróficos. Los flujos numéricos de pelotillas fecales fueron siempre elevados y similares a los flujos de otros márgenes continentales. La composición del material recolectado por las trampas, pequeña y grande, fue un buen indicador del cambio de régimen trófico en la columna de agua. Las abundancias numéricas sugieren claramente tres distintos periodos: un periodo de “florecimiento” (representado por las muestras de abril de 1994, pero que incluyó un florecimiento más débil de fines de otoño en un valle de plataforma), donde una variedad de diatomeas pennales y centrales constituyó 70-95% del flujo numérico; un segundo periodo de transición o “post-florecimiento” (junio 1994), durante el cual el fitoplancton fue menos abundante, las formas pennales fueron más escasas y una sola especie dominó las diatomeas centrales; y un periodo final de “no-florecimiento” (mayo a dic., 1993) a lo largo del cual las pelotillas fecales y el micro zooplancton presentaron mayores flujos numéricos que las células fitoplanctónicas, incluyendo abundantes dinoflagelados. Las series de tiempo de la trampa del Giro de Anticosti presentaron sedimentación continua de grandes partículas a través del invierno, con flujos totales de masa y carbono similares a los flujos de los periodos libres de hielo. Las pelotillas fecales más frecuentes fueron las compactas y las no compactas de 50-109 µm de diámetro, producidas por copépodos calanoideos dominantes. Las pelotillas ovales presentaron un intervalo amplio de diámetros, sugiriendo múltiples orígenes en el zooplancton. Se analizó en el material de 32 trampas de libre deriva para determinar el carbono orgánico particulado (COP) y la contribución de carbono de los diferentes tipos de partículas. El intervalo promedio de los flujos absolutos del COP fue (42-149 mg C m⁻² d⁻¹ en las trampas grandes y pequeñas respectivamente), los flujos de C atribuido a las pelotillas fecales (6 -60 mg C m⁻² d⁻¹) y los flujos de C atribuidos al fitoplancton (3.2- 42.9 mg C m⁻² d⁻¹) estuvieron todos en el mismo intervalo que los encontrados en regiones de productividad moderada. Las pelotillas fecales fueron el principal componente de este flujo, con una contribución importante del microzooplancton particularmente durante el verano de 1994. La contribución del fitoplancton al flujo del COP fue ligeramente menor que la de pelotillas fecales. La identificación de grupos de microalgas que fueron parte de este flujo, confirman la presencia de los tres regímenes tróficos ya identificados en estudios de la columna de agua y por flujos numéricos en este mismo estudio señalados arriba. No obstante que la contribución de la nieve marina fue estimada, su importancia real en el flujo vertical del COP permanece incierta. La mayor parte del material en sedimentación producido por la cadena trófica pelágica en el GSL parece ser de origen zooplanctónico. Gran parte del material orgánico producido fotosintéticamente, debió haber sido transformado por los heterótrofos antes de escaparse de las aguas intermediarias y de superficie. El flujo vertical de C reconocible fue dominado por componentes de origen animal.

Abstract

Sediment trap samples have provided the first direct observations of the sinking particles that account for the export of material out of the photic zone in the Gulf of St. Lawrence and their relationship to variations in the trophic regime. Particles were collected at several sites over 24-hour periods using 0.03m² (collecting surface) and 0.5 m² free-drifting sediment traps at 50 and 150 m. Total mass flux varied widely (80-1500 mg/m²/d), as did carbon flux (16-300 mgC/m²/d). Small cylinders consistently over sampled with respect to big cylinders, regardless of depth or drifter design. Also, 6-month time-series were obtained with a moored, 0.125 m² trap at two sites. In the Anticosti Gyre, time-series fluxes were consistent with those obtained from the big drifting trap (means: 480 mg dry wt/m²/d; 39 mgC/m²/d), and with independently measured sediment accumulation rates. Numeric fluxes of phytoplankton cells were similar to moderately productive ocean margins during the April 1994 bloom, but otherwise resembled those from oligotrophic regimes. Fecal pellet numeric fluxes, in contrast, were always high, similar to other continental margins. The composition of the material collected by the small and big traps is a good indicator of the changing trophic regime in the water column. Relative numeric abundances suggest three distinctly different periods. A “bloom” period (represented by April 1994, but including a weaker late-fall bloom over a shelf valley), when a variety of centric and pennate diatom cells made up 70-95% of the particle numbers; a transitional or “post-bloom” period (June 1994), when phytoplankton were less abundant, pennate forms were scarce and a single species dominated the centric diatoms; and a “non-bloom” period (May to Dec., 1993) when fecal pellets and micro zooplankton accounted for greater numbers than the phytoplankton cells, including abundant dinoflagellates. The time-series Anticosti Gyre trap showed continued large-particle settling throughout the winter with total mass and carbon fluxes similar to the ice-free seasons. The most frequent fecal pellets were 50-109 µm diameter compact and loose rods, produced by the dominant calanoid copepods. Large macro zooplankton fecal pellets occurred only sporadically. Many pellets <49 µm were collected in December 1993, probably produced by *Microcalanus*, which was unusually abundant at this time. Oval pellets occurred over a broad range of diameters, suggesting multiple origins. The particulate organic carbon (POC) and the C contribution of the different types of particles have been analyzed for free-drifting sediment traps. Two trap models only were used in 1993-1994: small traps at 50 m and larger traps at 50 and 150 m. Absolute mean fluxes of POC (42 – 149 mg C m⁻² d⁻¹ on the big and small traps respectively), of C attributed to fecal pellets (6 -60 mg C m⁻² d⁻¹) and of C attributed to phytoplankton (3.2– 42.9 mg C m⁻² d⁻¹) were all in the same range as those encountered in regions of moderate productivity. Fecal pellets were the major component of this flux, with an important contribution of micro zooplankton, particularly during the summer of 1994. Although the contribution of phytoplankton to the flux of POC was quite low, the identification of algal groups which are part of this flux confirmed the presence of the three trophic regimes already identified from water column studies and from the numeric fluxes in this study: (1) a “bloom” period, (2) “non-bloom” period and (3) a transition “post-bloom period during. Although the contribution of marine snow was estimated, its real importance in the vertical flux of POC remains uncertain. The bulk of the settling material produced by the pelagic food web in the Gulf appears to be of zooplanktonic origin (mainly fecal pellets and abundant micro zooplankton). Diatom frustules were the most frequently encountered particles, numerically, but phytoplankton rarely made up more than 35% of the 2D projected area of all particles. Much of the organic matter produced photo synthetically must thus be transformed by heterotrophs before escaping from the surface and intermediate waters in this region. The vertical flux of C attributable at the GSL is dominated by components of animal origin.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

I. Introducción General

1.1. Ciclo global de carbono marino

El ciclo global del carbono es uno de los ciclos biogeoquímicos más importantes en el sistema Tierra porque vincula las formas inorgánicas más básicas del carbono con sus formas más complejas en los organismos vivientes. Este ciclo ha sido objeto de estudio desde hace tiempo. No obstante, no fue sino hasta finales de la década de los 1950 cuando Keeling y Whorf (2005; <http://cdiac.esd.ornl.gov/trend/CO2/sio-mlo.htm>)¹ basándose en mediciones tomadas en el observatorio situado en la cumbre del volcán Mauna-Loa, llamaron la atención de la comunidad mundial, la que comenzó a darse cuenta del rápido incremento del CO₂ atmosférico. El estudio de este ciclo ha llamado la atención mundial, ya que el CO₂ es el principal gas con efecto de invernadero y su aumento tiene consecuencias climatológicas potenciales en el calentamiento global y en el futuro de la población mundial.

Berger (1992) mostró una fuerte correlación entre el incremento del CO₂ atmosférico y el aumento de la población humana entre 1880-1990. El aumento del CO₂ en la atmósfera debido a actividades antropogénicas representa sólo uno de los factores que afectan este ciclo global. Sin embargo, el incremento atmosférico sirvió para alertar a la comunidad científica mundial de la grave falta de conocimientos acerca del ciclo global del carbono. Aún las nociones básicas tales como la magnitud de los reservorios, los flujos de carbono entre los sistemas Atmósfera-Océano-Tierra y los procesos fundamentales del ciclo del carbono son pobremente comprendidos.

En respuesta a la preocupación suscitada por las predicciones sobre el calentamiento global que pudieran ocurrir, los gobiernos de los países industrializados han financiado varios programas internacionales para investigar el ciclo global de carbono en la Tierra (Sistemas: Atmósfera- Océano-Tierra). Algunos de estos programas internacionales enfocaron sus esfuerzos

¹ (última consulta 6 de septiembre del 2005).

al estudio del ciclo del carbono en el medio marino. Su principal propósito fue comprender los procesos primarios que controlan la forma, distribución de los reservorios y flujos del carbono oceánico, integrando al mismo tiempo los efectos de las actividades humanas. Algunos de estos programas ya han concluido, mientras que otros continúan bajo diferentes nombres y con objetivos específicos, aunque siempre enfocados al ciclo del carbono en el medio marino. Algunos de éstos son los siguientes:

1) Programa del ambiente marino del Pacífico, Laboratorio-Dióxido de Carbono “PMEL CO₂” y el Laboratorio Oceanográfico y Meteorológico del Atlántico “AOML-GCC”, ambos pertenecientes a una sección de la Administración Nacional de Estados Unidos del Océano y la Atmósfera “NOAA”

2) Programa internacional Geosfera-Biosfera que han generado amplia y valiosa información. Estos programas incluyen sub-programas importantes para la recolección de datos en el Atlántico, el estudio de series de tiempo Bermuda “BATs”; en el Pacífico, las series de tiempo Hawaii Océano “HOTs” y en el Antártico el estudio del Ambiente Antártico y Procesos en el Océano del Sur “AESOPS”.

3) El proyecto europeo: Red Atlántica de trabajo de anclajes multidisciplinarios en Europa “ANIMATE”.

4) El proyecto de América del Sur: Retención de Carbono en un océano coloreado “CARIACO”.

El programa US (JGOFS) se inició en 1987 con el objetivo principal de comprender los procesos que controlan el ciclo del carbono y elementos asociados en el océano. Ha sido una de las más ambiciosas investigaciones oceánicas bio-geoquímicas llevadas a cabo en las últimas décadas y ha incluido investigadores de más de 20 países. El proyecto de investigación de esta tesis se ubica en el contexto particular del subprograma CJGOFS y del ciclo del carbono oceánico.

De acuerdo a Bice (2001; <http://www.geos.psu.edu/~dbice/DavesSTELLA/carbon/carbon-intro.htm>)², si consideramos el ciclo del carbono en un estado estable y tomando en cuenta las

²(última consulta 6 de septiembre del 2005).

mediciones hechas justo antes de la revolución industrial, los mayores flujos de carbono en el medio marino incluyen:

- 1) La absorción del CO₂ por el reservorio de aguas frías superficiales (90 GtC m²/año).
- 2) La liberación de CO₂ del reservorio de aguas cálidas superficiales (90 GtC m²/año).
- 3) El hundimiento de carbono hacia el océano profundo y su transporte de regreso hacia el ecuador a través de formación de aguas frías de superficie cerca de los polos (96.2 GtC m²/año).
- 4) El transporte vertical de carbono desde las aguas profundas hacia la superficie principalmente por surgencias (105. 2 GtC /m²/año).

Mientras que los flujos menores incluyen:

- 5) El transporte hacia abajo de carbono por la bomba biológica, p. e. el hundimiento de carbono particulado aportado por las actividades de la biota de aguas frías (4 GtC m²/año) y la de aguas cálidas (6 GtC m²/año) ~ (10 GtC /m²/año).
- 6) El transporte horizontal por advección, que mueve aguas cálidas de superficie y carbono hacia regiones polares (10 GtC /m²/año).
- 7) La sedimentación del carbono sobre el piso marino y posterior almacenamiento en rocas sedimentarias (0.6 GtC /m²/año).

Los mayores reservorios de carbono son los depósitos sedimentarios (1x10⁶ Gt C y el océano profundo 38,000 Gt C).

No es posible aquí hacer un seguimiento de los cambios históricos de las variaciones de los flujos de carbono en el medio marino para demostrar tendencias o patrones desde la revolución industrial hasta nuestros días. Sin embargo, recientes observaciones e importantes resultados producidos por el programa internacional JGOFS en relación a los procesos que controlan el ciclo del carbono marino, se presentan en el reporte final (USJOFS) Buesseler *et al.* (2001;

http://usjgofs.whoi.edu/images/jgofs_brochure.pff)³. Este reporte se derivó de los resultados de numerosas investigaciones multidisciplinarias, incluyendo información de trampas de series de tiempo larga. Estos últimos proporcionaron monitoreos de variaciones estacionales, interanuales y decadales en muchas propiedades oceánicas y componentes del ciclo del carbono. Las bases de datos más extensas desde 1988, fueron las obtenidas en la estación de Bermuda “BATs (Deuser y Ross, 1980; Deuser *et al.*, 1981; Michael *et al.*, 1994; Bates *et al.*, 1996; Conte *et al.*, 2001; Steinberg *et al.*, 2001; Bates *et al.*, 2002; Gruber *et al.*, 2002) y para el sitio ALHOA cerca de Hawaii “HOTs” (Chiswell *et al.*, 1996; Bingham y Lukas, 1996; Lukas *et al.*, 2001; Cortés *et al.*, 2001).

Uno de los principales resultados presentados en el reporte US-JGOFS Buesseler *et al.*, (2001; http://usjgofs.whoi.edu/images/jgofs_brochure.pff)³ es el hallazgo de un incremento similar de CO₂ en las aguas de superficie de las estaciones de Bermuda y Hawai, paralelo al incremento exponencial del CO₂ medido desde 1958 en Mauna-Loa.

En relación con la tasa de intercambio atmósfera-océano, el reporte final de JGOFS muestra una variabilidad interanual importante en la cantidad de CO₂ liberado en el Pacífico Ecuatorial entre 1955 y 1998. Durante las condiciones de El Niño (vientos débiles y reducción de surgencias) hubo una reducción de más del 75% (desde 0.9 a 2.0 billones de toneladas métricas de carbono por año) del CO₂ que se libera desde las aguas de superficie hacia la atmósfera (Inoue y Sugimura, 1992; Feely *et al.*, 1997; Boutin y Etcheto, 1997; Feely *et al.*, 1999). Durante años normales, las surgencias fueron particularmente intensas en el Pacífico Central y Este, contribuyendo a la liberación de 4 veces más de CO₂ hacia la atmósfera por año que todas las otras regiones ecuatoriales combinadas. Otro punto importante que mencionan Buesseler *et al.* (2001; http://usjgofs.whoi.edu/images/jgofs_brochure.pff)³ es que, gracias a los completos monitoreos y conjunto de datos de series de tiempo largas (BATs y HOTs), fue posible comparar los resultados con modelos nuevos y complejos que simulan el comportamiento de la

³(última consulta 6 de septiembre del 2005).

cadena trófica y el ambiente físico, lo cual ha representado un verdadero reto para los científicos. Por ejemplo, los cambios en los niveles de clorofila “a” a diferentes profundidades en la estación de Bermuda, marcan el comienzo y final de los períodos de florecimiento. Los mismos resultados fueron obtenidos a partir de una simulación del modelo que representa con precisión el patrón anual de los florecimientos del fitoplancton a ese sitio (Lima y Doney, 2004).

Buesseler *et al.* (2001; http://usjgofs.whoi.edu/images/jgofs_brochure.pff)³ también muestran los resultados de un modelo oceánico global, el cual predice el calentamiento en la temperatura de superficie oceánica al final de esta centuria si el CO₂ continúa en aumento. El calentamiento atmosférico también calienta la superficie marina. Los cambios en la temperatura predichos en este modelo pudieran afectar la solubilidad del CO₂ en el agua oceánica. Además, cambios en la temperatura y sistema de vientos pudieran alterar la circulación oceánica y patrones de surgencias que aportan los nutrientes a la superficie. Estos cambios podrían afectar la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas oceánicos y a su vez las vías por las cuales opera la bomba biológica en diferentes regiones oceánicas. Cambios en la capacidad del océano para absorber y almacenar carbono, podrían a su vez afectar la acumulación del CO₂ en la atmósfera.

Ya que la mayor parte del carbono oceánico es almacenado en aguas profundas (1x10⁶ Gt C) Bice *et al.* (2001; <http://www.geos.psu.edu/~dbice/DavesSTELLA/carbon/carbon-intro.htm>)², varias preguntas importantes concernientes al ciclo global del carbono, necesitan ser contestadas: - ¿Qué tan rápido se transfiere el carbono desde la atmósfera hasta el océano profundo?, -¿en qué forma se transfiere? - ¿Qué procesos están involucrados? Buesseler *et al.* (2001; http://usjgofs.whoi.edu/images/jgofs_brochure.pff)³ mencionan que uno de estos procesos o rutas que mueven el carbono hacia las profundidades oceánicas es mediante la rápida exportación vertical de partículas (-uno de los flujos de hundimiento de la bomba biológica-). Ésta se inicia con el fitoplancton, el cual constituye la base de la cadena trófica marina, utilizando el proceso fotosintético para convertir carbono inorgánico disuelto y nutrientes a las formas de material orgánico.

²(última consulta 6 de septiembre del 2005).

³(última consulta 6 de septiembre del 2005).

Tanto el fitoplancton como el zooplancton que se alimenta del primero, producen grandes partículas, sea por excreción, desprendimiento de mudas, hundimiento de sus propios cuerpos al morir, por migración vertical, o por varias formas de agregación de partículas. Estas partículas, que se hunden rápidamente a través de la columna de agua, transportan materia orgánica y mueven el carbono hacia el mar profundo. Durante los días o semanas en que esto ocurre, las partículas alcanzan el piso marino y mucha de la materia orgánica es descompuesta por bacterias, consumida por el zooplancton o por organismos que habitan las profundidades oceánicas.

Las investigaciones de JGOFS intentan comprender qué es lo que afecta la eficiencia de la bomba biológica, la cual en general es débil comparada con los procesos de transporte de carbono de mayor escala en el océano.

Buesseler *et al.* (2001; http://usjgofs.whoi.edu/images/jgofs_brochure.pff)³ indican que por cada 1000 átomos de carbono fijados por la producción primaria en la superficie del océano abierto, sólo 50 -100 átomos alcanzan los 100 m de profundidad y sólo 10 átomos son exportados por debajo de los 1000 m, donde el carbono es almacenado por milenios. De este carbono, únicamente 1 átomo es enterrado en los sedimentos, donde puede ser secuestrado por millones de años.

Desde 1989 Canadá comenzó a involucrarse en el programa JGOFS, con un plan basado en tres principales temas: a) intercambio gaseoso aire-mar, b) transformación y transporte de carbono en el océano y c) enterramiento de carbono en fondo de los sedimentos. Entre 1992-1995, el programa JGOFS identificó y caracterizó en general, para diversas regiones, oceánicas los principales procesos que controlan el ciclo de carbono oceánico. Esto fue llevado a cabo a través de observaciones y mediciones a gran escala en varias cuencas oceánicas (Pacífico Ecuatorial y Pacífico Norte subártico, Atlántico Central, Atlántico NW y Mar Árabe). Estos procesos también fueron identificados y caracterizados específicamente para el talud y la plataforma continental canadiense, incluyendo el Golfo de San Lorenzo (zona del presente estudio).

³(última consulta 6 de septiembre del 2005).

Se seleccionó la plataforma continental y el talud porque la proporción de la producción primaria exportada desde la zona fótica sobre los márgenes continentales es aproximadamente el 50% de la exportación total de la producción oceánica. Además, los márgenes continentales son sitios preferenciales para el depósito de material de origen terrestre, incluyendo materia orgánica Johnson y Nightingale (1994; <http://is.dal.ca/~7Ebjohnson/info.3htm>)⁴. Globalmente, más del 80% de la remineralización del material orgánico sedimentario y más del 80% del enterramiento de la materia orgánica se lleva a cabo a lo largo de los márgenes continentales Johnson y Nightingale, (1994; <http://is.dal.ca/~7Ebjohnson/info.3htm>)⁴.

Una de las vías por las cuales la producción primaria de la superficie oceánica es exportada hacia el océano profundo es como ya se ha mencionado, la bomba biológica. A pesar de que este mecanismo no involucra los mayores flujos de carbono, el hecho de que implique procesos físicos, químicos y biológicos a lo largo de la columna de agua, hace de ella un importante proceso del ciclo del carbono oceánico y también uno de los más complejos.

Relacionar cambios en el CO₂ atmosférico con la eficiencia de la bomba biológica requiere una detallada comprensión de los complejos mecanismos tróficos por los cuales el carbono es transformado en el océano, transportado, reciclado y finalmente secuestrado vía el enterramiento en los sedimentos del piso marino. La presente tesis fue desarrollada siguiendo esta línea de investigación.

1.2 Antecedentes y justificación

Más y más componentes y mecanismos relacionados con la exportación de carbono están continuamente siendo documentados. Noji *et al.* (1999) mencionan que estos mecanismos van desde la simple sedimentación de florecimientos primaverales no consumidos por herbívoros, hasta una cadena completa de procesos dependientes del sistema que incluyen, producción de pelotillas fecales por el zooplancton, así como la acumulación de carbono orgánico disuelto (COD) en aguas de superficie marina y su eventual hundimiento. Turner (2002) menciona que el

⁴(última consulta 6 de septiembre del 2005).

flujo vertical de pelotillas fecales, de nieve marina y del hundimiento del fitoplancton, son los componentes más importantes en la exportación vertical del carbono biogénico. El Dr. Sussumu Honjo después de años de trabajo con trampas de sedimento en el océano, resume que los componentes más frecuentes observados como pelotillas fecales y agregados así como grandes partículas individuales como diatomeas y foraminíferos, forman en conjunto la nieve marina y constituyen el flujo vertical de las partículas (Honjo, 1997).

Otros ejemplos de la literatura incluyen, grandes tallas del fitoplancton (Legendre y Le Fèvre, 1989), pelotillas fecales (Longhurst y Harrison, 1989; Noji, 1991; González *et al.*, 2000); organismos muertos, fragmentos duros del nano-, micro y meso zooplancton y sus excreciones (Longhurst y Harrison, 1989; Silver y Gowing, 1991; Prieto *et al.*, 2001); agregados de diatomeas (Alldredge *et al.*, 1988; Alldredge y Gotschalk, 1989; Riebesell, 1991, Alldredge *et al.*, 1993; Grossart *et al.*, 1997) y agregados de nieve marina (Alldredge y Gotschalk, 1990; Alldredge *et al.*, 1995; Alldredge, 1998) así como otras partículas de origen terrestre tales como granos minerales pequeños o polen (Romero *et al.*, 2000). La naturaleza de los vectores que dominan el flujo vertical de las partículas en sedimentación en el Golfo de San Lorenzo son presentados por vez primera en este estudio.

En general, el flujo vertical del COP aumenta con la producción primaria y disminuye con la profundidad en el océano, Martin *et al.* (1987). Tanto la importancia cuantitativa de este flujo como la composición de las partículas están principalmente determinadas por la estructura de la cadena trófica planctónica, además de la influencia de otros consumidores, tales como peces (p.e. Staresinic *et al.*, 1983).

En un sistema oligotrófico como el océano abierto (p. e. Mar de los Sargazos y el Pacífico Norte Central), los organismos de tallas pequeñas dominan la cadena trófica planctónica (Azam *et al.*, 1983; Fenchel, 1988; Fenchel, 2001). En este tipo de sistemas, la producción regenerada domina el crecimiento fitoplanctónico, utilizando el amoníaco (NH₄) excretado por los organismos como fuente principal de nitrógeno. En este caso se establece un sistema cerrado, conocido como el “bucle microbiano”. Los sistemas eutróficos, por otro lado, utilizan el nitrógeno inyectado desde abajo hacia el interior del sistema por las surgencias o por mezcla,

induciendo la producción “nueva” (Dugdale y Goering, 1967). Este tipo de producción es dominado por el fitoplancton de tallas grandes como diatomeas y por el mesozooplancton herbívoro que se alimenta sobre el primero. Los sistemas eutróficos son capaces de producir y exportar grandes partículas que se hundén rápidamente (Silver y Gowing, 1991; Legendre y Le Fèvre, 1989).

En el Golfo de San Lorenzo, no obstante, Rivkin *et al.* (1996) demostraron que esas condiciones (“no florecimiento”: producción regenerada y por lo tanto baja exportación de partículas y “florecimiento”: producción nueva y por lo tanto gran exportación de partículas) no siempre se cumplen, ya que se obtuvieron flujos similares de carbono (exportación de partículas) durante periodos de florecimiento y de no florecimiento. Los flujos elevados de carbono asociados con las pelotillas fecales aun durante condiciones sin florecimiento, indican que el sistema no estuvo cerrado y que el meso zooplancton estuvo alimentándose probablemente de ciliados micro zooplanctónicos. Esto indica la necesidad de obtener información detallada acerca de cómo cambia el régimen trófico durante el año.

La mayoría de los estudios sobre el hundimiento de partículas han sido realizados en el océano abierto e incluyen a menudo sólo algunos tipos de partículas. Aunque algunos estudios reportan la contribución de partículas específicas al flujo del COP (Honjo y Roman, 1978; Turner y Ferrante, 1979; Bruland y Silver, 1981; Fowler y Knauer, 1986; González, 1994 (a;b); Buck y Newton, 1995; Lundsgaard y Olesen, 1997, Turner, 2002) este tipo de información es rara y fragmentada, tanto para el océano abierto como para el margen continental. El estudio más completo que asignó contribuciones de carbón a todos los componentes del material recolectado en trampas fue el de Silver y Gowing (1991). El presente estudio fue desarrollado siguiendo esta línea de investigación, enfocada a la naturaleza de las partículas que están siendo exportadas verticalmente desde la zona fótica en el Golfo de San Lorenzo (GSL). Este mar marginal por sí solo es muy pequeño para tener una influencia significativa sobre el ciclo global del carbono. Sin embargo, los resultados que ya han sido obtenidos aquí pueden ser generalizados para otros sistemas costeros comparables (Silverberg *et al.*, 2000).

1.3 Objetivo General

Determinar la naturaleza de las partículas en sedimentación en el Golfo de San Lorenzo (Canadá) e identificar mecanismos que controlan su flujo vertical

1.4 Hipótesis

La composición de las muestras de trampas recolectadas en el Golfo de San Lorenzo reflejan los regímenes tróficos en la capa superficial de la columna de agua; de este modo el material en hundimiento cambia cuando las comunidades de superficie cambian.

CAPÍTULO II

NATURALEZA DE LAS PARTÍCULAS

2.1 Introducción

El rápido hundimiento del material particulado vincula la capa superficial con el fondo del océano. La llegada de fitoplancton relativamente fresco, de zooplancton y de detritus orgánico al piso marino, representa la principal fuente de energía y aporte de alimento para el bentos. La subsiguiente mineralización conduce a las transformaciones químicas dentro de los sedimentos durante la diagénesis temprana y el regreso de muchos nutrientes y otros productos metabólicos hacia la columna de agua. La transferencia hacia arriba de estos últimos determina, en parte, el sustento que eleva los niveles de productividad primaria en la zona fótica y a escalas moderadas de tiempo, esta “Producción Nueva” es balanceada por la pérdida de una cantidad equivalente de carbono particulado a través del hundimiento (Eppley y Peterson, 1979).

El detalle de los mecanismos involucrados en tales flujos verticales, la sincronía de los eventos físicos y biológicos y la dinámica de la cadena trófica tanto en la zona fótica; como en las capas más profundas están aún pobremente comprendidos y son el tema de muchas investigaciones (Smetacek *et al.*, 1978; Hargrave, 1985; Smetacek, 1985; Bodungen, 1986; Smith, 1987; Silver y Gowing, 1991; Michaels *et al.*, 1994; Miquel *et al.*, 1994).

Hay trabajos recientes que incluyen modelos de flujos, enfatizando la influencia de dinámicas tróficas sobre los flujos de carbono biogénico (Fasham *et al.*, 1990; Moloney y Field, 1991; Legendre y Rassoulzadegan, 1996). No obstante, este tipo de estudios requiere de un conocimiento combinado de flujos verticales y características de la columna de agua (físicas y biológicas), las cuales no están siempre disponibles.

El enfoque aquí presentado es un primer paso en esta dirección. Éste involucra un examen detallado de la composición del material de trampas de sedimento y su relación con la cadena trófica planctónica de la capa superior de la columna de agua, determinadas simultáneamente. La mayoría de los trabajos previos sobre cuantificación microscópica de partículas de trampas de sedimento se han centrado sobre un número limitado de componentes individuales del material en sedimentación y, aparte del estudio de Silver y Gowing (1991), poca información se halla

Este capítulo está publicado en: Romero, N., Silverberg, N., Roy, S., Lovejoy, C. 2000. Sediment trap observation from the Gulf of St. Lawrence and the continental margin of eastern Canada. *Deep-Sea Research II* (47): 545-583.

disponible sobre el grueso del material total capturado por las trampas. Urrère y Knauer (1981) concentran su trabajo únicamente sobre el material fecal, citando la extrema dificultad de cuantificar las muestras enteras en la presencia de nieve marina. Bathmann *et al.* (1990), presentan sus resultados sobre la abundancia relativa, conteos microscópicos del número de individuos para seis grupos taxonómicos, y tres clases de pelotas fecales durante un ciclo anual, pero no incluyen la nieve marina. En este estudio, se consideró todo el material de las trampas.

La estimación cuantitativa de los flujos verticales de ambos, ya sea carbono particulado o de un tipo particular de material biogénico que compone este flujo, es complicado por varios problemas metodológicos, incluyendo el diseño de las trampas y la exclusión del material en las mismas trampas que no se considera parte de los flujos verticales (los “nadadores”). En el presente trabajo se examinaron estos aspectos para tratar de evaluar la confiabilidad de nuestras mediciones, las primeras disponibles para la plataforma continental del este Canadiense y del Golfo de San Lorenzo.

2.2 Metodología

2.2.1. Colocación de las trampas de sedimento

Tres trampas fueron usadas en este estudio. 1) una trampa grande de libre deriva (referida de aquí en adelante como “trampa grande”); 2) una trampa pequeña y simple también de libre deriva (nombrada de aquí en adelante “trampa pequeña”) y 3) una trampa-anclaje de 12 copos recolectores (“trampa de series de tiempo”). La localización del área de estudio y los sitios donde fueron colocadas las trampas se muestra en la fig. 1. Las tres trampas utilizadas se muestran en la fig. 2.

El instrumento de series de tiempo fue una trampa de sedimento “Technicap”, modelo PPS-3/3, en forma de cilindro (con un cono basal oculto a 60 °). Con ligeras diferencias a la profundidad en que fueron instaladas en los sitios del Giro de Anticosti y en Cuenca Esmeralda,

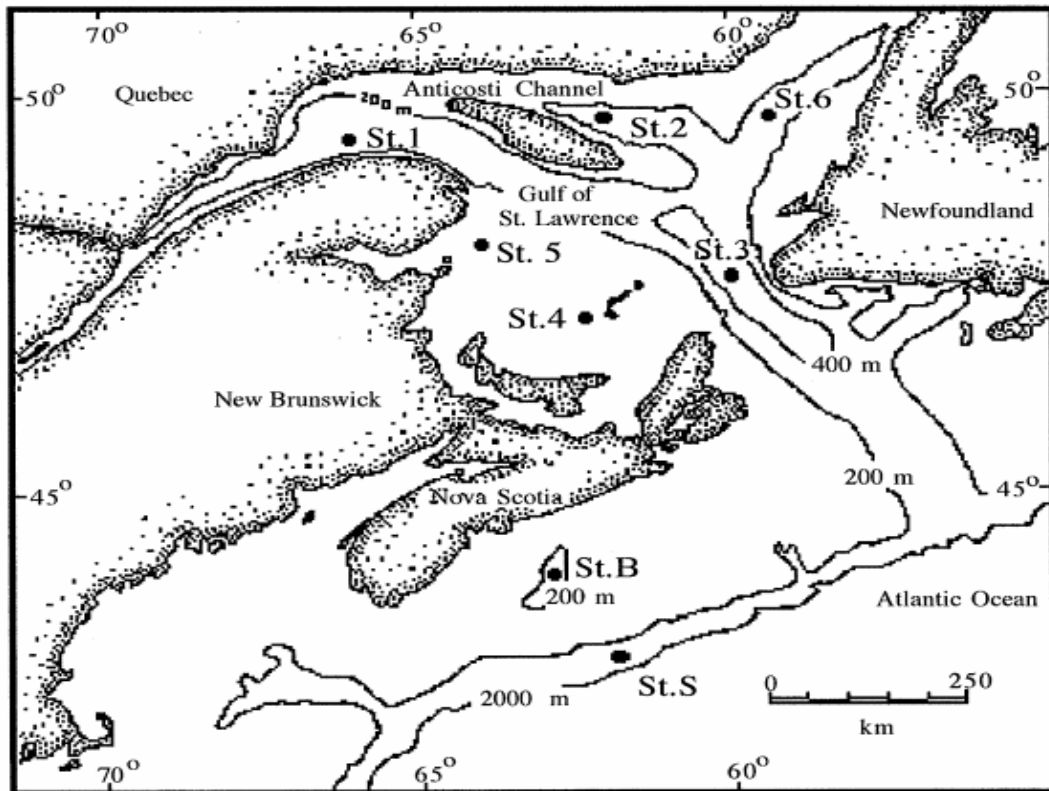


Figura 1. Localización de los sitios de colocación de trampas de sedimento en el área de estudio. St.1 Giro de Anticostí (Mont-Louis); St.2 Pasaje de Jaques Cartier; St.3 Estrecho Cabot; St.4 Plataforma Magdalena; St. 5 Canal Miscou; St.6 Canal Esquiman; St.B. Cuenca Esmeralda y St. S Plataforma de Nueva Escocia

las trampas se colocaron a 150 m de profundidad sobre una línea de anclaje de nylon (“Kevlar”), suspendida y flotando desde la sub-superficie y anclada con una rueda de tren. El carrusel fue programado para rotar cada diez días las botellas recolectoras previamente lavadas con ácido, a las que se le agregó una solución salina y un fijador.

El liberador acústico de la trampa colocada en sitio de Cuenca Esmeralda no funcionó y la trampa fue recuperada después de un intervalo de 18 meses, mediante difíciles operaciones de buceo de la tripulación del submarino HMCS Cormorant. Ninguno de los dos anclajes fueron recuperados a tiempo, por lo que sus muestras no alcanzaron a ser incluidas en los análisis microscópicos, solo en los análisis químicos

Las trampa grande de libre deriva utilizada en el Estuario de San Lorenzo (Silverberg *et al.*, 1985) consistió de cuatro cilindros de PVC de 30 X 150 cm ($1/8 \text{ m}^2$ de superficie de colecta)

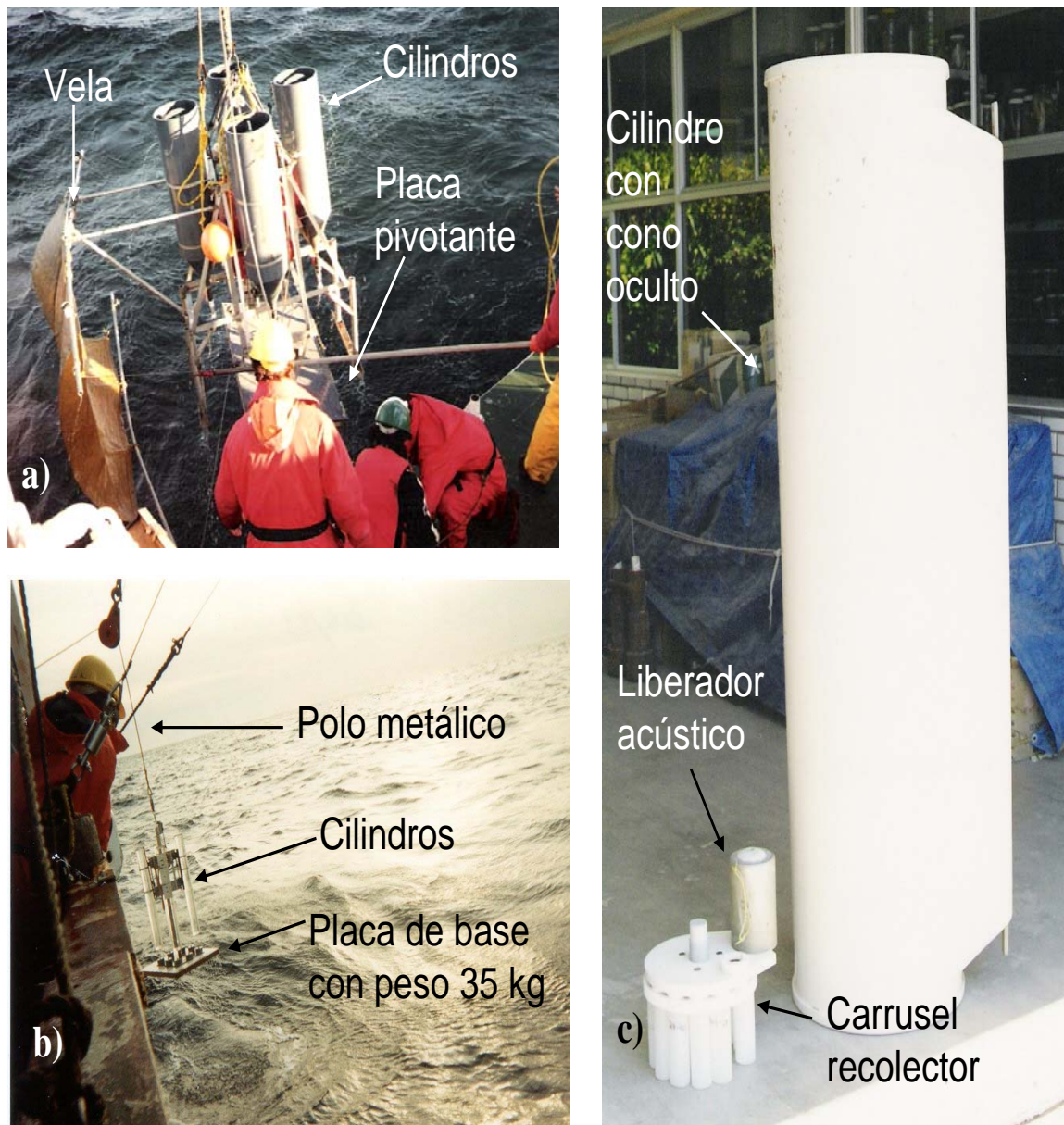


Figura 2. Trampas de sedimento utilizadas en este estudio. Trampas de libre deriva colocadas por 24 hrs: a) trampa grande modelo “Riki.Tiki”y b) trampa pequeña- (fabricación manual). c) Trampa de serie de tiempo larga modelo PPS-3/3 colocada por cinco meses

montado sobre una estructura de aluminio, con una placa para mitigar el golpe de las olas y un tubo de aluminio para extender una vela de 2 m². La trampa fue suspendida desde una superficie

flotante de dragado mínimo, con un plomo atado de 30 Kg para mantener la flotabilidad positiva de la trampa en la profundidad. La trampa pequeña consistió de cuatro tubos de 98 cm de largo y 10.2 cm de diámetro interno, sujetos a un polo metálico con una placa de base de 60 X 60 cm y un peso sumergible de aproximadamente 35 kg.

Esta trampa se suspendió con un cable de polipropileno de 50 m, desde una línea de una pequeña superficie de flotación (para reducir la deriva) y una boya de estirofón con un mástil y un radar reflector de destello. Aunque no tuvo vela, la combinación de la superficie vertical con la base de la plataforma sirvió para reducir el tirón de la superficie flotante.

Los cilindros fueron llenados con agua de mar filtrada de la superficie, suplementada con una solución concentrada de agua de NaCl de aproximadamente 5 ppm más que el agua profunda del medio. Las trampas fueron sumergidas a 50 o 150 m de profundidad. El mástil con radar y la luz intermitente fueron usadas para rastrear la posición de los flotadores de cada trampa durante el muestreo. Las trampas siguieron un curso semi-elíptico y rara vez derivaron fuera de un radio de 5 km. Las trampas grandes se sacaron a la superficie (a ~10m/min) desde cerca del fondo, al día siguiente, al tiempo de liberar la caída del plomo, cerrar los cilindros abiertos y acomodar la placa pivotante. Durante los últimos cruceros la trampa grande fue simplemente recuperada como la trampa pequeña, sin hacer funcionar el disparador, usando un cabestrante para subir la trampa a través de la columna de agua. El intervalo en el que las trampas fueron abiertas en sus profundidades, representa los tiempos de muestreo.

2.2.2. Recuperación de muestras, sub-muestreo y otros procedimientos a bordo del barco

Se utilizó un refractómetro para comparar la salinidad de las muestras obtenidas con la salinidad original de la solución, y se encontró que el fondo de los cilindros recolectores no estuvo sujeto a ninguna dilución significativa con el agua de mar ambiental. Los procedimientos de concentración variaron con el tipo de trampa usada. Las muestras del modelo “Technicap” se concentraron siempre en frascos de 250 ml. Estos se retiraron del carrusel, se sellaron con una cubierta limpia y se guardaron en una cámara fría del barco antes de ser tamizados y divididos en el laboratorio.

Después de su recuperación, las trampas de libre deriva se dejaron en reposo en el puente del barco por una hora aproximadamente, para permitir que cualquier partícula perturbada re-sedimentara. En el caso de las trampas pequeñas, la mayor parte del agua subyacente en los cilindros recolectores fue cuidadosamente sifoneada. Aproximadamente 15 cm de agua del cilindro, que contenía las partículas sedimentadas, se recolectó luego en tubos de 250 ml después de pasarse a través de una red de 1mm de malla de nylon, para separar copépodos y otros nadadores los cuales se preservaron con formol. Las partículas que evidentemente eran organismos zooplanctónicos completos se seleccionaron y retiraron del tamiz para regresarlas al grueso de la muestra. De las 32 muestras de trampas, sólo 12 tuvieron más de dos o tres organismos retenidos en el tamiz de 1mm.

Los cilindros de la trampa grande se equiparon con una válvula de interrupción y un tubo recolector removible de 1 pulgada de diámetro interior, el cual recolectaba prácticamente la muestra entera de la trampa. Se utilizó una pipeta Pasteur para recolectar una porción de la muestra concentrada (que después fue regresada) para su inmediata observación microscópica. Después, las válvulas se abrieron para descargar cualquier partícula restante, las cuales fueron recolectadas en frascos limpios de 2 litros y puestos en el refrigerador a fin de permitir la sedimentación. La mayor parte del agua sobre nadante fue más tarde sifoneada, las muestras se tamizaron y pasaron a los tubos de centrifuga para continuar su proceso.

Las muestras se centrifugaron a bordo hasta que todo el material de cada trampa fue combinado y reunido en un solo recipiente. El grueso de la muestra se llevó a un volumen conocido y con una pipeta Eppendorf se tomaron 1 ó 2 ml como sub-muestra de la suspensión agitada magnéticamente. Esta se depositó sobre filtros Nucleopore® pre-pesados de 0.4 μm . Una vez que se lavaron y eliminaron las sales, los filtros se secaron y se volvieron a pesar para determinar el peso seco de la muestra entera.

La suspensión restante fue luego dividida en cuatro partes iguales, usando el fraccionador Erez-Honjo (Honjo y Doherty, 1988). El agua excedente de la trampa fue usada en todas la manipulaciones para evitar cambios químicos en las partículas antes del tratamiento final. El sub-muestreo con pipeta se repitió con cada fracción para replicar las medidas de peso seco. Otras dos fracciones se centrifugaron decantándose el sobre nadante. Una centrifugación final fue llevada a

cabo usando agua destilada para eliminar las sales; la muestra drenada fue guardada a 4 °C. Subsecuentemente, las dos fracciones fueron secadas, pesadas y homogenizadas para luego molerse. La cuarta sub-muestra fue dividida una vez más, proporcionando una fracción de 1/16, la cual se fijó con formol a 3.5% para el análisis microscópico.

Flujo de masa total: El flujo de masa total se determinó a partir del peso seco de cinco sub-muestras de pipeta, así como también de dos fracciones de ¼. Esto con el fin de proporcionar un incremento de confianza en las estimaciones de flujos numéricos. La desviación estándar, ocasionalmente grande, indicó incertidumbres inherentes en este procesamiento aparentemente sencillo. En el caso de los anclajes, el peso seco fue calculado sólo de una pipeta del total de la suspensión y la masa a partir de una fracción de ¼.

Análisis de CHN: 15 mg de sub-muestras libres de sales, secadas y molidas, se pesaron en filtros nucleopore® quemados a 950 °C y analizados para carbono y nitrógeno usando un analizador elemental modelo Perkin-Elmer. Los análisis se hicieron por triplicado dando una precisión de $\pm 2\%$ para el carbón y $\pm 7\%$ para el nitrógeno.

2.2.3. Análisis Microscópico

Observaciones a bordo del barco: Inmediatamente después de que los tubos recolectores de la trampa grande fueron retirados, si el clima lo permitía, se tomaba una muestra de este material muy poco perturbado, con pipeta Pasteur, para examinarlo al microscopio estereoscópico, tomar fotografías y anotar la naturaleza general de las partículas recolectadas. Después de las observaciones el material fue regresado a la muestra original.

Observaciones en el laboratorio: La fracción de 1/16 se llevó a un volumen conocido, y mientras estaba en agitación se tomó una submuestra de 1ml para colocarla en una cámara de sedimentación para observarse en el microscopio invertido (Hasle, 1978). La identificación, el conteo y las mediciones de tallas se llevaron a cabo usando un microscopio modelo Zeiss 100 Axiovar equipado con una cámara fotográfica de 35 mm. Por cada muestra se examinó la cámara de sedimentación entera. Para determinar la variabilidad del sub-muestreo se analizaron seis

réplicas tomadas con pipetas. El error promedio fue aproximadamente del 10% para ambos criterios: número de partículas y número de taxa. De cada partícula se tomaron mediciones de longitud (la máxima longitud) y amplitud o diámetro (dimensión intermedia). Estas fueron luego convertidas en área de la superficie proyectada, utilizando una forma geométrica simple que más se pareciera a la partícula (cilindro, esfera, rectángulo, elipsoide, etc.).

Debido a que las partículas de agregados de nieve marina están sujetas a repetidos rompimientos y re-agregaciones durante la manipulación de la muestra, y dada su naturaleza tridimensional extendida y frágil, el área de su superficie fue determinada de manera diferente. En esencia, de los agregados originales de nieve marina, sólo se estimó la materia de fondo reagrupada y compuesta de detritus y granos finos. La fracción entera de 1/16 fue examinada bajo el microscopio estereoscópico y la abundancia relativa de la nieve marina se estimó con la ayuda de gráficas estandarizadas que muestran el porcentaje de cobertura de un círculo con partículas oscuras (Terry y Chilingar, 1955). Usando el área de superficie de la cámara de sedimentación como área de un círculo, la proporción cubierta por los agregados de nieve marina se convirtió a unidades absolutas (mm^2).

Las gráficas fueron diseñadas originalmente para estudios sedimentológicos y por lo tanto, se usaron también para determinar el área de las partículas de granos minerales. Para evaluar el error experimental usando esta técnica ligeramente subjetiva, seis observadores distintos analizaron el porcentaje de cobertura de 12 muestras diferentes estimándose por análisis de varianza de una vía, la variación de las observaciones.

El promedio de variación fue aproximadamente 24%, los porcentajes más bajos correspondieron a las mayores abundancias (tabla 1). La abundancia relativa de cada tipo de partícula fue determinada por comparación del área de sus superficies con el área de la suma de todas las partículas en la cámara de sedimentación.

Tabla 1. Reproducibilidad de la técnica para estimar la abundancia relativa de la nieve marina a partir del diagrama de cobertura de porcentaje de Terry y Chilingar (1955).

		Porcentaje de superficie ocupado por la nieve marina réplicas de prueba ciega								
Estación / Trampa	Fecha							Dev.	c.v.	
		1	2	3	4	5	6	Prom.	std.	%
St.1 grande	12-abr-94	15	18	20	18	18	20	18.2	1.8	10.1
St.1 pequeña	12-abr-94	1	2	1	1	2	1	1.3	0.5	38.7
St.1 pequeña	11-jul-93	3	2	5	3	5	3	3.5	1.2	35.0
St.2 grande	22-jun-94	20	18	22	20	20	20	20.0	1.3	6.3
St.2b pequeña	15-abr-94	3	2	3	1	3	2	2.3	0.8	35.0
St.3 grande	25-jun-94	2	2	3	3	2	2	2.3	0.5	22.1
St.4 grande	17-abr-94	10	13	12	10	10	15	11.7	2.1	17.7
St.5 grande	30-nov-93	5	3	5	5	5	3	4.3	1.0	23.8
St.5 pequeña	30-nov-93	7	10	7	10	7	7	8.0	1.5	19.4
St.6 grande	29-may-93	7	5	5	7	10	7	6.8	1.8	26.9
St.6 pequeña	29-may-93	3	2	3	2	3	3	2.7	0.5	19.4
St.S grande	28-jun-94	1	2	2	1	2	1	1.5	0.5	36.5
Promedio c.v.=24.2										

2.3. Resultados

2.3.1. Flujos verticales y contenido de materia orgánica del material particulado en sedimentación

Presentamos nuestros resultados aquí de material encontrado en las trampas. En las tablas 2 y 3 se enlistan los flujos de masa total, carbono, concentraciones de nitrógeno y sus correspondientes flujos verticales, para cada una de los muestreos de trampas de sedimento de libre deriva. Las trampas grandes interceptaron entre 40 y 500 mg de peso seco de material en sedimentación durante los muestreos de un día, resultando un rango de flujo de masa total de 80 – 1000 mg /m²/d. El rango de las trampas chicas estuvo entre 500 – 1500 mg/m²/d. En la mayoría de los casos (particularmente durante los primero cruceros de este estudio) los flujos de las trampas pequeñas fueron notablemente mayores que los flujos medidos con las trampas grandes.

Tabla 2. Resumen de flujos de trampa de libre deriva

Crucero	Fecha	Estación	Trampa	Flujo de masa total (mg/m ² /d)	Desviación Std. (± mg/m ² /d)	(± %) Promedio Desviación Std.	(n =)	Calidad de la <u>esti-</u> mación
5	03/06/1993	1	pequeña	752	205	27	2	débil
5	03/06/1993	1	grande	77	24	31	3	buena
6	11/07/1993	1	pequeña	915	539	59	5	buena
6	11/07/1993	1	grande	375	115	31	3	buena
7	01/12/1993	1	pequeña	755	364	48	6	débil
7	01/12/1993	1	grande	312	31	10	6	débil
8	12/04/1994	1	pequeña	1041	249	24	7	buena
8	12/04/1994	1	grande	874	134	16	7	buena
9	20/06/1994	1	pequeña	984	131	13	6	buena
9	20/06/1994	1	grande	792	182	23	5	muy buena
8	14/04/1994	2	pequeña	1072	254	24	7	aceptable
8	15/04/1994	2b	pequeña	1140	167	15	7	aceptable
9	22/06/1994	2	pequeña	412	57	14	6	buena
9	22/06/1994	2	grande	677	96	14	6	muy buena
9	25/06/1994	3	grande	87	17	20	6	muy buena
5	01/06/1993	4	pequeña	1198	478	40	2	débil
6	16/07/1993	4	pequeña	1037	343	33	3	débil
7	28/11/1993	4	pequeña	647	135	21	6	buena
8	17/04/1994	4	pequeña	990	250	25	7	buena
8	17/04/1994	4	grande	550	68	12	7	muy buena
9	16/06/1994	4	pequeña	489	18	4	6	buena
7	30/11/1993	5	pequeña	1536	272	18	6	buena
7	30/11/1993	5	grande	182	72	40	6	dudosa
8	19/04/1994	5	pequeña	713	192	27	7	buena
8	19/04/1994	5	grande	166	36	22	7	muy buena
9	18/06/1994	5	pequeña	1644	196	12	7	buena
9	18/06/1994	5	grande	1089	150	19	5	muy buena
5	29/05/1993	6	pequeña	1226	670	55	2	débil
5	29/05/1993	6	grande	207	62	30	3	buena
6	14/07/1993	6	pequeña	633	341	54	3	débil
6	14/07/1993	6	grande	193	90	47	5	buena
9	28/06/1994	S	grande	89	80	89	6	dudosa

Tabla 3. Componentes de la materia orgánica del flujo vertical

Crucero	Fecha	Estación	Trampa	Carbono % del peso	Nitrógeno % del peso	Razón C/N	Flujo de carbono mgC/m ² /d	Flujo de nitrógeno mgN/m ² /d
5	03/06/1993	1	pequeña	22.2	2.79	8.0	167	21.0
5	03/06/1993	1	grande	25.5	4.44	5.7	20	3.4
6	11/07/1993	1	pequeña	28.1	1.41	20.0	257	12.9
6	11/07/1993	1	grande	12.7	1.51	8.4	48	5.7
7	01/12/1993	1	pequeña	25.8	1.36	18.9	195	10.3
7	01/12/1993	1	grande	5.7	0.49	11.5	18	1.5
8	12/04/1994	1	pequeña	14.2	1.20	11.8	147	12.5
8	12/04/1994	1	grande	7.7	0.60	12.8	67	5.3
9	20/06/1994	1	pequeña	15.5	1.14	13.6	153	11.2
9	20/06/1994	1	grande	9,2	0,92	10,1	73	7,3
8	14/04/1994	2	pequeña	11.6	0.92	12.6	124	9.9
8	15/04/1994	2b	pequeña	10.8	0.80	13.5	123	9.1
9	22/06/1994	2	pequeña	21.3	1.71	12.5	88	7
9	22/06/1994	2	grande	11.6	1.23	9.4	78	8.3
9	25/06/1994	3	grande	18.6	1.72	10.8	16	1.5
5	01/06/1993	4	pequeña	25.2	3.52	7.2	302	42.2
6	16/07/1993	4	pequeña	21.3	2.75	7.7	220	28.5
7	28/11/1993	4	pequeña	14.1	0.99	14.2	91	6.4
8	17/04/1994	4	pequeña	12.1	0.75	16.1	120	7.4
8	17/04/1994	4	grande	6.5	0.72	9.0	36	4.0
9	16/06/1994	4	pequeña	25.0	1.26	19.8	122	6.2
7	30/11/1993	5	pequeña	9.7	0.90	10.8	149	13.8
7	30/11/1993	5	grande	12.6	1.36	9.3	23	2.5
8	19/04/1994	5	pequeña	11.6	1.04	11.2	83	7.4
8	19/04/1994	5	grande	6.3	0,71	8.8	10	1.2
9	18/06/1994	5	pequeña	11,2	1,04	10,8	184	17,0
9	18/06/1994	5	grande	11.2	1.20	9.4	122	13.0
5	29/05/1993	6	pequeña	6.4	0.35	18.2	78	4.3
5	29/05/1993	6	grande	16.3	2.70	6.0	34	5.6
6	14/07/1993	6	pequeña	22.2	2.16	10.3	140	13.7
6	14/07/1993	6	grande	11.8	1.16	10.1	23	2.2
9	28/06/1994	S	grande	5.3	0.36	14.8	5	0.3

Esto se atribuye a las masas de partículas muy pequeñas (20-50 mg) interceptadas durante 24 h y sobre una superficie total de captura de 0.03 m² de las trampas chicas, a las dificultades en la manipulación de los cilindros largos cuando se recupera la muestra, a imperfecciones en las técnicas de filtración, así como a una posible contaminación por restos plásticos o terrígenos (note las ocasionalmente elevadas razones C/N). Las diferencias entre las trampas a 50 m y 150m fueron mucho menos importantes durante los últimos cruceros, cuando se hicieron las comparaciones entre trampas sujetas a la misma profundidad. No obstante, una prueba del efecto del área de recolecta de los cilindros largos y chicos, utilizando cilindros de la trampa pequeña montados sobre la estructura de la trampa grande (fig. 3), mostró que los cilindros pequeños siempre daban mediciones más altas del flujo total de masa, independientemente si los cilindros estaban sobre la estructura de la trampa pequeña, o si los dos tipos de trampas estaban a la misma profundidad, o si los cilindros pequeños estaban sobre la estructura de la trampa grande. Así, los cilindros pequeños atrapan más masa por unidad de área que las trampas grandes.

Los flujos de organismos planctónicos y otras partículas biogénicas fueron similarmente influenciados por el tipo de trampa utilizada. La composición del material en sedimentación (contenido de carbono y nitrógeno en porcentaje % de peso) se conoce, por lo tanto, con mayor precisión que los correspondientes flujos, debido a las incertidumbres asociadas con los valores del flujo de masa total. Los resultados de las dos trampas de series de tiempo logradas se muestran en las figuras 4 y 5. Es notable que el flujo total y los flujos de carbono en el Giro de Anticosti (fig. 4) permanezcan elevados a través del otoño e invierno. Los contenidos de carbono no son altos como durante los meses libres de hielo, pero las razones C/N permanecen bajas; ésto sugiere que no hay mucha dilución con el detritus terrígeno aún en invierno. Aunque hay alguna indicación de contenidos más altos de carbono a principios de primavera, la trampa no permaneció lo suficiente en el sitio como para detectar el florecimiento de primavera anticipado para el mes de abril. Los frascos recolectores contuvieron entre 200 y 1200 mg de peso seco de material colectado, permitiendo una cierta precisión en las mediciones de flujos.

La trampa de Cuenca Esmeralda (fig. 5) aparentemente muestreó sólo el final del florecimiento de primavera. En el resto del verano, aunque los contenidos de carbono se mantuvieron altos, típico del material particulado en suspensión pelágico, los flujos fueron muy

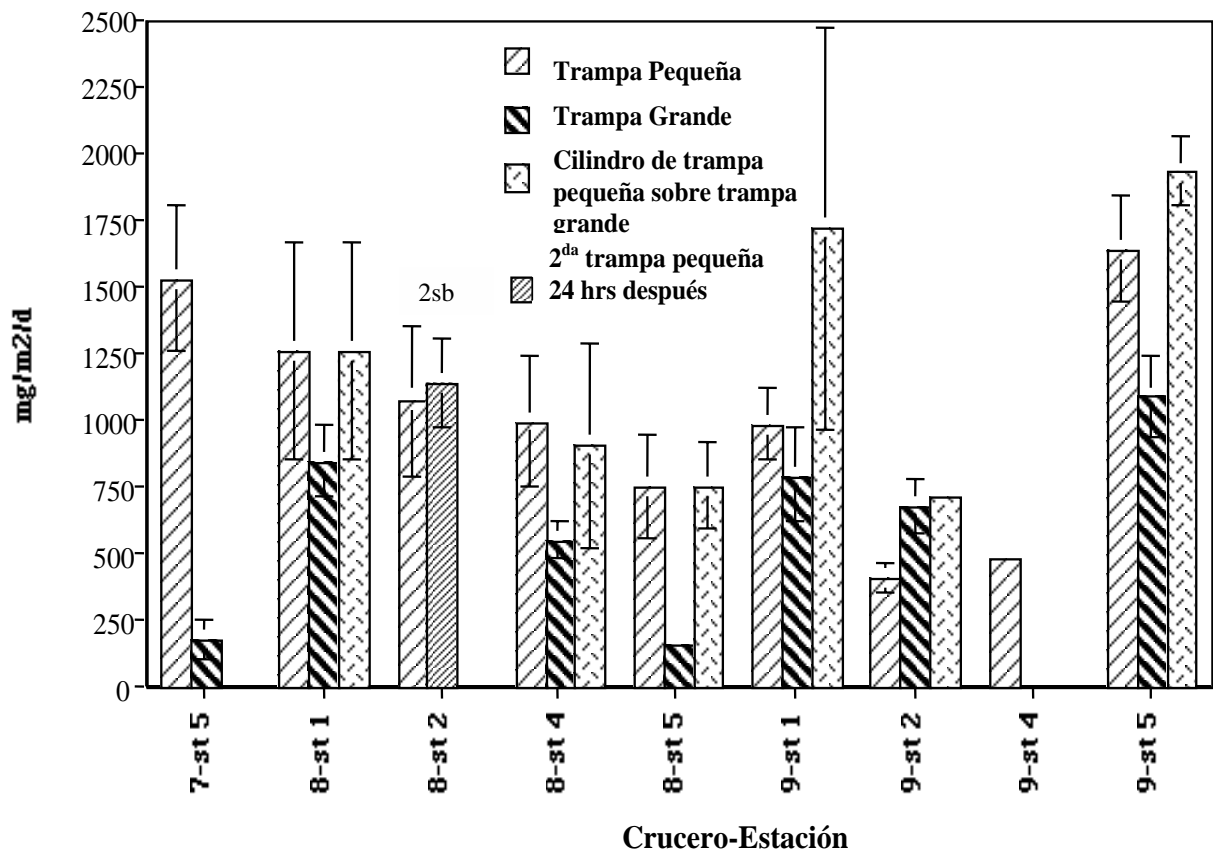


Figura 3. Comparación de flujos de masa obtenidos de trampas pequeñas, de trampas grandes, de cilindros de trampas pequeñas montados sobre la estructura de la trampa grande y de una segunda trampa pequeña (2sb) colocada 24h después en la misma localidad (St. 2).

bajos. Sólo el primer frasco recolector contuvo alrededor de 200 mg de material, los otros contuvieron mucho menos. Desafortunadamente, no hay otros datos de trampas disponibles para este sitio.

2.3.2 Caracterización microscópica del material de las trampas

Durante el periodo de reposo de las trampas en el puente del barco fue posible observar, a través de los tubos transparentes en la base de los conos de la trampa grande, agregados plumosos de varios milímetros de diámetro sedimentando lentamente. Las observaciones de muestras

Mont-Louis Invierno 1994-95 St. 1

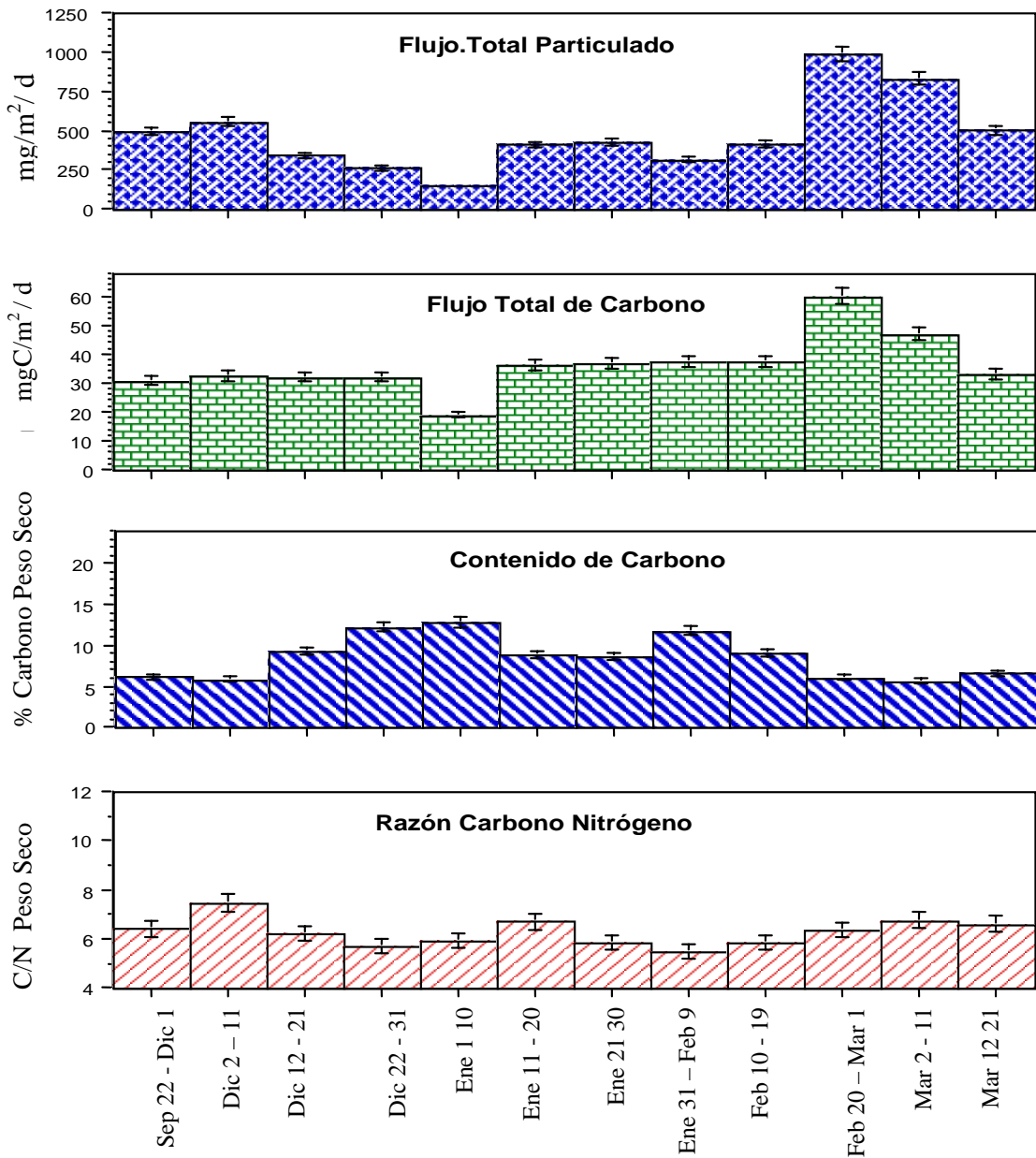


Figura. 4. Flujos de masa y carbono total, contenido de carbono (% de peso) seco y razón C/N (peso seco) para la serie de tiempo de la trampa Technicap colocada en el Giro de Anticosti (St.1 frente a Mont-Louis) por 4 meses y medio entre noviembre 1994 y marzo 1995.

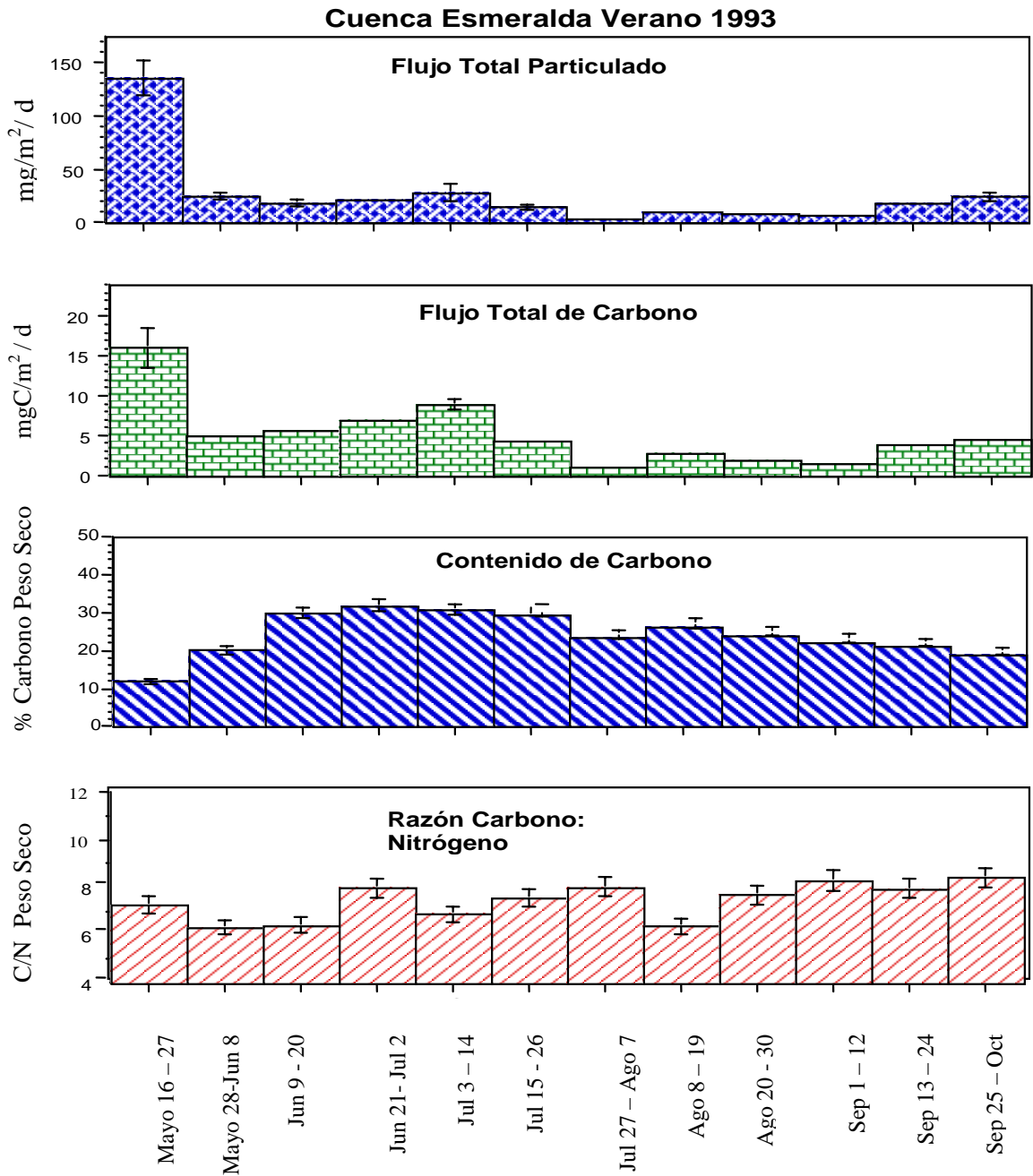


Figura. 5. Flujos de masa y carbono total, contenido de carbono (% de peso seco) y razón C/N (peso seco) para la serie de tiempo de la trampa Technicap colocada en Cuenca Esmeralda por 4 meses y medio desde mediados de mayo hasta septiembre de 1993. Note los flujos muy bajos (en todas las muestras salvo la primera) y los más altos contenidos de carbono en este sitio comparado con el Giro de Anticosti.

tomadas con pipeta Pasteur a bordo del barco y analizadas con un microscopio estereoscópico, mostraron muchas partículas íntegras: pelotillas fecales, organismos zooplanctónicos completos y agregados de nieve marina (fig. 6 a,b). Una vez que el material fue fijado y sujeto a varios pasos de preparación de muestras, la nieve marina se disgregó en su mayor parte, las pelotillas fecales también se fragmentaron (fig. 6c) y las frágiles estructuras del fitoplancton pasaron a formar parte de la nieve marina.

La mayoría de las muestras de trampas de sedimento estuvieron casi libres de organismos mayores que 1 mm. De las 12 muestras que tuvieron nadadores retenidos sobre la malla de 1 mm (tabla 4), 8 muestras provinieron de las 9 trampas de junio de 1994, 2 muestras de las 8 trampas de abril de 1994 y otras 2 muestras de las 5 trampas de julio 1993. Los copépodos fueron los organismos dominantes, representando al menos el 85% de los nadadores individuales identificados en las muestras del Golfo (60% en las trampas del talud). Otros organismos encontrados incluyeron: anfípodos, ostrácodos, pterópodos (*Limacina* sp., un pterópodo sin concha fue abundante en la estación St. S) cladóceros, quetognatos, poliquetos, ctenóforos, así como abundantes organismos más pequeños tales como larvas de cirripedios y cangrejos. También fueron identificados un número pequeños de sacos de huevos de copépodos, algunos adheridos a los cuerpos de los adultos. El material que atravesó el tamiz de 1mm fue usado para los análisis detallados al microscopio. Fueron identificados seis principales grupos de partículas: nieve marina, material fecal, fitoplancton, zooplancton, granos minerales y polen.

Nieve marina: Varias formas de partículas de agregados mucosos han sido reportados en aguas cercanas a la superficie, donde es posible la recolección de agregados individuales de nieve marina por buceo libre (Alldredge y Silver, 1988). No obstante, una vez que tales agregados han sido mezclados con el resto del material en la base de los tubos recolectores de las trampas, sus dimensiones originales y algunas características se pierden. El material “fresco” que es recolectado muestra aún largos agregados (fig. 6a). Después de mucha dispersión y re-agregación parcial durante la preparación de las muestras, la nieve marina bajo el microscopio invertido fue identificada como el fondo de pantalla (“groundmass”) cubierto tanto por pequeños agregados semi-transparentes y amorfos (dispersos) como por grandes (probablemente reagregados). A éstos se les adhirió una mezcla heterogénea de detritus más pequeño incluyendo

Tabla 4. Número de varios organismos cuantificados e identificados en la fracción > 1 mm (“nadadores”)

Estación Trampa Organismos	JGOFS - 6				JGOFS - 8				JGOFS-9																	
	St. 1 grande		St. 6 grande		St. 1 grande		St. 4 grande		St. 1 grande		St. 1 pequeña		St. 2 grande		St. 3 grande		St. 4 pequeña		St. 5 grande		St. 5 pequeña		St. S grande			
	#	% of total	#	% del total	#	% del total	#	% del total	#	% del total	#	% del total	#	% del total	#	% del total	#	% del total	#	% del total	#	% del total	#	% del total		
Copepodos	580	99.0	611	99.5	1041	97.4	935	100	3920	98.4	92	95.8	320	97.6	343	86.0	128	96.2	832	97.5	50	84.8	67	66.3		
Quetognatos			2	0.3	1	0.1			1	0.0					2	0.5	3	2.3	2	0.2	4	6.8	4	4.0		
Amfipodos	6	1.0	1	0.2	12	1.1			28	0.7			4	1.2	7	1.8	1	0.8	8	0.9	1	1.7	1	1.0		
Pterópodos					2	0.2			8	0.2			1	0.3	29	7.3	1	0.8	4	0.5	1	1.7				
Cnidarios					1	0.1																	1	1.0		
Cladóceros					7	0.7			12	0.3					7	1.8							1	1.0		
Eufáusidos																			1	0.1						
Huevos copepodos					3	0.3			2	0.1			2	0.6	1	0.3					2	3.4				
Huevos peces									3	0.1									6	0.7			1	1.0		
Poliquetos									1	0.0																
Larvas cirripedios															6	1.5										
Decápodos																										
Limacina																							26	25.7		
Frag. crustáceos																					1	1.7				
Ctenóforos									2	0.1	1	1.0														
Hidrozoarios					1	0.1																				
Larvas cirripedios									7	0.2	3	3.1	1	0.3	1	0.3										
Decápodos cf.															3	0.8										
Total	586	100	614	100	1068	100	935	100	3984	100	96	100	328	100	399	100	133	100	853	100	59	100	101	100		

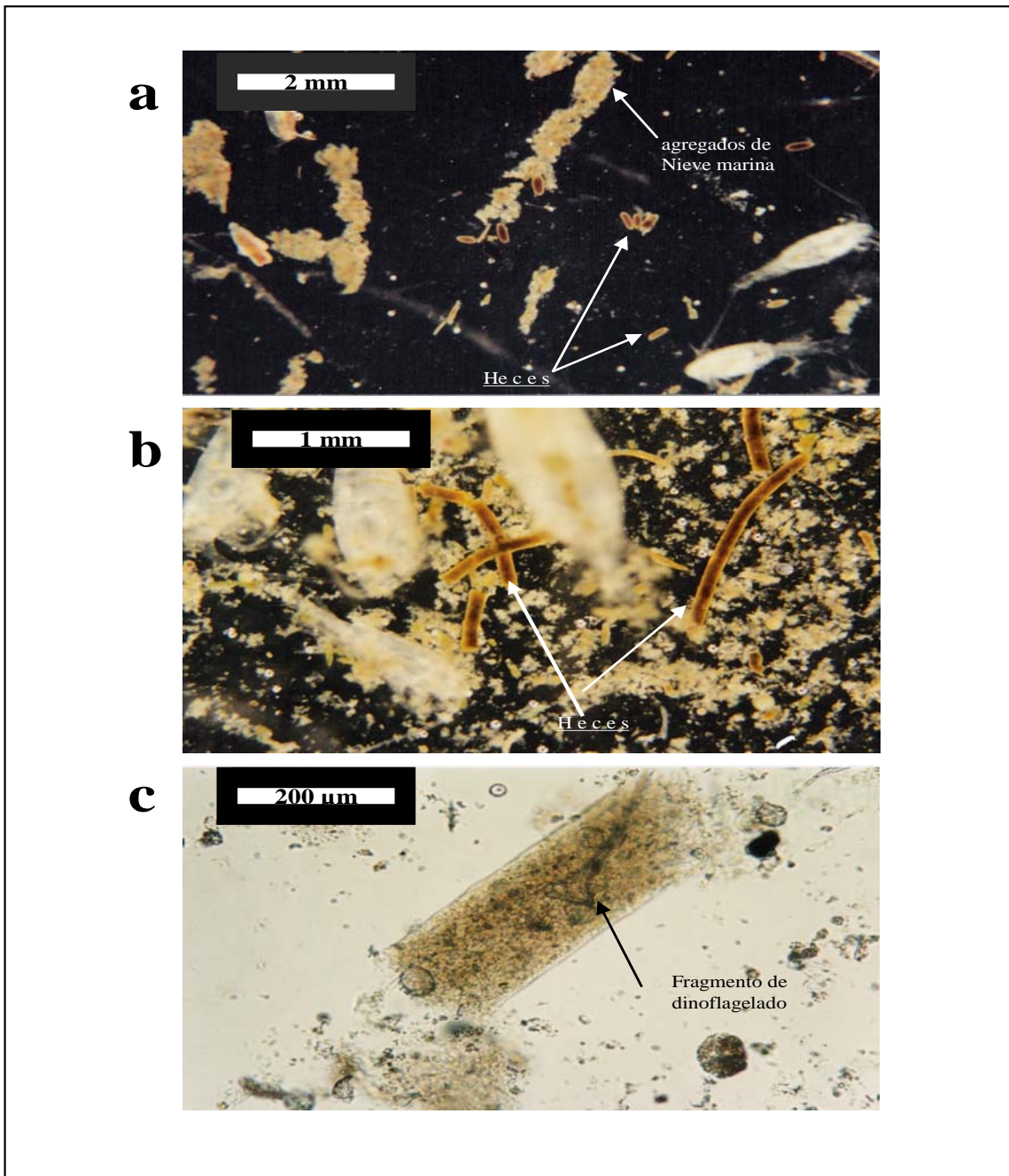


Figura 6. Fotografías del material de trampa de sedimento: (a) y (b) ejemplos de material fresco recolectado. Note los agregados largos y dispersos de nieve marina, las pelotillas fecales intactas y los copépodos nadadores. (c) después del tratamiento de la muestra la nieve marina esta principalmente dispersa y las pelotillas fecales fragmentadas.

frústulas individuales y cadenas de diatomeas; estructuras finas de diatomeas del género *Chaetoceros* y procesos terminales del género *Rhizosolenia*, exudación de mucus de diatomeas, de crustáceos y de apendicularias, granos de polen y partículas minerales finas. Es imposible decir si algunas de la pelotillas fecales, fitoplancton y zooplancton contadas separadamente, estuvieron originalmente incorporadas dentro de los grandes agregados de nieve marina.

Pelotillas fecales: Estas representaron las partículas más grandes y pesadas muestreadas; en las muestras fijadas fueron generalmente más oscuras y mostraron mayor evidencia de haber sido rotas durante la manipulación de la muestra. Las pelotillas fueron separadas en este estudio en cuatro subclases de partículas, de acuerdo a su forma y consistencia en: cilíndricas compactas (fig. 7a), cilíndricas no compactas (fig. 7b); pelotillas ovales compactas (fig. 7c) y cilíndricas pequeñas no compactas (fig. 7d). Las cilíndricas no compactas, aunque también poseen membrana peritrófica, no son tan densas como las compactas y generalmente están más fragmentadas. Estas promediaron aproximadamente $169 \pm 71 \mu\text{m}$ de longitud y $73 \pm 22 \mu\text{m}$ de diámetro. Sus contenidos internos son usualmente discernibles y algunas veces pueden ser identificados, particularmente si contienen polen o dinoflagelados armados, los cuales pueden romper fácilmente la membrana. Las cilíndricas pequeñas no compactas fueron las menos abundantes y las más chicas ($81 \pm 15 \mu\text{m}$ de longitud y $35 \pm 7 \mu\text{m}$ de diámetro promedio) de las heces encontradas en las muestras de trampas. También se encontraron fusiformes, correspondientes a las pelotillas cilíndricas cuyos extremos estaban vacíos. Estas, aunque fueron claramente delimitadas por una membrana y no fuertemente compactas, presentaron contenidos internos opacos y no identificables.

Las pelotillas ovales constituyeron el material más fuertemente compactado, nunca fueron observadas en forma fragmentada. Sus diámetros promediaron $90 \pm 18 \mu\text{m}$ con una longitud promedio de $153 \pm 41 \mu\text{m}$. Generalmente fueron las más oscuras y opacas de todas las heces y sus contenidos internos no fueron distinguibles bajo su membrana.

Fitoplancton: Los grupos taxonómicos analizados consistieron predominantemente de microfitoplancton (20-200 μm ; Lalli y Parsons, 1993). Las subclases identificadas fueron: diatomeas centrales, diatomeas pennales, dinoflagelados, silicoflagelados y "otros". Estos últimos



Figura 7. Fotografías de varios tipos de pelotillas fecales observadas al microscopio invertido utilizando material fijado de este estudio: (a) cilíndricas compactas; (b) cilíndricas no compactas; (c) ovales compactas y d) cilíndricas pequeñas no compactas

incluyeron las tallas más pequeñas del micro-fitoplancton y algunas formas del nanofitoplancton (2-20 μ m). Fueron identificados un total de 10 géneros; los más abundantes fueron formas en cadena (*Thalassiosira* spp. y *Chaetoceros* spp.). La mayoría de las diatomeas centrales mantuvieron al menos el 50% de sus pigmentos originales, los cuales pudieron ser observados directamente al microscopio. Las formas de cadenas largas mostraron los cloroplastos menos deteriorados. Cadenas cortas y frústulas individuales fueron más comunes, debido quizá al rompimiento durante la manipulación de las muestras. En estas células los cloroplastos estuvieron muy reducidos o ausentes.

En las muestras de junio 1994, se observaron agregados pequeños de diatomeas centrales (*Thalassiosira* spp.), pero fueron raros. Estos estuvieron envueltos en una matriz semitransparente al interior de pequeños agregados de forma irregular. Se identificaron 16

géneros de diatomeas pennales, entre los cuales sólo dos formaron cadenas (*Fragilariosis.* y *Thalassionema*) y fueron ricas en cloroplastos. Salvo para algunas especies de *Nitzschia* spp., las frústulas aisladas no conservaron sus cloroplastos.

Los géneros de diatomeas pennales individuales más comunes fueron: *Navícula*, *Nitzschia*, *Gyrosigma*, *Amphora* y *Grammatophora*. Cinco géneros de dinoflagelados fueron identificados, observándose siempre en formas de células aisladas; *Protoperidinium*, *Dinophysis* y *Ceratium* fueron los más frecuentes. No se observaron formas resistentes ni quistes.

Zooplankton: Los organismos zooplanctónicos más comunes < 1mm en el material de las trampas fueron protozoarios tintinidos; *Parafavella* (fig. 8 d), *Tintinopsis* (fig. 8e) y *Codonella* fueron los géneros más comunes, los cuales frecuentemente fueron observados con sus lóricas llenas. No obstante, no fue posible determinar si esto fue material protoplasmático o detritus atrapado. *Stenosemella* (fig. 8f) fue un género raro en el material de las trampas. Otros organismos microzooplanctónicos encontrados fueron: foraminíferos, formas larvarias de moluscos (fig. 8a, b) de crustáceos (fig. 8c) y de equinodermos. Organismos grandes de estructuras blandas tales como sifonóforos y otros como pterópodos, poliquetos, fragmentos de crustáceos grandes (ejem. copépodos calanoides como *Euchaeta* spp.) también fueron registrados como zooplankton. Además se observaron huevos de peces y de crustáceos, estadios juveniles de copépodos y copépodos mas pequeños como *Oithona* spp.

Granos Minerales: Granos de arena y del tamaño del limo de minerales individuales (p. e. cuarzo y mica) y fragmentos de piedra fueron generalmente raros en las muestras, aunque partículas de tamaño de la arcilla estuvieron probablemente ocultas dentro de la nieve marina y de pelotillas fecales. En junio 1994, unas pocas trampas recibieron cantidades cuantificables de estos granos, indicadores quizás de los fuertes vientos en el Golfo en los días inmediatos antes de del crucero.

Polen: Estas partículas de origen terrestre también fueron encontradas en las trampas. Cuando fueron abundantes (junio 1994), dieron una coloración amarilla a las muestras. Sólo un

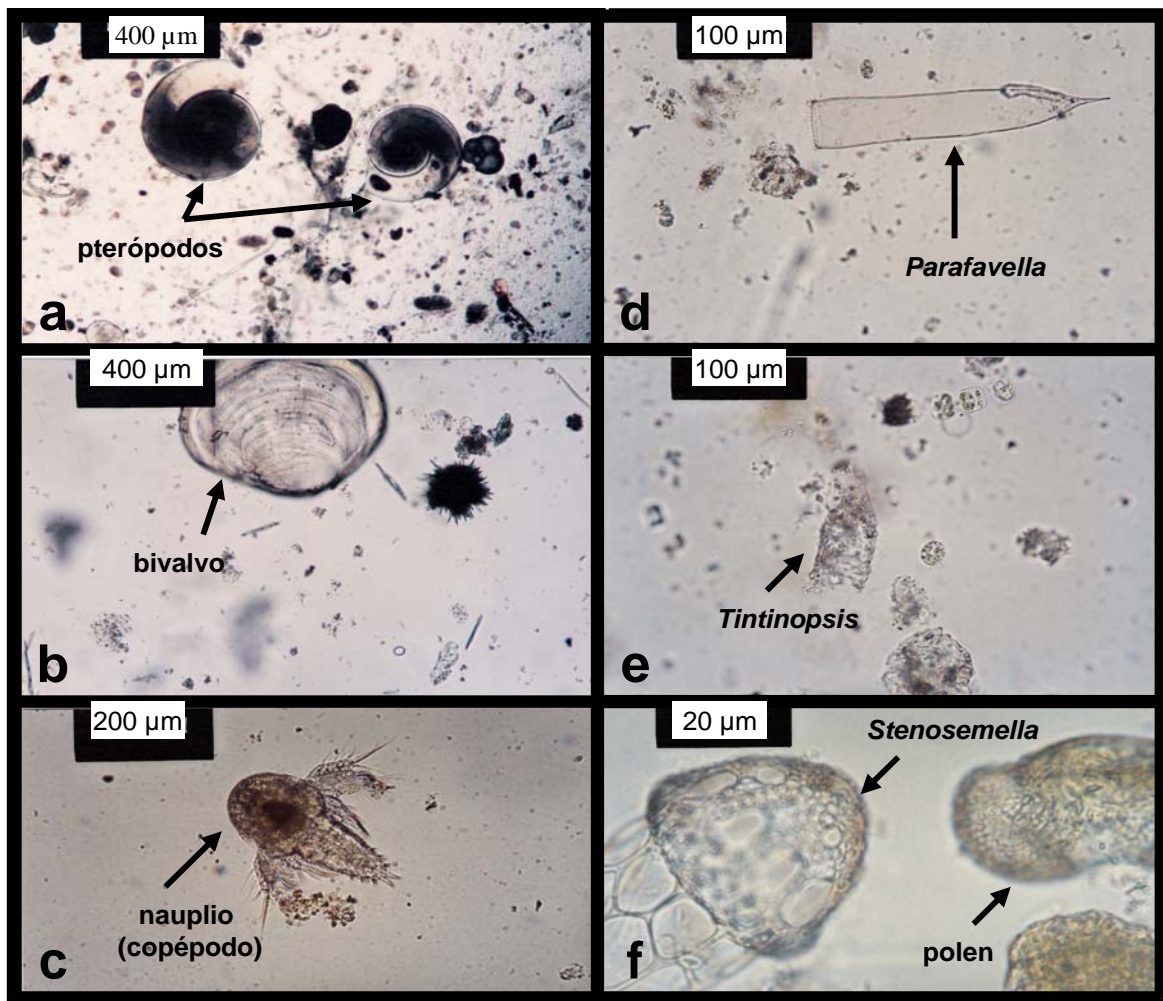


Figura 8. Partículas zooplanctónicas. Microzooplancton: moluscos (a) y (b); (c) larva de crustáceo (copépodo); protozoarios: tintínidos comunes: (d) *Parafavella*; (e) *Tintinopsis*; (f) *Stenosemella*. Polen (partícula no zooplanctónica).

tipo de polen fue identificado, el de una especie de abeto común de la costa este de Canadá: *Abies balsamea*. Este presentó una forma esférica con protuberancias globulares y una superficie reticular.

2.3.3. Abundancia de las diferentes clases de partículas: numérica

Las diatomeas centrales y pennales promediaron el 64.3% del número total de partículas en las trampas. El rango de los flujos fue superior a dos órdenes de magnitud entre estaciones y sitios geográficos (con flujos más altos en abril y junio 1994). Una comparación de la importancia con la

que contribuyeron varias partículas se muestra para cada tipo de trampa en la fig. 9. Las formas del fitoplancton se indicaron como número de células individuales, y para algunas especies en cadena contadas como individuales, se volvieron a observar contando el número de células por cadena y haciendo las correcciones correspondientes.

Los conteos del material fecal son elevados porque incluyeron las pelotillas completas y los fragmentos. El zooplancton incluyó organismos individuales, lóricas de tintínidos, huevos y fragmentos de organismos más grandes. Considerando su rompimiento en la preparación de muestras, no se encontró una manera satisfactoria para contar la nieve marina como número de partículas.

A pesar de la gran diferencia en los rangos de los flujos numéricos absolutos (tabla 5), la contribución proporcional de los diferentes tipos de partículas al flujo total fue muy similar para las trampas grandes y las trampas chicas. De esta forma, el total de células del fitoplancton, así como las pelotillas fecales y las partículas zooplanctónicas, respectivamente aportaron en promedio 61, 24 y 14% al flujo numérico total en las trampas pequeñas, y 67, 18 y 12% en las trampas grandes.

Los dos tipos de trampas, no obstante sus diferentes eficiencias, colectaron esencialmente la misma mezcla de partículas. Sin embargo, en detalle, hay alguna tendencia de la razón fitoplancton/heces a ser más baja en las trampas pequeñas en varios sitios; de nuevo, esto sugiere una mayor eficiencia de muestreo para las partículas grandes y pesadas en los cilindros pequeños.

Las figs. 10, 11 y 12 muestran las contribuciones relativas de las diferentes partículas en los flujos numéricos medidos. Los datos de mayo a junio, julio y nov- dic. 1993 indican una contribución aproximadamente igual de los diferentes tipos de partículas. Los flujos numéricos mucho más grandes en abril 1994 son debidos casi enteramente a la presencia de un gran número de diatomeas. Las formas pennales fueron particularmente abundantes, seguidas por las diatomeas centrales. En junio 1994, las diatomeas fueron aún abundantes en el flujo vertical, pero las formas céntricas fueron mucho más importantes que las formas pennales, y hubo de nuevo una contribución significativa de partículas no fitoplanctónicas. Una asociación similar fue observada en la St. 5 en diciembre 1993.

FLUJOS NUMERICOS

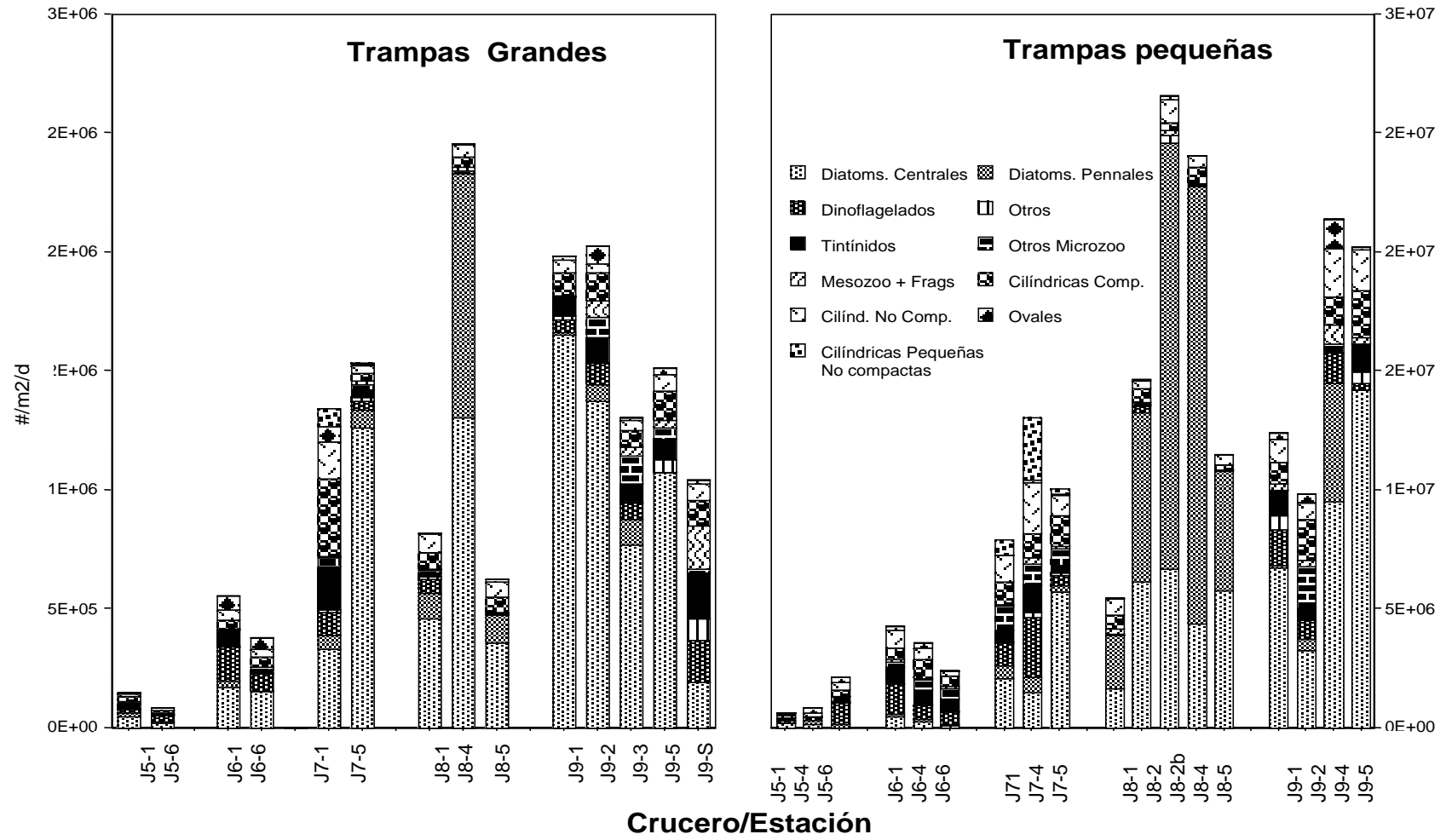


Figura 9. Contribución de diferentes tipos de partículas al flujo numérico total en trampas grandes y pequeñas

Tabla 5. Flujos numéricos de varias regiones del océano mundial

Área	Fitoplancton # m ⁻² d ⁻¹	Pelotillas Fecales # m ⁻² d ⁻¹	Trampa Prof. m	Observaciones	Referencia
Golfo de San Lorenzo					
Intervalo	3.1E+05 - 2.5E+07	1.3E+05 - 5.9E+06	pequeña 50	Mar interior profundo	<i>Este estudio</i>
Promedio	7,80E+06	1,90E+06			
Intrevalo	5.0E+04 - 9.9E+06	1.8E+04 - 2.4E+06	grande 50, 150		
Promedio	1,50E+06	3,20E+05			
Bjornafjorden	1,60E+06	nd	50	Fiordo	González <i>et al.</i> (1994b)
	8,10E+06	nd	100		
Bahía Dabob	nd	4,05E+06	50	Mar interior profundo	Buck y Newton (1995)
Costa de Nueva Escocia	0.2-2.5 E+07	1E+04 - 1E+06	nd	Cuenca de Bedford	Hargrave y Taguchi (1978)
Costa de California	0.4 - 4.7 E+08	2E+02 - 6E+04	50-225	Zona de surgencia	Silver y Gowing (1991)
Norte del Mar Adriático	nd	0- 216	25-35	Costa somera	Puskaric <i>et al.</i> (1992)
SE Bahía de Hudson	nd	1 - 3.5 E04	45	Costa de hielo	Tremblay <i>et al.</i> (1989)
Mar de Scotia y de Weddell	nd	170- 850	50-150	Margen glacial	Cadeé <i>et al.</i> (1992)
Margen continental	1,00E+09	nd	nd	Durante florecimiento	Parsons <i>et al.</i> (1984) op. cit. Bathmann <i>et al.</i> (1990)
Pacífico Tropical Este	2.6 - 7.6 E+07	2 - 5E+03	80-700	Océano abierto	Silver y Gowing (1991)
		2.7 - 3.5 E+03	120-700	Océano abierto	Gowing y Silver (1985)
Mar de Noruega	<3 E+04 2E+05 - 1.5E+06 (floreamiento)	2E+05 - 4 E+06	1300	Talud continental	Bathmann <i>et al.</i> (1990)
Pacífico NE St. Papa	4.6E+06 - 2.8E+07	nd	3800	Océano abierto	Takahashi <i>et al.</i> (1990)
Océano Pacifico NE	1.9 - 4.5 E+06	1E+02 - 1E+03	600	Océano abierto	Silver y Gowing (1991)
Océano Pacifico NE	1.9 - 4.5 E+07	1E+02 - 1E+04	601	Océano abierto	Silver y Gowing (1991)
Atlántico Ecuatorial	5E+06-1.2 E+07 (diatomeas)	nd	696 y 853	Océano abierto	Lange <i>et al.</i> (1994)
	2.5E+04 (silicoflag.)			Zona de surgencia	
Atlántico NE	1E+06 (diatomeas)	<<1 - 2 E+03	120-324	Océano abierto	Pasow y Peinert (1993)
	2E+04 - 1E+05 (dinoflag.)				
	1E+04 (silicoflag.)				
	1E+04 (silicoflag.)				
Mar de Linguria	nd	1.06E+03 - 3.74E+04	80 -200	Mediterráneo	Miquel <i>et al.</i> (1994)
Pacífico NE-Monterrey	nd	2-3E+05	35-150	Margen Continental	Urré y Knauer (1981)
		0.4E+05 - 0.8E+05	500-1500		
Mar de los Sargazos	nd	9,51E+04	5249	Océano abierto	Honjo (1978)

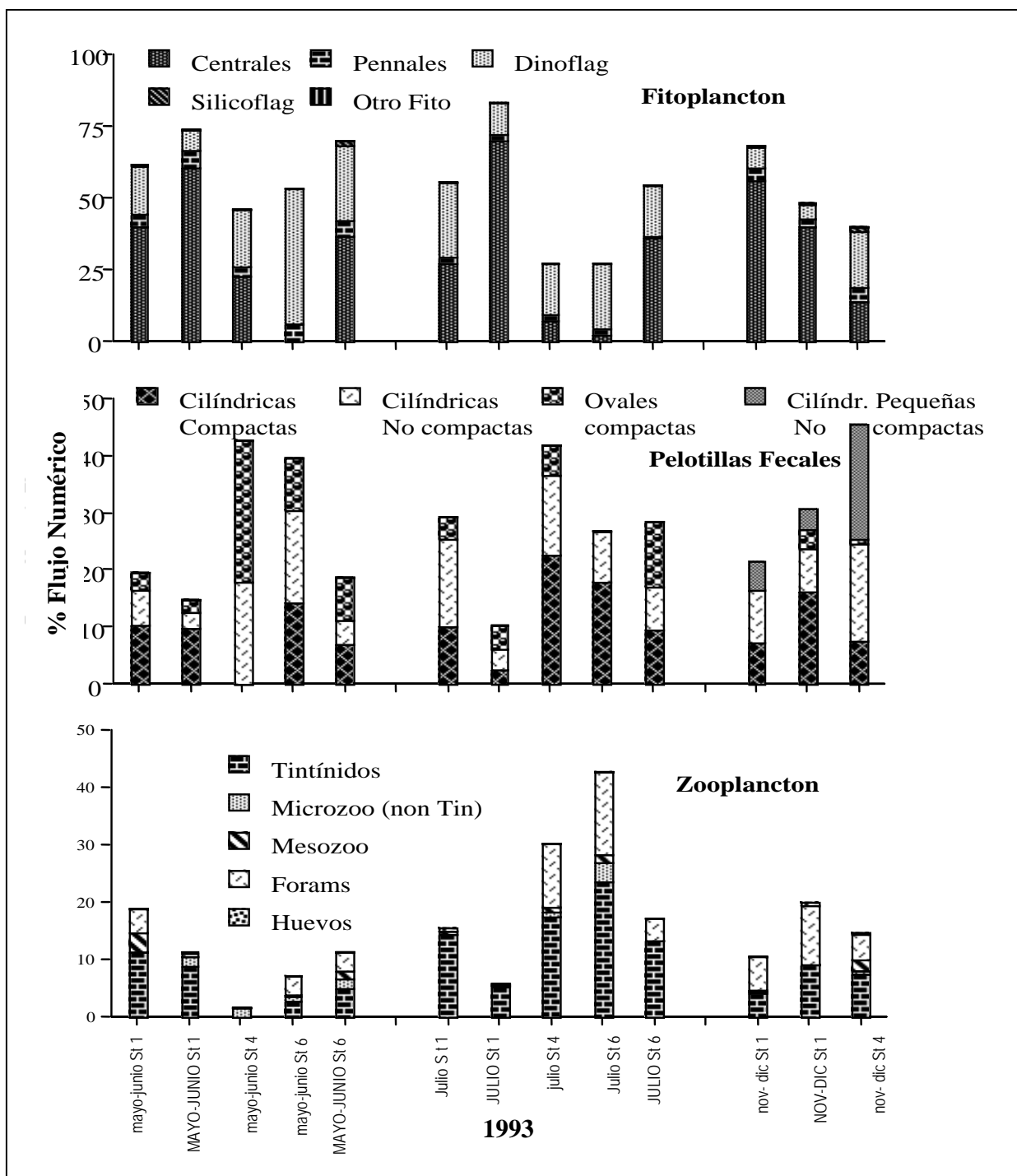


Figura 10. Muestras “no florecimiento” de 1993. Abundancia relativa en términos de sus flujos numéricos de varias clases de partículas de fitoplancton, pelotillas fecales y zooplancton. Note el incremento en la contribución de las partículas fecales y zooplanctónicas al flujo numérico total y la importancia de los dinoflagelados al flujo fitoplanctónico. En el eje de las abcisas las mayúsculas corresponden a las trampas grandes y las minúsculas a las trampas pequeñas.

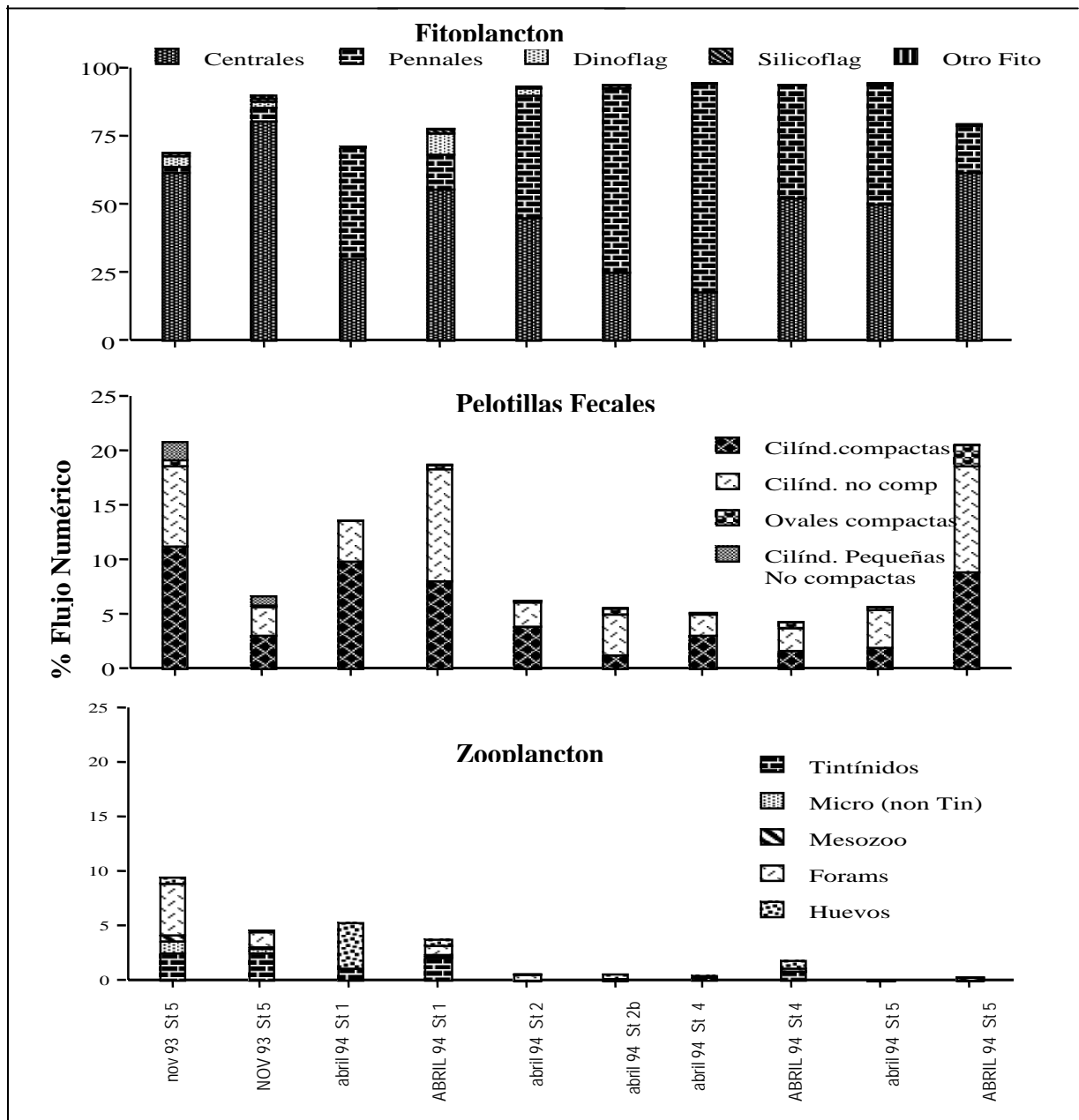


Figura 11. Florecimiento primaveral de abril 1994 y florecimiento de fines de otoño en la St. 5 en noviembre – diciembre de 1993. Abundancias relativas en términos de sus flujos numéricos de varias clases de partículas fitoplanctónicas, fecales y zooplanctónicas. Notar la dominancia de las células fitoplanctónicas, incluyendo numerosas formas penales. En eje de las x, las mayúsculas son las trampas grandes y las minúsculas las trampas pequeñas. En el eje de las abcisas las mayúsculas corresponden a las trampas grandes y las minúsculas a las trampas pequeñas.

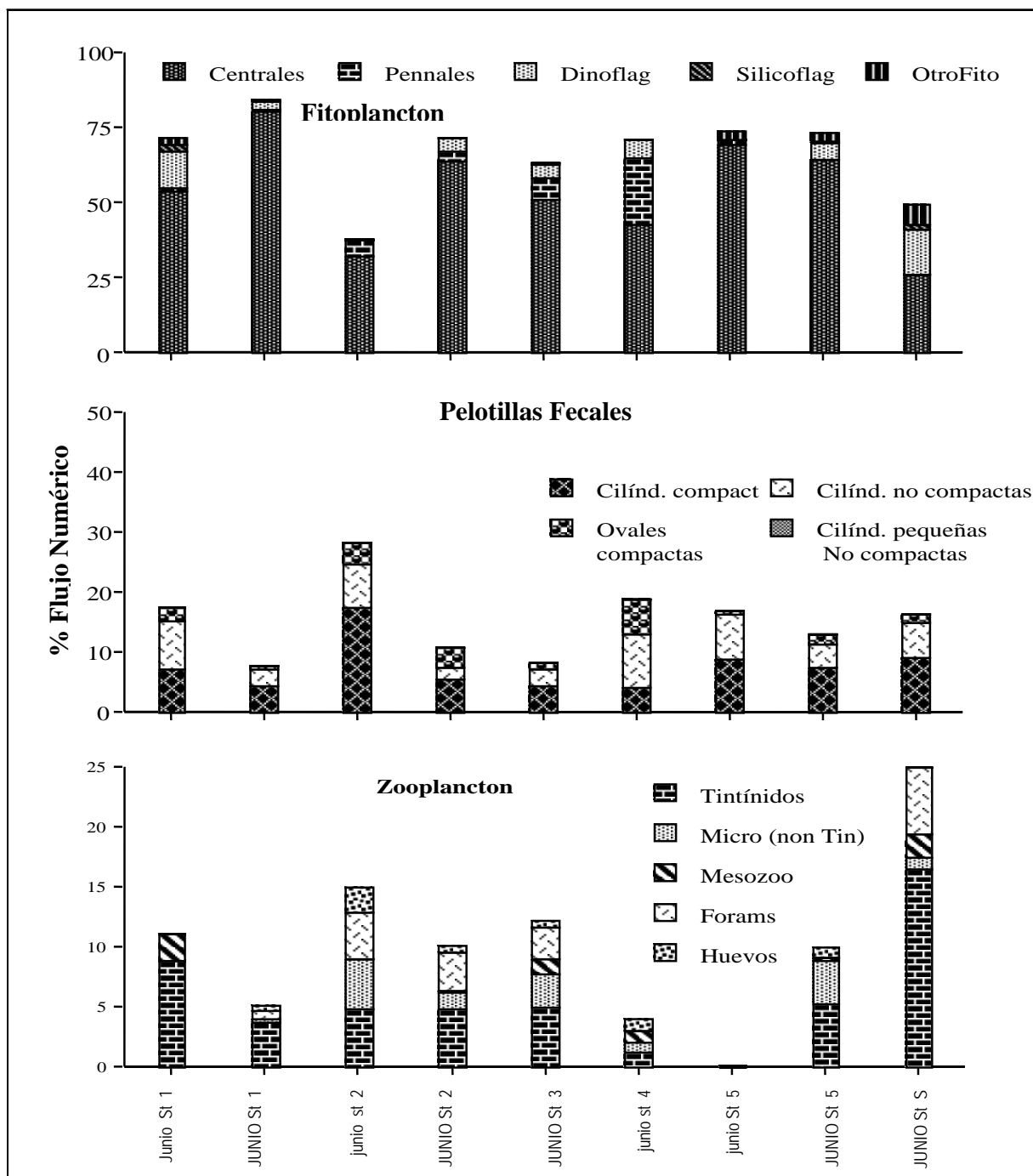


Figura. 12 Periodo de “post-florencimiento” de junio de 1994. Abundancia relativa, en términos de sus flujos numéricos, de varias clases de partículas fitoplanctónicas, fecales y zooplanctónicas. Nótese los decrementos en la contribución del fitoplancton, particularmente de las diatomeas pennales. En el eje de las abcisas las mayúsculas corresponden a las trampas grandes y las minúsculas a las trampas pequeñas.

Los detalles de las abundancias relativas de varias clases de pelotillas fecales y sus diámetros están representados en la fig. 13. Las formas compactas y no compactas fueron abundantes en todas las clases de tallas. Partículas con diámetros entre 50-90 μm (clases B y C en la fig.13) fueron consistentemente las pelotillas fecales más abundantes en todas las muestras de trampas. Pelotillas fecales con diámetros de 20-49 μm (clase A) fueron mucho menos abundantes y probablemente producidas por pequeños copépodos. En particular, las trampas de noviembre y diciembre 1993 fueron las únicas que contuvieron abundantes pelotillas fecales fácilmente diferenciables (heces pequeñas no compactas). Pelotillas fecales más grandes (110-200 μm) aparecieron esporádicamente, probablemente representando la contribución de tallas grandes del meso zooplancton tales como eufáusidos, misidáceos y anfípodos. Las heces ovales fueron particularmente evidentes en las muestras de mayo, junio y julio.

2.3.4 Abundancia de las diferentes clases de partículas: área de superficie

Los flujos numéricos representados arriba proporcionan una caracterización válida de las partículas que comprenden el flujo vertical y permitieron compararlos con otros estudios numéricos (tabla 5). No obstante, las partículas individuales contadas varían en tamaño entre 10 μm (célula de diatomea) y varios cientos de micras (larvas de zooplancton y detritus) y los números no necesariamente reflejan sus verdaderas contribuciones en términos del “grueso” del material (volumen o masa) de las partículas en sedimentación. La superficie del área, sumada para cada clase de partícula observada, proporciona una mejor representación de la contribución relativa del “grueso” de la masa del flujo vertical de partículas. Las superficie de las área relativas no se ven afectadas por errores adicionales involucrados en la estimación de una tercera magnitud y de la densidad de las partículas. Aspectos en la conversión a volumen, y por consiguiente a masa y flujos de carbono, serán presentados en el capítulo III.

El grueso de las partículas en términos de dos dimensiones muestra que aunque las contribuciones del fitoplancton son aún importantes las pelotillas fecales son mucho más evidentes que las partículas del zooplancton y la nieve marina. La fig. 14 muestra las abundancias relativas de cada una de las seis principales clases de partículas encontradas en el material para los dos tipos

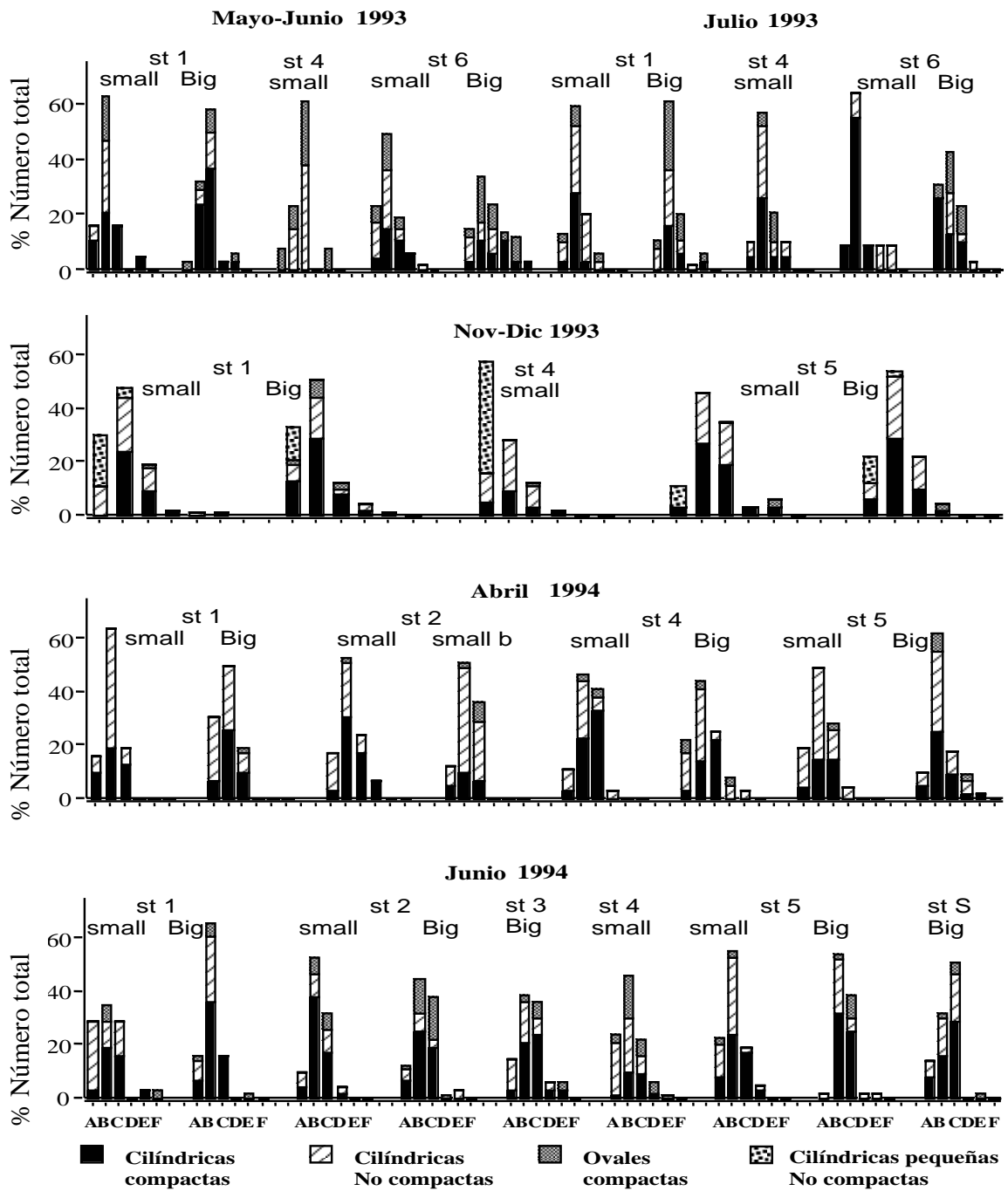


Figura. 13. La contribución de varias clases de pelotillas fecales al flujo numérico total fecal, como una función del diámetro de las heces. A = 20-40 μm; B = 50-79 μm; C = 80-109 μm; D = 110 -130 μm; E = 140 – 169 μm; y F = 170 – 199 μm. Nótese la fuerte contribución de heces con diámetros de la clase B y C, y la única aparición de cilíndricas pequeñas no compactas en noviembre-diciembre de 1993. Nota: (small = trampa pequeña), (Big = trampa grande).

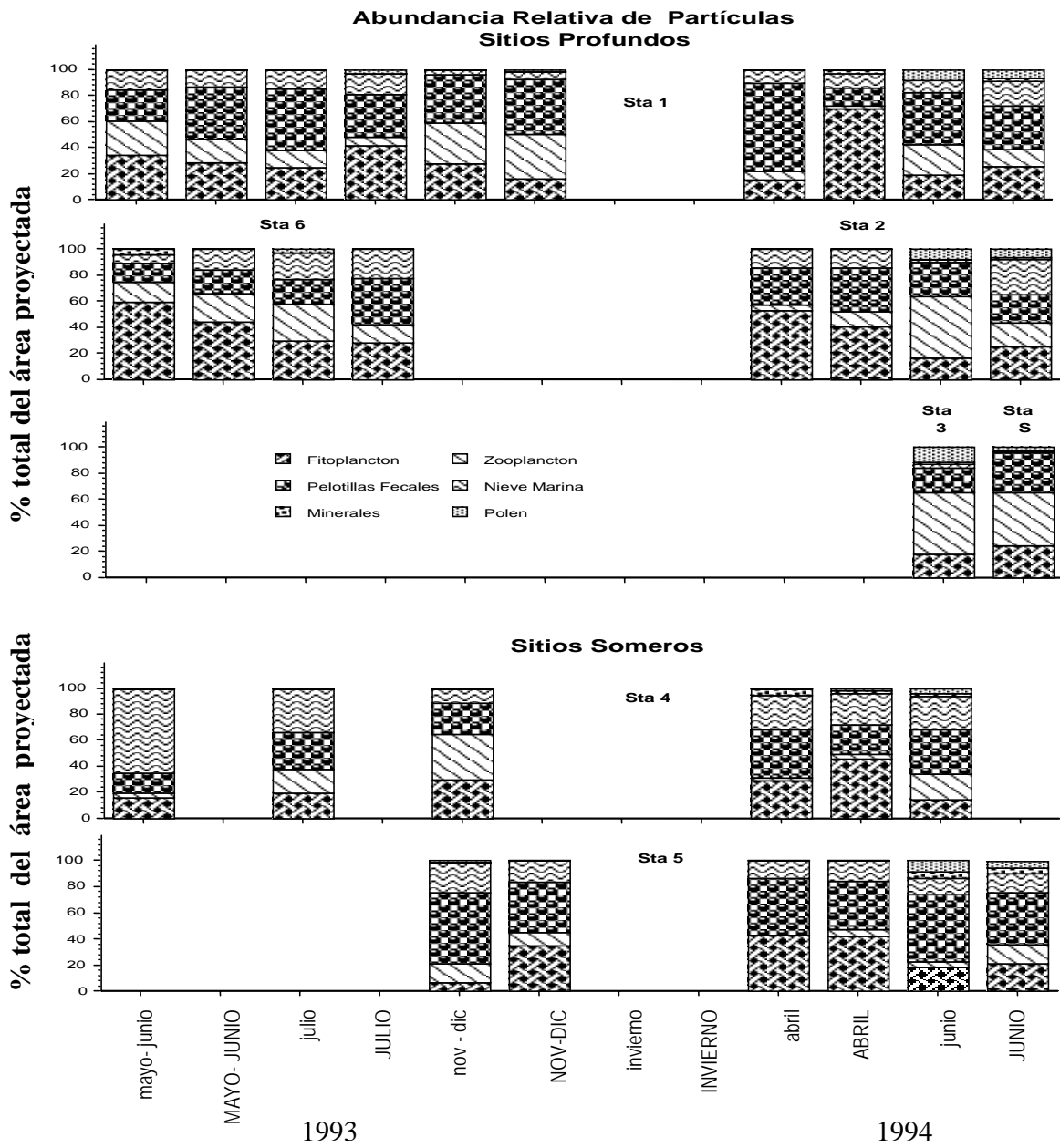


Figura 14. La abundancia relativa expresada como la superficie del área total ocupada por las diferentes clases de partículas observadas bajo el microscopio. Las mayúsculas corresponden a la trampa grande y las minúsculas a la trampa pequeña. Son excepciones la segunda muestra en la St. 2 de “ABRIL”, la cual es de hecho, la otra muestra de trampa pequeña tomada un día después y la muestra de la St. 3 “junio” que proviene de la trampa grande.

de trampas de libre deriva y para todos los sitios. La estación 1 (St. 1) fue el sitio más frecuentemente muestreado, seguido por las estaciones 4 y 5. Los datos de los otros sitios están fragmentados.

2.3.5 Abundancia de las diferentes clases de partículas: patrones temporales

Estudios de la estructura trófica en la columna de agua del Golfo de San Lorenzo han señalado dos condiciones contrastantes: periodos de florecimiento y no florecimiento (Rivkin *et al.*, 1996; Savenkoff *et al.*, 2000; Vezina *et al.*, 2000). Aunque los datos disponibles están fragmentados, también se intentó agrupar los resultados de trampas de sedimento dentro de periodos de tiempo distinguibles. Para propósitos de claridad, sólo las abundancias numéricas relativas son presentadas aquí, aunque son evidentes agrupamientos muy similares en los datos de áreas de superficie relativa. Se excluyen en estas gráficas polen y granos minerales así como partículas de origen terrestre para centrarse en el ecosistema marino.

Periodo de Florecimiento: Niveles de producción primaria mayores que $1200 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ han sido reportados únicamente para abril 1994 (Rivkin *et al.*, 1996, Savenkoff *et al.*, 2000), representando el periodo de primavera. Todas las mediciones en otros periodos produjeron tasas menores que $600 \text{ mgC/m}^2/\text{d}$. No obstante se observó un débil florecimiento de otoño (noviembre-diciembre 1993) en la St. 5. Si los datos de las trampas son agrupados entre ellos (fig. 11) emerge un claro patrón. Los florecimientos se reflejan en las trampas en las altas proporciones (frecuencia $>90\%$) de células fitoplanctónicas dominadas (excepto para el florecimiento tardío de otoño) por proporciones aproximadamente iguales de diatomeas pennales y centrales. Una variedad de especies (de los géneros *Thalassiosira*, *Melosira* y *Skeletonemma*) representan las diatomeas centrales, mientras que dos especies (*Fragilariopsis* spp. y *F. oceánica*) forman el grueso de las diatomeas pennales. La importancia de las pelotillas fecales y en particular las partículas del zooplancton fue menor.

Periodo de Post-florecimiento: En junio 1994 (fig. 12) el número de células del fitoplancton fue aún elevado, pero la influencia de las diatomeas pennales se redujo mucho. Una sola especie, *Thalassiosira nordeskioldii* dominó la abundancia de diatomeas centrales y los dinoflagelados fueron menos evidentes. El zooplancton mostró las diversidades más grandes durante este periodo

no obstante la abundancia de protozoarios (tintínidos y foraminíferos), el zooplancton incluyó más microzooplancton (crustáceos y larvas de bivalvos, estadios tempranos de *Calanus*, pequeños crustáceos y cladóceros).

Periodo de No florecimiento: Las muestras restantes de 1993 se muestran en la fig. 10. En los primeros meses las partículas del fitoplancton tendieron a constituir menos de la mitad del número total, siendo los dinoflagelados una gran proporción. Pelotillas fecales compactas y no compactas fueron abundantes; las ovals también fueron evidentes y las pelotillas chicas no compactas caracterizaron las muestras de noviembre-diciembre. El zooplancton más común consistió principalmente de los géneros de tintínidos (*Parafavella*, *Ptychocylis*, *Codonella* y *Poroecus*), de protozoarios como el género *Globigerina* y menores cantidades de estadios tempranos de *Calanus* spp. y pequeños sifonóforos.

2. 4. Discusión

2.4.1 Confiabilidad de las mediciones de trampas

Tasas de flujo absoluto. Existe considerable discusión en la literatura acerca de qué es exactamente lo que se recolecta en las trampas de sedimento y cómo éstas pueden estar sujetas a errores de muestreo de diferente clase (Gardner, 1996). Las trampas de anclajes pueden ser particularmente afectadas por la turbulencia en la boca y aun dentro de los mismos cilindros de la trampa (Gust *et al.*, 1992; 1994).

Se tiene confianza en que la trampa grande de deriva (0.5 m²) usada en este estudio proporciona estimaciones promedio razonables del flujo de masa total. Este instrumento ha estado en uso en el Estuario Marítimo de San Lorenzo (Lower St. Lawrence Estuary) y en el Golfo desde 1980. Hay pocas dudas de que existe una variabilidad considerable a pequeña escala espacial y temporal en este ambiente. Esto fue confirmado durante 2-3 semanas de instalaciones diarias de trampas por duplicado en un mismo sitio del estuario marítimo (Lavigne *et al.*, 1997). No obstante, cuando se agrupan suficientes datos como para proporcionar un promedio a relativamente largo plazo, los resultados de la trampa grande concuerdan con las tasas de acumulación de sedimento medidas independientemente, usando radioisótopos en núcleos de sedimento (Silverberg *et al.*,

1986). La trampa de serie de tiempo Technicap que recolectó para 12 meses, también concordó con las tasas de sedimentación del ^{210}Pb de los sedimentos del estuario. Un resultado similar fue obtenido para el sitio del Giro de Anticosti (Silverberg *et al.*, 2000) para el cual nosotros tenemos la cobertura más extensa con trampas de sedimento. Tal concordancia, dentro de un factor de dos y con tasas de acumulación de sedimento determinadas con ^{210}Pb , permiten de nuevo aceptar que, al menos, en el ambiente del profundo Canal Lorenziano, a una profundidad muy por debajo de la capa de mezcla (por viento y turbulencia termohalina) y con un ambiente de mínimo material particulado en suspensión, ambas trampas, la grande y la Technicap proporcionaron mediciones razonables.

Nuestros resultados muestran, por otro lado, que los cilindros pequeños (0.03 m^2 trampa chica) parecen recolectar más material por área de superficie de recolecta que los cilindros grandes. Al respecto, los efectos de dragado debido a diferencias en la resistencia de la superficie de flotación y la acción de dragado relativamente más pequeña de la trampa chica (con una placa amortiguadora pero sin vela) son considerados importantes (Boyd *et al.*, 1997). La eliminación de partículas en sedimentación por comedores de detritus, incluyendo coprofagia y fragmentación de heces por movimiento de los organismos (Roy *et al.*, 2000) en el espacio entre 50 y 150m de profundidad fueron otros mecanismos que pudieron reducir el aparente flujo en las trampas grandes. De cualquier forma, el relativo sobre muestreo fue cierto no sólo para las trampas pequeñas de libre deriva a 50 m comparadas con las trampas grandes a 150m de profundidad, sino también para las trampas grandes colocadas a los mismos 50 m de profundidad que las trampas pequeñas, y para los cilindros pequeños montados directamente sobre la estructura de la trampa grande (fig. 3). Tal tendencia de los pequeños cilindros recolectores de captar más flujo que las trampas de diámetro grande, puede ser relacionado con el decremento del número de Reynolds para la misma velocidad de corriente en trampas de anclaje (US JGOFS, 1989), pero nuestros resultados sugieren que éste es un problema que pudo haberse presentado también con las trampas de libre deriva.

Dada la naturaleza de visión instantánea (“snapshot”) de las observaciones de trampas de sedimento de 24-h., los errores estándar relativamente grandes en la estimación de flujo de masa total, así como las incertidumbres en la interpretación de las tasas de flujo usando la trampa de deriva chica, sería prudente considerar nuestros resultados de flujos de masa y carbono como los primeros indicadores de las tasas de transporte vertical en el Golfo de San Lorenzo. La

interpolación de flujos anuales es probablemente justificable solo para St.1, donde estuvieron disponibles abundantes mediciones (incluyendo 6 meses de datos de anclaje) (Silverberg *et al.*, 2000).

2.4.2. Composición del material en sedimentación

Nuestras trampas sin soluciones fijadoras fueron desplegadas por 24 hrs o menos, y no estuvieron sujetas a pasajes repetitivos de "migradores" verticales. Existe un número de indicaciones que las trampas realmente representan lo que se estuvo sedimentando durante los tiempos de muestreo. Para tratar con los "nadadores" zooplanctónicos, se optó en este estudio por un simple tamizaje de organismos > 1 mm. Un número significativo de nadadores (dominantemente copépodos) más grandes que 1 mm se encontraron sólo en 12 de las 32 colocaciones de trampas de libre deriva, y no hubo una relación entre el número de estos nadadores y el número de partículas de origen zooplanctónico (ejemplo: pelotillas fecales, fragmentos de meso-zooplankton y microzooplankton). El corto periodo de muestreo de las trampas sin preservadores pudo haber reducido el problema en el Golfo de San Lorenzo, al menos para los nadadores de talla del mesozooplankton. Además de morir con las soluciones fijadoras y adicionar sus cuerpos al grueso de la muestra acumulada (Lee *et al.*, 1988), los nadadores también pueden contaminar las trampas por liberación de huevos (Michaels *et al.*, 1990; Silver y Gowing, 1991). No obstante, la mayoría de los huevos encontrados en este estudio, fueron huevos de peces más que de copépodos y copépodos con sus sacos de huevos pegados, así como sacos de huevos que estuvieron entre las partículas eliminadas por la malla de 1mm. Huevecillos menores a 1 mm no fueron lo suficientemente numerosos como para influenciar fuertemente las abundancias relativas numéricas o áreas de superficie presentadas en este estudio.

Otros organismos además del zooplankton posiblemente entren a las trampas de sedimento durante su migración vertical. Heiskanen (1995), en aguas costeras del Báltico, encontró contaminación debida a la migración vertical de tres dinoflagelados y especies de ciliados de tallas del micro y nanoplankton, (nadadores fototróficos). De éstos, sólo el ciliado *Eutreptia* spp. se encontró en el GSL, en una trampa durante el invierno de 1993 y en muy baja abundancia.

Las trampas pequeñas y grandes aparentemente muestrean la misma clase de partículas en

sedimentación. Una observación de las figs. 10-14 muestra que la proporción relativa de los diferentes tipos de partículas esencialmente no cambió entre 50 y 150 m de profundidad o entre las trampas grandes y las chicas. Lo mismo está indicando la abundancia relativa y la distribución de tallas de las cuatro clases de pelotillas fecales (fig. 13). Los diámetros de la mayoría de las heces encontradas parecen ser de copépodos, grupo zooplanctónico más abundantes en la capa superior de la columna de agua.

Otra indicación de que el contenido de las trampas está reflejando lo que sucede en la zona fótica, es la similitud de las abundancias numéricas relativas de las principales clases taxonómicas del fitoplancton de muestras de botellas Niskin de la zona fótica (Lovejoy *et al.*, 2000) y las de los dos tipos de trampas de sedimento (fig. 15). Existen algunas diferencias por ejemplo en las trampas grandes, la proporción relativa de las células de diatomeas centrales se incrementó ligeramente y durante abril /1994 las diatomeas pennales fueron mucho menos abundantes en las trampas grandes que en las chicas, aun en la estación 5 en la que ambos modelos de trampas estuvieron a la misma profundidad. También la clase de los “ciliados desnudos” está sub-representada en las trampas. Estas diferencias están probablemente relacionadas con los diferentes procedimientos usados en el muestreo e identificación microscópica y a las propiedades de hundimiento de varios grupos de algas.

En este trabajo se concluye que la información de las trampas acerca de la composición del material que constituye el flujo vertical es más certera que los cálculos de los flujos absolutos y también más útil en la interpretación de cambios en el régimen ecológico.

2.4.3. Factores que influyen en las variaciones en la composición del material particulado en sedimentación

Las trampas de 24 hrs. analizadas para este estudio indican que la proporción relativa del tipo de partículas que formó el flujo vertical fue igualmente variable en todos los sitios (fig. 14). Esta aparente falta de distinción geográfica sugiere que el Golfo de San Lorenzo se comporta como una sola entidad que también fue observada en otro estudio de la columna de agua (Savenkoff *et al.*, 2000), no obstante las variaciones esperables de las diferencias en profundidad y distancia desde la

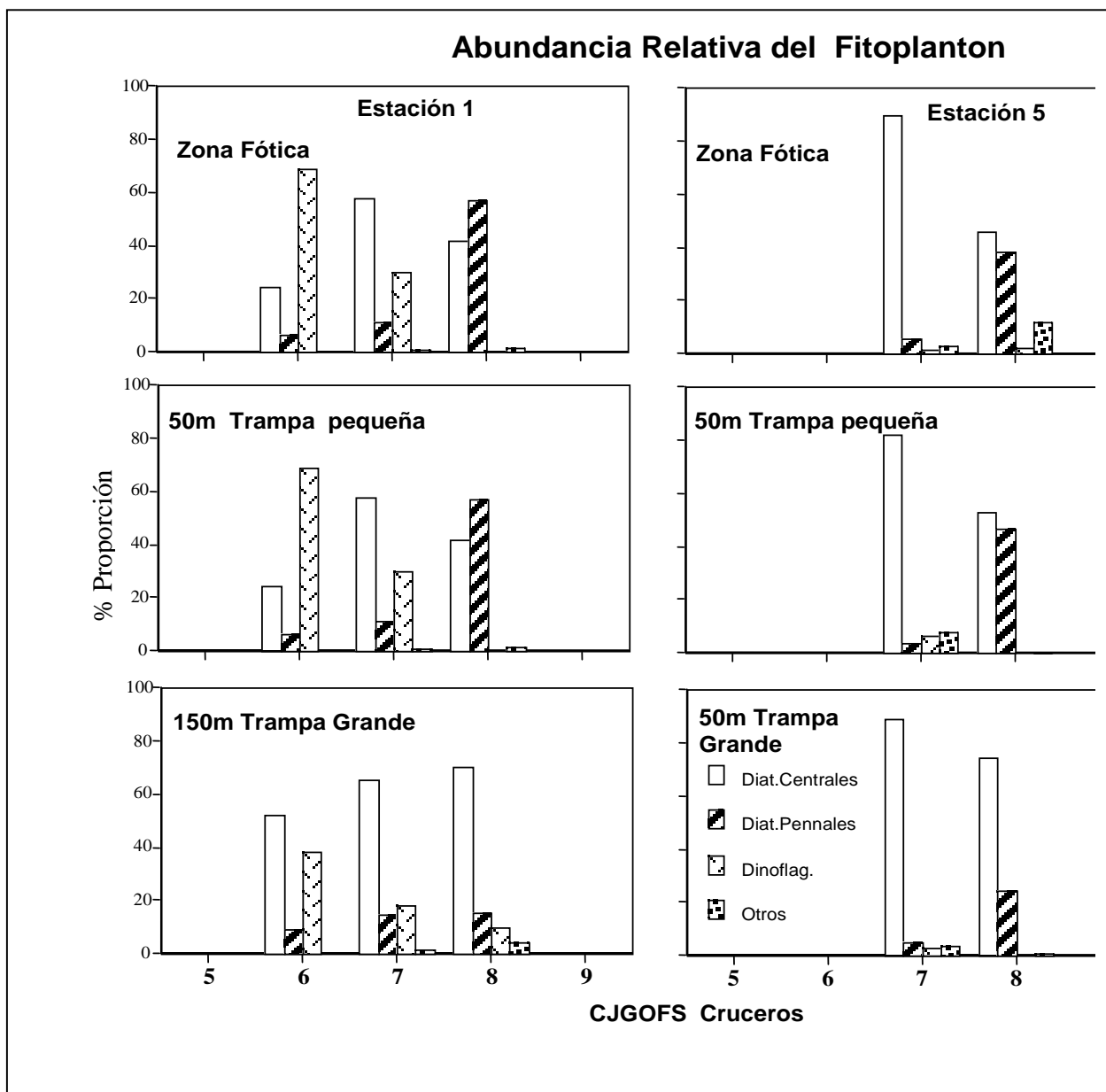


Figura 15. Comparación de la abundancia numérica relativa de las diferentes clases de fitoplancton medidas en muestras de: botellas Niskin de la zona fótica; trampa pequeña a 50 m de profundidad; y trampa grande a 150 m de profundidad – (a) St.1 Giro de Anticosti; (b) St. 5 Canal Miscou. La fuerte semejanza de composición en conjunto del fitoplancton indica que no hay errores significativos en el hundimiento de diferentes clases de fitoplancton o selectividad por las trampas de sedimento.

boca del estuario (Doyon e Ingram, 2000). Para distinguir diferencias geográficas sutiles, se

requieren datos más completos de series de tiempo, en lugar de un solo muestreo por estación del año, realizados por el programa de campo CJGOFS.

Las diferencias estacionales en la estructura trófica de la columna de agua, no obstante, estuvieron bien reflejadas en la composición de las partículas en sedimentación. Estudios simultáneos (Doyon *et al.*, 2000; Roy *et al.*, 2000; Savenkoff *et al.*, 2000; Tian *et al.*, 2000; Vezina *et al.*, 2000) y trabajos publicados previamente (Steven, 1974; Sevigny *et al.*, 1979; de-Lafontaine *et al.*, 1991; Rivkin *et al.*, 1996; Savenkoff *et al.*, 1996) documentan la presencia de dos distintos regímenes tróficos estacionales en la columna de agua durante los meses libres de hielo, fuertemente influenciados por el desarrollo de estratificación y la profundidad de la capa de mezcla de superficie. Los florecimientos del fitoplancton aparecieron a principios de primavera, generalmente en abril, cuando hay deshielo y dispersión, un incremento en la penetración de la luz y abundancia de nutrientes, aunque la capa de mezcla es aún relativamente profunda. Condiciones de no florecimiento o post-florecimiento ocurrieron durante el verano y principios de otoño, cuando el calentamiento de superficie, ayudado por la llegada al Golfo de agua dulce generada por el deshielo de primavera y los vientos ligeros, permitieron el establecimiento de una delgada capa de mezcla y un progresivo abatimiento de los nutrientes. Algunos florecimientos más pequeños pudieron ocurrir a fines del otoño, cuando la luz y la temperatura aún son suficientes para que el fitoplancton responda a la renovación de nutrientes en la zona fótica, así como a incrementos en la profundidad de la capa de mezcla.

Condiciones de invierno en el Golfo de San Lorenzo representan agua de superficie fría con >90% de cobertura de hielo, mezclas por fuertes vientos a profundidades mayores de 50 m y días cortos. Poca información hay disponible sobre esta estación del año, pero la abundancia del fitoplancton podría ser mínima y el número de organismos zooplanctónicos estarían probablemente reducidos, con algunas especies concentradas a la profundidad de la temperatura mínima (Rainville y Marcotte, 1985). Las trampas de series de tiempo de invierno en el Giro de Anticosti muestran niveles de flujo de masa total y flujo de carbón total similares a los observados durante las estaciones de año libres de hielo. Relaciones similares han sido observadas en el bajo estuario de San Lorenzo (“Lower St. Lawrence Estuary”; Louchouart *et al.*, 1996). Las razones C/N durante el invierno, en efecto, son algo más bajas que las del material recolectado durante el resto del año. Evidentemente, mecanismos para la formación de partículas de rápida sedimentación continúan

bajo la cobertura de hielo y la materia orgánica de origen marino es aún abundante.

La figura 9 muestra claramente el contraste entre los altos flujos numéricos debidos al fitoplancton durante el florecimiento de abril y los flujos numéricos más bajos, con una mezcla de pelotillas fecales y otras partículas de origen zooplanctónico durante los periodos de “no florecimiento” de 1993.

El material de las trampas de junio de 1994 pareció ser más una transición entre los dos regímenes tróficos descritos para la zona fótica, con una exposición variable de atributos de ambos regímenes. El florecimiento de fines de otoño fue claramente evidente sólo en St. 5. Durante abril /1994 (fig. 11), la dominancia del flujo numérico (70-95%) del fitoplancton grande (principalmente formas pennales, *Fragilariopsis* spp., así como los géneros de las diatomeas centrales *Thalassiosira*, *Chaetoceros* y *Skeletonema*) reflejaron sus abundancias en la zona fótica. (Lovejoy *et al.*, 2000). En junio de 1994 el fitoplancton constituyó sólo 40-80% del número de partículas en sedimentación y durante los muestreos de “no florecimiento” de 1993, su abundancia numérica relativa estuvo reducida del 25-75%.

Las diatomeas pennales fueron muy abundantes en abril (algunas tal vez originadas como algas de hielo o del fitobentos arrastrado por el hielo) y estuvieron marcadamente reducidas en otras épocas. Las especies de *Chaetoceros* spp. diatomeas centrales comunes durante abril y junio y en la St. 5 durante fines de otoño, se redujeron claramente durante los periodos de “no florecimiento”. Durante estos últimos (p.e. mayo-junio, julio y noviembre-diciembre, 1993) los dinoflagelados grandes, característicos del régimen trófico de verano-otoño (Rivkin *et al.*, 1996; Lovejoy *et al.*, 2000; Savenkoff *et al.*, 2000) fueron evidentes en el material de las trampas.

El intervalo de flujos numéricos del fitoplancton en el presente estudio corresponde a los valores reportados para ambientes de productividad relativamente baja (océano abierto, Pacífico NE, Atlántico NE – ver tabla 5 y las referencias ahí mismo). No obstante los flujos numéricos más altos medidos en el Golfo (abril 1994) son comparables a los de áreas de productividad moderada (p. e. Pacífico Tropical del E, fiordo noruego).

En áreas altamente productivas (tales como la zona de surgencias en mar abierto de California), los flujos de células fitoplanctónicas reportados son uno o dos órdenes de magnitud

más altos. Con aproximadamente 120-150 gC /m²/a (Steven, 1974; de-Lafontaine *et al.*, 1991; Savenkoff *et al.*, 1996; Tian *et al.*, 2000) la productividad primaria anual en el Golfo de San Lorenzo es considerada de moderada a alta. La falta de un flujo numérico correspondientemente alto de células fitoplanctónicas puede ser interpretado de varias maneras.

El hundimiento masivo asociado con agregación fitoplanctónica (Alldredge y Gotschalk, 1989; Passow *et al.*, 1994) pudo no ser común en el Golfo de San Lorenzo. Alternativamente, el hundimiento masivo pudo ocurrir, pero la sincronía de los muestreos de un día por sitio pudieron no coincidir con cualquiera de tales eventos.

El fitoplancton pudo estar intensamente pastoreado y roto en fragmentos muy pequeños para nuestros procesos de identificación, pudiendo haberse dispersado dentro de la nieve marina u oculto en la pelotillas fecales – las más grandes proporciones de feopigmentos en las trampas fueron durante periodos de florecimiento, indicando incremento de herbivorismo en la misma época (Roy *et al.*, 2000). La exportación lateral más que vertical también pudo ser un factor. Zakardjian *et al.* (2000) ha mostrado que corrientes de superficie en el bajo estuario de San Lorenzo fueron suficientes para producir considerable advección del fitoplancton.

El fitoplancton del material en sedimentación, en su contribución a la abundancia (área proyectada en 2D dimensiones) del material en sedimentación, promedió solo cerca de 30% (fig. 14). Roy *et al.* (2000) usando clorofila *a* como un indicador de la presencia de fitoplancton en las trampas también encontró baja contribución. La verdadera influencia de los florecimientos de diatomeas sobre las partículas en sedimentación deberá esperar futuros análisis de microscopía electrónica de la nieve marina y del contenido de las pelotillas fecales, ya que es probable que las resistentes paredes celulares de silicio, aún como restos, representen más fielmente el origen fitoplanctónico que su propia materia orgánica altamente lábil.

Las heces fueron un componente principal del flujo vertical, aportando aproximadamente un tercio del área en 2D de las partículas en las trampas, sin importar la estación de año o la profundidad. Curiosamente, en contraste con los números fitoplanctónicos, los flujos numéricos de las pelotillas fecales en el Golfo fueron altos, similares o más grandes que los reportados para otras costas o áreas de márgenes continentales (tabla 5). Esto estuvo probablemente relacionado a la alta

biomasa zooplanctónica (en promedio 2-5 gC / m² en todas las estaciones libres de hielo — (Savenkoff *et al.*, 2000) comparada con la de otros ambientes costeros (de-Lafontaine *et al.*, 1991). La alta proporción de pelotillas fecales en todas las estaciones del año estuvo en concordancia con la capacidad de calanoides y larváceas del zooplancton a cambiar sus dietas con los cambios en la estructura trófica (Urbán *et al.*, 1992). Similarmente, Vezina *et al.* (2000) modela fuertes vínculos tróficos entre el mesozooplancton y organismos del microzooplancton (flagelados, dinoflagelados heterótrofos y ciliados) los cuales fueron los herbívoros microbianos dominantes en todo el año.

No se cuenta con una interpretación clara sobre el origen de las diferentes formas de heces encontradas. Las cilíndricas no compactas y compactas generalmente se presentaron aproximadamente en proporciones iguales y pueden ser producidas de forma alterna dependiendo de qué tan rápidamente un organismo individual zooplanctónico procesa un particular evento alimenticio. Ambos tipos de heces han sido observadas en incubaciones de copépodos calanoideos a bordo del barco de muestreo. Copépodos calanoideos de tallas medias dominaron la biomasa zooplanctónica de esta región (Roy *et al.*, 2000). El origen de las heces ovales fue difícil de asignar. Esta forma ha estado atribuida a *Oithona similis* (Martens, 1978; González *et al.*, 1994a), una especie abundante en todos los sitios del Golfo (Roy *et al.*, 2000), sin embargo Smetacek (1980) observó que este copépodo produce pequeños “cúmulos detríticos”. Bathmann *et al.* (1990) las asignó a los ostrácodos, mientras que Deibel (1995; comunicación personal) identificó algunas en nuestras muestras como heces de *Oikopleura*. La presencia de pelotillas ovales en todas las clases de diámetro fecal sugirió un origen multiespecífico.

Los diámetros de pelotillas fecales de 50-109 µm, las más abundantes en todas las épocas y sitios (fig. 13) fueron las tallas generadas por copépodos calanoideos. Las heces de diámetros más grandes (110- 200 µm), las cuales pudieron ser generadas por eufáusidos y por otros organismos macrozooplanctónicos (> 2000 µm en talla), sólo fueron encontradas esporádicamente. Las pelotillas fecales tendieron a ser más abundantes durante los periodos de “no florecimiento” (en promedio 7.2 %), pero la variabilidad fue alta. En la St.1, se recolectaron pelotillas pequeñas, durante abril 1994, pero éstas contaron en promedio 5.6% para los otros periodos del muestreo. La única aparición de cilíndricas no compactas pequeñas durante el crucero de noviembre-diciembre 1993, ocurrió cuando el copépodo pequeño *Oithona similis* fue particularmente abundante en la columna de agua, junto con *Microcalanus pusillus*, otro copépodo pequeño (Roy *et al.*, 2000). Los

diámetros de pelotillas fecales no revelaron el cambio hacia los organismos más abundantes y pequeños del mesozooplankton durante los periodos de no florecimiento (Savenkoff *et al.*, 2000), ni a la permanencia de las especies de zooplankton más pequeñas en los sitios someros (fig. 13). La estación 4, no obstante, mostró una ausencia de cilíndricas compactas durante mayo-junio 1993, y generalmente una mayor proporción de nieve marina (fig. 14), la cual pudo reflejar una producción de pelotillas fecales más frágiles. La existencia generalmente mayor del mesozooplankton en los sitios someros fue parcialmente reflejada por los flujos numéricos relativamente altos de pelotillas fecales en las estaciones 4 y 5 durante noviembre-diciembre 1993 y junio 1994 (fig. 9). El reciclaje del material fecal durante su descenso a través de la columna de agua puede complicar la atribución de formas individuales a existencias zooplanctónicas específicas.

Roy *et al.* (2000) ha señalado fuertes diferencias entre la tasa de excreción de carbono de pelotillas fecales determinada por incubación en copépodos de la capas superiores de la columna de agua, y los correspondientes flujos de las trampas de sedimento chicas a 50 m y grandes a 150 m. En general, el flujo de carbono fecal en las trampas chicas a 50 m contó en 60-150% de su tasa de producción calculada en la columna de agua subyacente, mientras que en las trampas grandes a 150 m sólo contó cerca de 5%. Esto implica que la mayoría de la producción de pelotillas fecales sufrió severa degradación (bacterial, p.e. Martens y Krause 1990) o rompimiento físico (p. e. coprofagia, "coprohexy") durante su paso a profundidades intermedias (Noji, 1991). No obstante, los flujos de carbono fecal calculados para las concurrentes trampas grandes a los mismos 50 m de profundidad que las trampas chicas en las estaciones 4 y 5 mostraron un flujo de carbono fecal promedio respecto a la producción de 5.2%, el mismo que para estas mismas trampas grandes a 150 m. Aunque las trampas pequeñas pueden ser comparadas entre si, su tendencia a sobremuestrear tanto el peso seco total como las heces, significa que la proporción de pelotillas fecales en sedimentación vertical es cercana a la monitoreada por la trampas grandes. Así, la conclusión de que el destino de la mayoría de las heces producidas por el mesozooplankton en la columna de agua es el de ser degradadas, es apoyado cada vez más por los datos de las trampas grandes.

La nieve marina, término usado en este estudio para referirnos sólo a la matriz de agregados plumosos y de grano fino restantes después de la manipulación de muestreo, promedió cerca de 15% de la abundancia en 2D de la materia particulada observada al microscopio, pero varió en un amplio intervalo (2 - 65%). Estos valores fueron los más fuertemente sesgados en relación a su

actual contribución al flujo de masa total, ya que la densidad de la nieve marina fresca ha sido estimada cerca de $100 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ (Alldredge y Gotschalk, 1989; Alldredge, 1998), aproximadamente diez mil veces menos densa que las pelotillas fecales ($\sim 1.1 \text{ g}/\text{cm}^3$, Silver y Gowing, 1991). Las proporciones relativas por consiguiente, podrían ser usadas sólo como un indicador de la disponibilidad relativa del polisacárido “pegamento” e inclusión de detritus de grano fino. Sería recomendable que futuros estudios aprovechen nuevas técnicas calorimétricas para estimar las partículas de polímeros transparentes o TEP (Passow *et al.*, 1994). Existe una débil correlación negativa ($r = 0.46$ $P = 0.05$) entre la abundancia de nieve marina y la del zooplancton, sugiriendo que la nieve estuvo sujeta al pastoreo del zooplancton. Por otro lado, los más altos contenidos de nieve fueron observados en el sitio de la plataforma de Magdalena (St. 4), donde Roy *et al.* (2000) observaron las mayores proporciones de los copépodos de tallas más pequeñas, los cuales pudieron generar más nieve a través del rompimiento de sus heces más frágiles.

Algunos modelos de exportación vertical de carbono biogénico desde la zona fótica tienden a suponer que el hundimiento directo del zooplancton o de su detritus aparte de sus pelotillas fecales, no es un componente significativo del flujo vertical de la zona (Rivkin *et al.*, 1996; Vezina *et al.*, 2000). La abundancia del micro-zooplancton aparentemente intacto (principalmente tintínidos, formas larvarias y huevos) así como foraminíferos y varios fragmentos de organismos del mesozooplancton (en promedio 15% del área proyectada en 2D) encontrados en el presente trabajo, sugiere que tal hundimiento directo del zooplancton sí es significativo en el flujo vertical del GSL y amerita futuras investigaciones. Mientras que algunas de esas formas (p. e. huevos de copépodos) pueden ser excluidas del flujo vertical, ya que pueden ser liberadas por copépodos nadadores que mueren después de entrar a las trampas (Silver y Gowing, 1991), o que pueden entrar a las trampas por migración vertical (Michaels *et al.*, 1990); los componentes vivientes del zooplancton no pueden ser todos excluidos cuando se analiza el material de las trampas (Silver y Gowing, 1991). Una sucesión de organismos ha sido encontrada colonizando grandes agregados (Silver *et al.*, 1984), y otros organismos pequeños son probablemente atraídos por la materia orgánica relativamente lábil, o pegarse, voluntariamente o no (Shanks y Edmonton, 1990). Las trampas usadas en este estudio fueron colocadas sólo por 24 h, tiempo insuficiente como para ser encontradas por los organismos migradores diarios además, éstas no contenían solución preservadora como para ocasionar la rápida muerte de los nadadores, o la liberación de sus huevos

por estrés. De hecho, la mayoría de los huevos encontrados en las trampas del Golfo fueron de peces más que de copépodos. El problema del componente microzooplanctónico del material de las trampas, requerirá considerablemente más atención antes de que pueda ser resuelto. Es probable que el destino de muchos organismos vivientes activa o pasivamente asociados con los complejos agregados ricos en alimento de nieve marina, fitoplancton y material fecal, estén en hundimiento junto con el resto de detritus particulado en el océano costero. Una asociación similar de abundante microzooplancton en trampas sin soluciones fijadoras dominada por pelotillas fecales ha sido reportada en Bjornafjorden (González *et al.*, 1994b).

Se supone que una gran proporción de las numerosas partículas microzooplanctónicas observadas en las trampas forman parte del verdadero flujo vertical. Durante periodos de no-floreCIMIENTO éstas integraron una significativa porción en número o en abundancia del material en sedimentación, particularmente cuando se ignoran los granos de polen y la nieve marina (figs. 10-12). Durante el florecimiento primaveral de abril de 1994, este mismo microzooplancton ocupó en promedio sólo 4% de la abundancia total particulada representada en área de superficie, pero promediaron 20% para los otros periodos muestreados. Junto con los dinoflagelados (agrupados con el fitoplancton en nuestros conteos, aunque la mayoría fueron no autótrofos) su abundancia en las trampas confirmó el régimen trófico predominantemente heterotrófico en la columna de agua durante los periodos de no-floreCIMIENTO.

A pesar de las limitaciones del pequeño número de mediciones de flujos absolutos, el registro de trampas del CJGOFS proporciona una buena representación de la composición de las partículas en sedimentación. Esto claramente apunta hacia una muy fuerte influencia del material de origen zooplanctónico sobre el flujo vertical del material particulado, tanto en forma de heces del mesozooplancton como en fragmentos corporales del microzooplancton. El hundimiento directo de las células del fitoplancton es importante numéricamente sólo durante los periodos de florecimiento y de post-floreCIMIENTO. Mucha de la materia orgánica primariamente producida durante fotosíntesis debe, por lo tanto, ser transformada por los heterótrofos antes de que escape de la superficie y de aguas intermedias.

CAPÍTULO III

VECTORES DE TRANPORTE DEL CARBONO

3. La contribución de varios tipos de partículas en hundimiento al flujo de carbono orgánico en el Golfo de San Lorenzo (GSL).

3.1 Introducción

Para la comprensión del papel del océano en el ciclo global del carbono es importante adquirir el conocimiento acerca de la exportación del material particulado y sus componentes biogénicos, a partir de la capa de superficie oceánica (Fenchel, 1988; Hedges *et al.*, 1988; Valiela 1995; Turner 2002). Uno de los parámetros necesarios en los modelos del ciclo del carbono oceánico es la tasa de “secuestro” del exceso de CO₂ vía sedimentación y aislamiento de carbono orgánico en las partes más profundas del océano (p. e. Berner, 1982; Silverberg *et al.*, 2000).

Otro aspecto relevante en la comprensión del ciclo del carbono marino y sus flujos de exportación ha sido el inicial concepto que la producción primaria en los océanos, resulta de la entrada de nutrientes alóctonos (principalmente nitratos), a la zona fótica (que soportan la producción nueva) y de nutrientes reciclados (urea y amonio) de las aguas de superficie (que mantienen la producción regenerada). Se calcula que en una escala aproximada de un año, la producción nueva global es aproximadamente el flujo de hundimiento de material orgánico particulado (transporte vertical) hacia el océano profundo Eppley y Peterson (1979).

Los cambios en los regímenes tróficos son complejos en todas las regiones marinas (Lalli y Parsons, 1993; Rivkin *et al.*, 1996). El conocimiento acerca de la naturaleza de las partículas en sedimentación puede ayudar a comprender cuáles mecanismos son importantes en diferentes regiones y épocas del año. Las partículas implicadas en el transporte vertical incluyen grandes células de fitoplancton, agregados de diatomeas, pelotillas fecales, micro-organismos así como agregados de nieve marina (Honjo, 1980; Fowler y Knauer, 1986; Alldredge y Silver, 1988; Silver y Gowing, 1991; Romero *et al.*, 2000).

Sobre material particulado en sedimentación se han llevado a cabo numerosos estudios sobre flujos de masa y de carbono en el océano. En general, se ha publicado más información concerniente al océano abierto (p. e. Knauer *et al.*, 1979, Honjo, 1980; Knauer y Martin, 1981; Honjo *et al.*, 1982; Margrave, 1985; Fowler y Knauer, 1986; Martin *et al.*, 1987; Karl *et al.*, 1988; Lohrenz *et al.*, 1992; Murray *et al.*, 1997), que de aguas costeras (Dumbar y Berger, 1981; Hedges

et al., 1988; González *et al.*, 1994a; González *et al.*, 1994b; Buck y Newton, 1995; Lundsgraad y Olesen, 1997). A pesar de que algunos de estos estudios tratan sobre la contribución de partículas específicas al flujo del COP (Carbono Orgánico Particulado) (Turner, 1977; Honjo y Roman, 1978; Bruland y Silver, 1981; Fowler y Knauer, 1986; Turner, 2002), tal información es rara y fragmentada, tanto para el océano abierto como para la zona costera. El estudio más completo que asignó contribuciones de carbono a todos los componentes del material de trampas incluyendo la nieve marina es el de Silver y Gowing (1991), de acuerdo al cual se basa gran parte de la metodología del presente estudio.

Los ambientes marinos menos productivos (oligotróficos) tales como el océano abierto donde dominan largas cadenas tróficas y tallas pequeñas de organismos (Azam *et al.*, 1983; Fenchel, 1988) que tienden a transferir hacia el fondo menos material orgánico en relación a los ambientes más productivos (eutróficos), tales como regiones costeras y de surgencias con cadenas tróficas más cortas y tallas de organismos más grandes (Eppley y Peterson, 1979; Silver y Gowing, 1991; Lalli y Parsons, 1993). Algunos estudios sugieren que el flujo vertical es dominado por partículas de origen zooplanctónico (p. e. Urrère y Knauer, 1981; Noji, 1991), otros sugieren de mayor importancia, alguna forma de agregación de células de fitoplancton para representar el hundimiento masivo de carbono orgánico (Alldredge y Gotschalk, 1989; Passow *et al.*, 1994).

El Golfo de San Lorenzo (GSL), donde se llevó a cabo el presente estudio es único al poseer tanto características oceánicas como costeras (Therriault, 1991), lo cual hacen de él una excelente región para estudiar el ciclo del carbono marino. Existen algunos estudios anteriores publicados acerca del ciclo del carbono y flujos de partículas en el Golfo y Estuario de San Lorenzo, principalmente para el Canal Lorenziano profundo. Estos incluyen flujos totales de masa y de carbono (Hargrave y Prouse, 1981; Syvitski *et al.*, 1983; Silverberg *et al.*, 1986; Hargrave *et al.*, 1994) y la geoquímica orgánica de las partículas en sedimentación y sedimentos (Silverberg *et al.*, 1985; Colombo *et al.*, 1996, 1997ab, Lavigne *et al.*, 1997; Colombo *et al.*, 1998).

Para la primavera y principios de verano Rivkin *et al.* (1996) describen dos distintos regímenes tróficos: a) un florecimiento fitoplanctónico de primavera dominado por el herbivorismo, y b) un periodo de post-florecimiento durante el cual la cadena alimenticia microbiana y el omnivorismo dominan. De manera interesante los flujos verticales de carbono

fueron similares durante ambos periodos. Esta alternancia entre periodos de florecimiento y no florecimiento ha sido también observada en otros trabajos en esta región (Savenkoff *et al.*, 1996, 2000; Vezina *et al.*, 2000). Roy *et al.* (2000) reportan las primeras mediciones directas y los cálculos de las estimaciones de contenido de carbono de pelotillas fecales del Golfo de San Lorenzo a 50 y 150 m de profundidad, señalando la importancia de este tipo de partícula como un vector de transferencia de carbono en esta región.

La naturaleza de las partículas grandes capturadas en las trampas de sedimento colocadas en el GSL durante este estudio fue descrita en el capítulo anterior y publicado (Romero *et al.*, 2000). Los tipos de partículas grandes encontradas, así como sus flujos numéricos, distinguen tres periodos: (1) “florecimiento” de algas, con mayores flujos numéricos del fitoplancton dominado por diatomeas centrales y pennales, (2) periodo de “post-florecimiento”, con menos fitoplancton y dominado por diatomeas centrales, y (3) periodo de “no- florecimiento”, con una mezcla heterogénea de partículas (dinoflagelados, pelotillas fecales, micro-zooplancton). Las heces fueron identificadas como el vector más evidente en el GSL.

La contribución en carbono de cada uno de estos componentes del flujo no ha sido reportada para el GSL. Esta información faltante es esencial para la comprensión de los procesos biológicos y regímenes tróficos que controlan el flujo de material orgánico particulado en esta región. El objetivo del presente trabajo fue estimar la contribución de carbono de las partículas que participan en el flujo vertical de la materia orgánica en el Golfo de San Lorenzo.

3.2. Metodología

Para el estudio que se describe en el presente capítulo, sólo fueron consideradas las estaciones localizadas en el GSL. Se utilizaron dos tipos de trampas de sedimento de libre deriva para muestrear las partículas en sedimentación: a) una trampa pequeña, que consistió de cuatro cilindros idénticos de plexiglás de 98 cm de longitud y 10.2 cm de diámetro interno, fijados sobre una cruz metálica con 35 kg de peso de lastre por debajo, y b) una trampa grande, que consistió de cuatro cilindros de PVC, midiendo cada uno 30 x 150 cm (con un superficie de colecta de 1/8 mm²) montada sobre una estructura de aluminio, provista de una placa oscilante al fondo con un peso de 30 kg y una vela de 2 m² (Silverberg *et al.*, 1985). Este diseño permitió un mínimo de

fricción y un posicionamiento vertical en el agua. Las trampas pequeñas fueron colocadas a 50 m, mientras que las trampas grandes lo fueron a 50 m ó a 150m de profundidad. Otros detalles técnicos, así como procedimientos manuales de las trampas y manipulación de muestras, se describen en material y métodos del Capítulo II.

Una vez que las fracciones destinadas a microscopía fueron obtenidas, se tomó una submuestra de 1 ml de cada una de ellas para después depositarlas individualmente en cámaras de sedimentación para fitoplancton y proceder a su identificación y conteo (Hasle, 1978). Todas las partículas en la submuestra fueron identificadas, contadas y medidas, utilizando un microscopio invertido Zeiss Axiovert-100. Mientras que la longitud y amplitud fueron fáciles de medir, la tercera dimensión (alto) no pudo ser medida directamente, no obstante ser una medida esencial para estimar volumen; por ello los volúmenes fueron calculados mediante algoritmos que se muestran en la tabla 6 para cada tipo principal de partículas (fitoplancton, pelotillas fecales, zooplancton y polen).

Fitoplacton. Los cálculos de volumen se basaron en las formas geométricas más parecidas a las células observadas. Cilindro: para diatomeas centrales en cadenas. Para diatomeas unicelulares, una forma de cilindro corto fue utilizado con la misma fórmula, excepto para la “h” (altura, espesor) que fue obtenida de la literatura (Hasle y Lange, 1992).

Prisma rectangular: esta forma fue usada para unas pocas diatomeas centrales y más para diatomeas pennales. Elipse: sólo utilizada para dos géneros de diatomeas pennales. Cubo: para las únicas dos especies de silicoflagelados encontradas y para las raras tallas grandes de nanoflagelados denominadas “otros” en el texto.

Para las estimaciones de carbono fitoplanctónico se utilizó la ecuación de Strathmann (1967) con la modificación recomendada por Sicko-Goad *et al.* (1977), la cual reduce el contenido de carbono por un factor de 0.54 que representa la presencia de la vacuola. La atribución de carbono a todas las partículas del fitoplancton fue realizado una segunda vez, usando las más recientes correlaciones determinadas por Menden-Deuser y Lessard (2000). Los resultados de ambas ecuaciones (tabla 7) fueron comparables, excepto por las contribuciones de carbono de dinoflagelados y silicoflagelados que fueron un poco más grandes, pero de igual forma las

Tabla 6. Fórmulas para estimar el volumen de las partículas y ecuaciones respectivas para cálculos de carbono.

Tipos de partículas y formas geométricas asignadas			Silver y Gowing (1991)	Menden-Deuer y Lessard (2000)					
	Área	Volumen	Modificaciones a la regresión de Strathmann pg carbono/ célula	Células > 10 ³ μm ³	Parámetros		Mediciones microscópicas		Unidades de volumen
				C = pico gramos de carbono/ cell	log a	b			
Diatomeas Pennales									
Prisma rectangular	(L)*(l)	(L)*(l) ²	Log C= - 0.460+0.866 (logV)	Log pgC cell = log a+ b (log V)	-0.993	0.881	L = longitud	l = ancho	V = Volumen (μm ³)
Elipse		4/3 Pi(a) ² b	Log C= - 0.460+0.866 (logV)	Log pgC cell = log a+ b (log V)			a = eje corto	b = eje largo	V = Volumen (μm ³)
Diatomeas Centrales									
Cilindro (individual)	Pi*R ²	Pi(D/2) ² H	Log C= - 0.460+0.866 (logV)	Log pgC cell = log a+ b (log V)			D = diámetro	h = ancho \$	V = Volumen (μm ³)
Prisma rectangular (forma en cadena)	(L)*(l)	(L)*(l) ²	Log C= - 0.460+0.866 (logV)	Log pgC cell = log a+ b (log V)			L = longitud de cadena	l = ancho de cadena	V = Volumen (μm ³)
Dinoflagelados									
Prisma rectangular	(L)*(l)	(L)*(l) ²	Log C= - 0.460+0.866 (logV)	Log pgC cell = log a+ b (log V)	-0.119	0.819	L = longitud	l = ancho	V = Volumen (μm ³)
Silicoflagelados									
Cubo	L ²	(L) ³	Log C= - 0.460+0.866 (logV)	Log pgC cell = log a+ b (log V)	-0.694	1.218	L = longitud		
Huevos de peces									
Esfera	4/3 Pi R ²	4/3 Pi R ³	pgC = V * 0.1 \$\$				R = 1/2 diámetro		
Microzooplancton (No Tintinnido)							L = longitud	l = ancho	V = Volumen (μm ³)
Formas larvales de moluscos, crustáceos	(L)*(l)	(L)*(l) ²	pgC = V * 5.25*10 ⁻²				L = longitud	l = ancho	V = Volumen (μm ³)
Protozoarios tintinnidos	(L)*(l)	(L)*(l) ²	pgC = V * 5.25*10 ⁻²				L = longitud	l = ancho	V = Volumen (μm ³)
Mesozooplancton									
Sifonóforos, copépodos.	(L)*(l)	(L)*(l) ²	pgC = V * 5.25*10 ⁻²				L = longitud	l = ancho	V = Volumen (μm ³)
Polen \$\$\$	(L)*(l)	(L)*(l) ²	Log C= - 0.460+0.866 (logV)				L = longitud	l = ancho	V = Volumen (μm ³)

\$ Hasle y Lange (1992)
 \$\$ de huevos de copépodos (Runge 1984) in Silver y Gowing (1991)
 \$\$\$ se asume equivalente a diatomeas

Tabla 7. Contribución en carbono aplicando las ecuaciones de Menden-Deuer y Lessard (2000) y las ecuaciones de Strathmann (1967) modificadas por Silver y Gowing (1991).

Tipo de Partícula	mgC / fracción Strathmann (1967) modif. por Silver y Gowing (1991)	mgC / fracción Menden-Deuer y Lessard (2000)
Jun/94 - St. S- trampa grande		
Diatomeas centrales (círculo)	0.0160	0.0106
Diatomeas centrales (prism. rect)	0.0044	0.0033
Diatomeas pennaes (prism. rect.)	nd	nd
Diatomeas pennaes (elipsoide)	nd	nd
Dinoflagelados (prism. rect.)	0.2258	0.2590
Silicoflagelados (cubo)	0.0019	0.0046
Otros	0.0120	0.0118
Nov/93 - St. 5- trampa grande		
Diatomeas centrales (círculo)	0.2640	0.0174
Diatomeas centrales (prism. rect)	0.0210	0.0135
Diatomeas pennaes (prism. rect.)	0.0012	0.0006
Diatomeas pennaes (elipsoide)	0.0001	0.0000
Dinoflagelados (prism. rect.)	0.1497	0.1583
Silicoflagelados (cubo)	0.0013	0.0028
Otros		
Jun/94 - St. 1- grande		
Diatomeas centrales (círculo)	0.0135	0.0089
Diatomeas centrales (prism. rect)	0.0261	0.0170
Diatomeas pennaes (prism. rect.)	nd	nd
Diatomeas pennaes (elipsoide)	0.0001	0.0000
Dinoflagelados (prism. rect.)	0,0197	0,0243
Silicoflagelados (cubo)	nd	nd
Otros	0.0043	0.0041
Abr/94 - St. 5- pequeña		
Diatomeas centrales (círculo)	0.0022	0,0014
Diatomeas centrales (prism. rect)	0.0097	0.0064
Diatomeas pennaes (prism. rect.)	nd	nd
Diatomeas pennaes (elipsoide)	0.0022	0.0014
Dinoflagelados (prism. rect.)	0.0021	0.0014
Silicoflagelados (cubo)	0.0003	0.0001
Otros	nd	nd

ecuaciones de estos últimos autores fueron aplicadas para los subsecuentes tratamientos.

Pelotillas fecales. Las estimaciones de volumen se basaron en dos formas geométricas: Cilindro para pelotillas compactas y no compactas. Elipse sólo para heces ovales. Para la estimación del contenido de carbono, se siguieron los algoritmos de Silver y Gowing (1991).

Zooplankton: Los volúmenes estimados estuvieron basados en dos formas geométricas. Prisma rectangular para todos los organismos del microzooplankton y de tallas del mesozooplankton. Esfera: sólo las estimaciones de huevos de peces fueron estimadas usando esta forma.

Polen: Las estimaciones de volumen para el polen se basaron en la forma de prisma rectangular y del carbono, con la ecuación de Strathmann

Otras consideraciones: Copépodos más grandes de 1 mm fueron eliminados de los cálculos, bajo el supuesto de que estos pocos organismos no fueron eficientemente tamizados con la malla de 1mm utilizada para separar los “nadadores”. No obstante, debido a que los resultados dieron volúmenes extremadamente altos para organismos completos del mesozooplankton, tres muestras de las fracciones originales (50-70 ml) fueron examinadas en su totalidad, específicamente para determinar el número de organismos completos del mesozooplankton menores de 1 mm. Estos resultados mostraron que los conteos de submuestras de 1 ml, sobre estimaban esta clase de partícula por un factor de 2-3. Los datos fueron divididos, por lo tanto entre 2.5 para este componente en todas las submuestras. El volumen del carbono de fragmentos de mudas desprendidas de crustáceos, cuyos volúmenes están esencialmente vacíos pero cuentan por igual para el carbono orgánico detrítico, fueron divididos por su relación forma-volumen entre 10 para los fragmentos delgados y largos (tales como patas de crustáceos) y entre 2 para los fragmentos más anchos (p. e. mudas de copépodos). En las trampas pequeñas, las cuales proporcionaron frecuentemente muestras muy pequeñas, los errores de manipulación y pipetaje probablemente causaron la exageración de los valores de carbono. Para tintínidos, sólo una tercera parte de las lóricas observadas estuvieron llenas, por lo que las estimaciones de carbono fueron reducidas a un tercio del valor calculado.

Los foraminíferos (*Globigerina*) fueron eliminados de los cálculos, ya que no se observaron organismos al interior de sus conchas. La contribución del carbonato de calcio de sus conchas fue

determinada independientemente y están incluidas en las determinaciones directas de carbonatos del material de las trampas (Mucci *et al.*, 2000). Para larvas de bivalvos, el contenido de carbono estimado fue reducido por un factor de 50%, porque cerca de la mitad correspondió a valvas de CaCO_3 . A pesar de las precauciones tomadas durante el procedimiento de fraccionamiento de las muestras y pruebas de pipetaje, se obtuvieron altos conteos de huevos de peces en las estaciones (2b) en abril 1994 y (1s) en junio 1994, por lo que las estimaciones de carbono para huevos de peces de esas dos estaciones, fueron tomadas del promedio de valores encontrado para el resto de las estaciones de cada crucero. El contenido del carbono de componentes y flujos fue luego determinado por la suma de todas las contribuciones de carbono para cada clase de partícula contada y corregida por el submuestreo y talla de fracción. Siguiendo a Silver y Gowing (1991), el carbono de la nieve marina fue calculado sustrayéndolo del carbono total atribuido al carbono total en la trampa de sedimento y determinado independientemente por análisis (CHN de otra fracción).

3.3 Resultados

3.3.1 Flujos absolutos atribuidos a los componentes medidos del material en sedimentación

pesaron en filtros nucleopore® quemados a 950 °C y analizados para carbono y nitrógeno usando un analizador elemental modelo Perkin-Elmer.

Los flujos absolutos de carbono asignados a las diferentes clases de partículas (expresados en $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) se muestran en la fig. 16 para las estaciones y épocas del año muestreadas. Los principales contribuyentes fueron claramente las pelotillas fecales y el fitoplancton. Flujos de carbono total medidos con análisis químicos de CHN (análisis para carbono y nitrógeno en un analizador elemental Perkin-Elmer, -ver Metodología de capítulo II) son generalmente más altos porque incluyeron la contribución de nieve marina, que no está incluida aquí. No hubo tendencias geográficas discernibles entre estaciones. No obstante los flujos generalmente más altos fueron estimados para las trampas chicas (nótese la diferencia en potencia de 10 en la escala vertical de la fig. 16 y la evaluación de esta diferencia discutida en el capítulo II). Ambos modelos de trampas mostraron flujos de carbono combinado relativamente pequeños durante mayo-junio 1993 (crucero 5) y abril 1994 (crucero 8) así como flujos mayores durante junio 1994 (crucero 9),

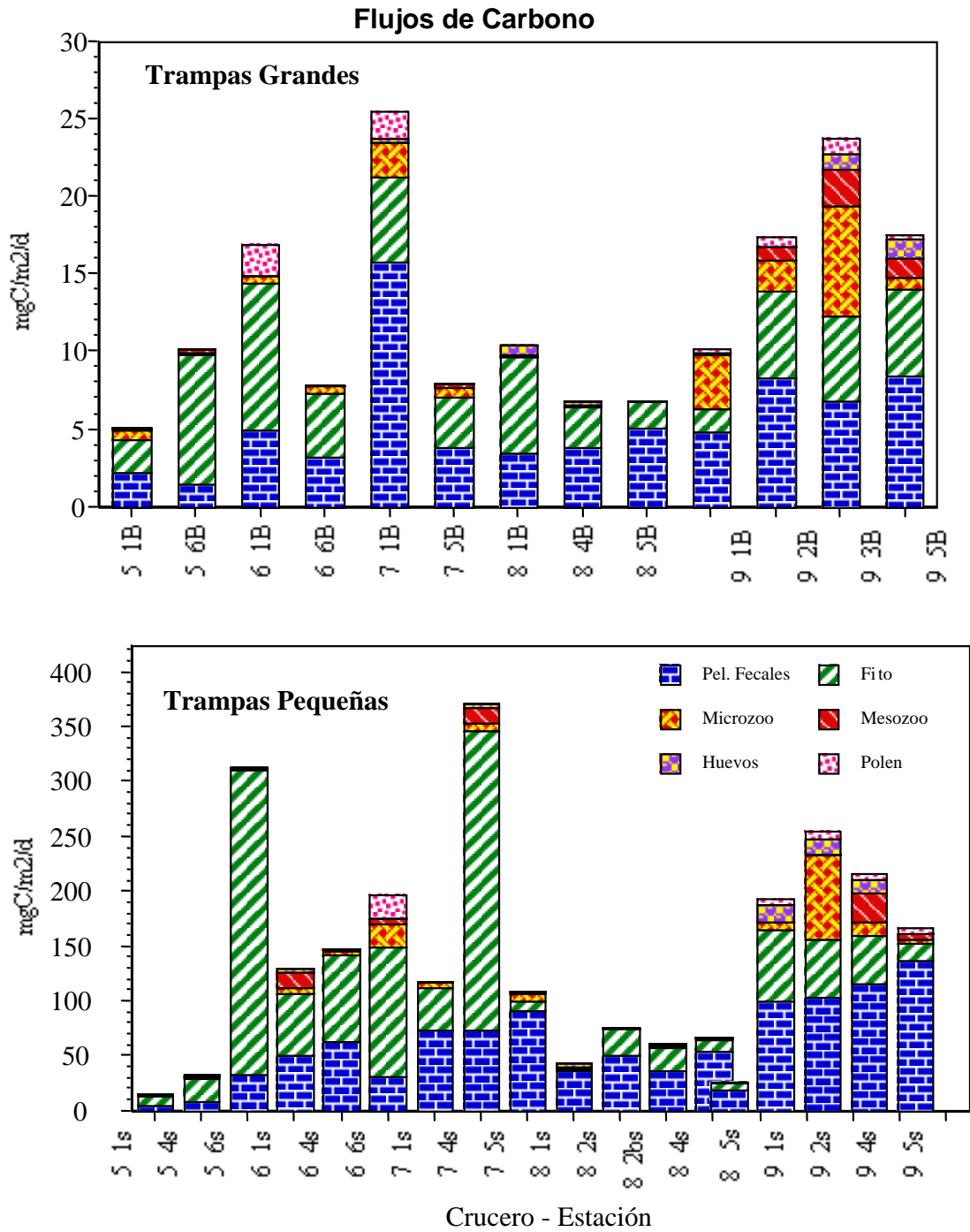


Figura 16. Flujos absolutos de carbono atribuidos a las diferentes clases de partículas en trampas grandes y pequeñas.

donde el microzooplancton, el detritus de mesozooplancton y los huevos de peces fueron más evidentes. Unos cuantos flujos mayores fueron observados durante primavera, verano y otoño de 1993 (cruceros 5, 6 y 7) en los que el fitoplancton tuvo contribuciones significativas.

La ubicación del Golfo de San Lorenzo entre los diferentes sistemas de productividad y comparación de flujos de carbono se muestra en la tabla 8, también se indican los promedios e intervalos de flujos de COP (Carbono Orgánico Particulado) y el porcentaje de la producción primaria que representan los flujos asociados con las pelotillas fecales y el fitoplancton de varios sitios descritos en la literatura.

Los niveles de producción primaria en el Golfo corresponden a los de áreas de baja productividad del océano abierto y mares de moderada productividad. La fig. 17, muestra flujos totales de COP del GSL comparables con algunos de otras áreas de márgenes continentales y sitios oligotróficos del océano abierto.

Nieve Marina

Los flujos estimados de carbono de nieve marina (calculados como la diferencia entre el carbono total determinado por CHN y la suma de todo el carbono atribuido a los componentes, incluyendo el carbono inorgánico) se muestra en la tabla 9. La nieve marina frecuentemente representa el vector más importante del hundimiento de carbono, sobrepasando a las pelotillas fecales y al fitoplancton. Los valores negativos (p. e. la suma del carbono de los componentes medidos es más grande que el flujo de carbono determinado por CHN), no obstante, indican que hay incertidumbres significativas en el procedimiento usado para estimar las contribuciones de las partículas medidas microscópicamente.

3.3.2 Contribuciones relativas de carbono de los componentes del flujo

A fin de mitigar el efecto de estas incertidumbres en los flujos absolutos (así como las tendencias de las trampas a sobre muestrear el flujo total y las heces, ver capítulo II y Romero *et al.*, 2000), los flujos atribuidos de carbono fueron comparados entre sí (la suma de sus contribuciones es tomada como el 100%). La comparación de las principales clases de partículas se muestra en la fig. 18.

Tabla 8. Flujos Absolutos de Carbono Orgánico ($\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Área - Trampa y/o Profundidad	COP			Pelotillas fecales			Fitoplancton			Prod'n Primaria (P.P.)	Referencia	Observaciones
	Intervalo	Prom.	% P.P.	Intervalo	Prom.	% P.P.	Intervalo	Prom.	% P.P.			
Golfo de San. Lorenzo												
Trampas grandes 50, 150m (n=13)	9 -118	42	10.2	1.5 - 16	6	1.4	1.6 - 9.4	3.2	0.8	411	<i>Este estudio</i> y Romero <i>et al.</i> (2000)	Mar interior profundo
Trampas pequeñas 50m (n=18)	74 - 298	149	36.3	5.0 - 138	60	14.6	3.20 - 279	42.9	10.4	411		
Bjornafjorden, Noruega												
50m	20 - 50	31		5.0 - 52.5	27		0.13 - 0.90	0.57			González <i>et al.</i> (1994)	Fiordo
100m	25 - 125	50		50 - 225	80		0.46 - 3.16	1.21				
Bahía Dabob, Wash. 60m	18 - 572	385	47.0	77 - 337	184	22.4	nd			820	Buck y Newton, (1995)	Mar interior profundo
Plataforma N. Noruega												
60m primavera	30 - 117	50	3.3	0.5 - 27	8	0.5	1.0 - 11.0	4	0.3	1500	Peinert, (1986)	Costa
verano	17 - 66	30		29 - 77	44	17.6	0.10 - 7.0	3	1.2	250		
Mar Báltico N. 15-20m												
Bahía	32 - 37	34		0.07 - 0.16	0.11		nd				Viitassalo <i>et al.</i> (1999)	Mar interior somero
Archipiélago	105 - 224	146		0.02 - 0.10	0.06		nd					
Báltico Abierto	112 - 189	150	11.5	0.02 - 0.09	0.05	0.0	nd			1300		Mar interior somero
S. Kattegat, Denmark												
> 22m (picnoclina)	218 - 349	288		37 - 59	49		nd				Lundsgaard y Olesen, (1997)	Mar interior somero
Mar de Japón												
50-150m	35 - 54	42		0.23 - 0.35	0.19		nd				Ayukai y Hatter, (1992)	Mar afuera Shikoku I.
Plataforma Voering												
100-300m mayo	1 - 25	7		0 - 10	4		nd				Bathmann <i>et al.</i> (1987)	Mar abierto de Noruega
junio	90 - 275	182		0 - 40	15		nd					
Pacífico del NE												
Cuenca de Santa Bárbara 341m		60		47			nd				Dunbar y Berger, (1981)	Margen de California
VERTEX (V5C)												
50-225 m		335	29.4	4.7	5.5	0.5	13 - 234	122	10.7	1140	Silver y Gowing, (1991)	Margen de California
VERTEX (V1)												
50-300 m		212	40.8	4.5	4.5	0.9	nd			520	" "	Margen de California
VERTEX (V5B)												
130-300m		70	21.5	4.5	4.5	1.4	0.6 - 8.4	4.5	1.4	325	" "	Margen de California
VERTEX (V2)												
80-200m		38	5.0	0 - 7.5	3.8	0.5	nd			760	" "	Margen de California
VERTEX (V3)												
80-200m		47	10.0	2.0 - 5.0	3.5	0.7	7.0 - 23	15	3.2	470	" "	Margen de México
VERTEX (V4)												
50-300m		29	7.3	0.0 - 2.0	1.0	0.3	nd			400	" "	Océano abierto
VERTEX (V5A)												
150-275m		41	16.7	0.0 - 1.0	0.5	0.2	0.26 - 1.3	0.78	0.3	245	" "	Océano abierto
Atlántico Subtropical												
120m		3.4		nd			0.02 - 0.33	0.15			Passow y Peinert, (1993)	Océano abierto
324m		2.4		nd			0.02 - 0.10	0.06				
Mar de Weddell												
(50-300m) ene-feb	15 - 135	69		nd			0.3 - 5.6	3.4			Nothig y Bodungen, (1989)	Océano abierto

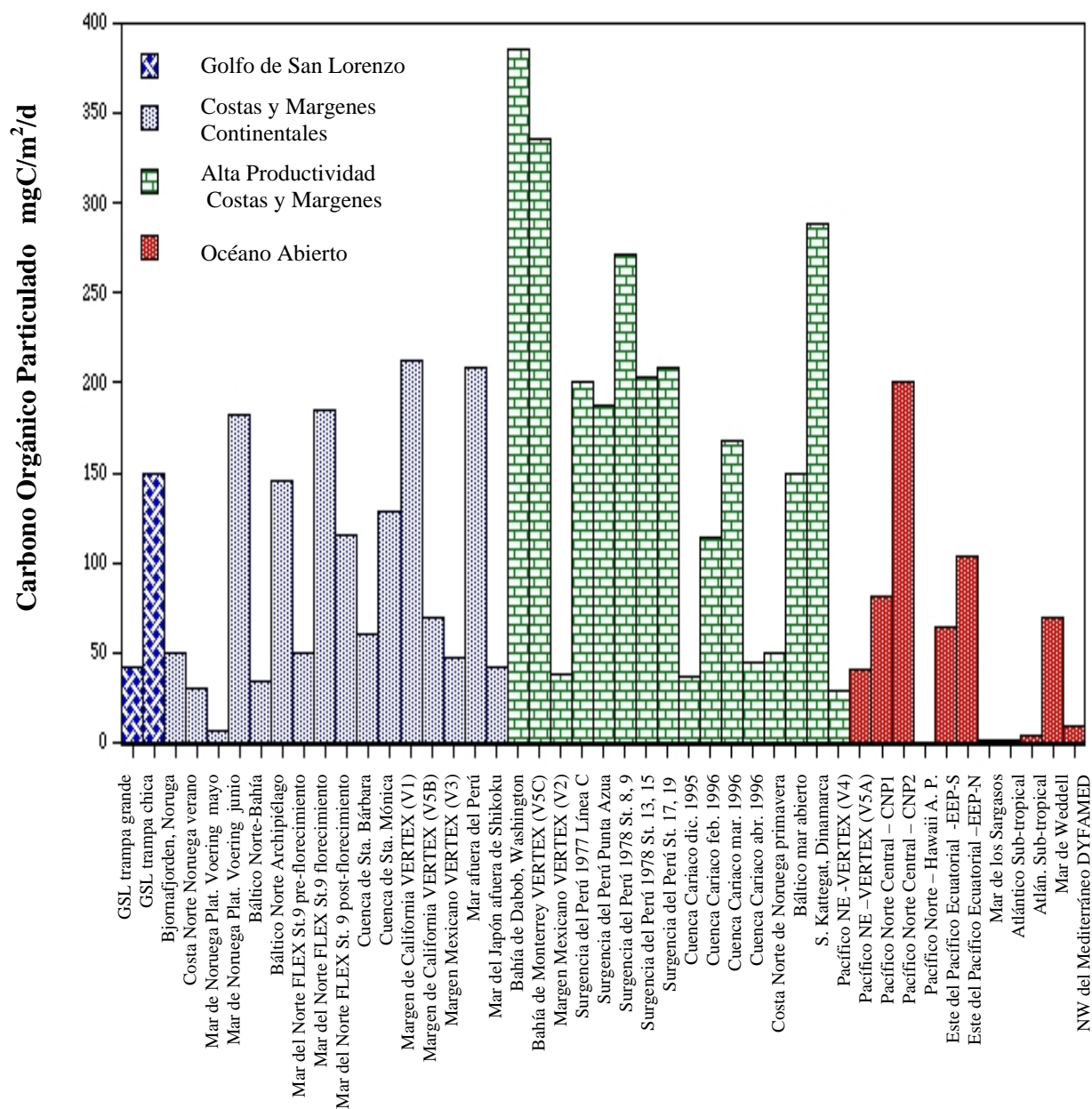


Figura 17. Flujos promedio de COP en el Golfo de San Lorenzo (primeras dos barras) comparados con los flujos de COP de otras regiones reportados por otros autores. (See table 8)

Tabla 9. Estimación de la contribución de nieve marina

** Flujo de masa total X el promedio del C. Inorg. contenido en trampas (Mucci *et al.*, 2000)

Cruceiro Est. Trampa	Flujo C CHN	**	Flujo total C. Org.	Flujo C. total atrib.	Nieve marina por diferencia Silver y Gowing (1991)	Porcentaje del flujo de carbono total (CHN)						
		Flujo C. Inorg.				Fecal	Fito	Micro- zoo.	Huevos † Mesozoo	Polen	Total atrib.	Nieve marina por dife - rencia
		mgC/m ² /d										
Trampas grandes												
5 1B	19.6	0.3	19.3	5.4	14.2	11.4	10.5	3.2	0.9	0.0	27.5	72.5
5 6B	33.7	0.8	32.9	10.9	22.8	4.4	24.7	0.6	0.4	0.0	32.34	67.7
6 1B	47.0	1.4	45.6	18.2	28.8	10.6	20.0	1.1	0.0	4.1	38.8	61.2
6 6B	22.7	0.7	22.0	8.5	14.2	13.9	18.1	2.1	0.0	0.0	37.4	62.6
7 1B	16.8	1.2	15.6	26.6	-9.8	93.8	32.6	13.1	2.0	10.1	158.6	-58.6
7 5B	23.0	0.7	22.3	8.7	14.3	16.5	14.5	2.3	1.4	0.0	37.6	62.4
8 1B	67.0	3.3	63.7	13.7	53.3	5.2	9.2	0.1	1.0	0.0	20.4	79.6
8 4B	36.0	2.1	33.9	8.9	27.1	10.6	7.2	0.1	0.8	0.2	24.8	75.2
8 5B	10.0	0.6	9.4	7.5	2.5	50.7	18.0	0.0	0.0	0.0	74.9	25.1
9 1B	73.0	3.2	69.8	13.3	59.7	6.5	2.2	4.6	0.2	0.4	18.3	81.7
9 2B	78.0	2.5	75.5	20.0	58.0	10.7	7.1	2.5	1.2	0.8	25.6	74.4
9 3B	16.0	0.3	15.7	24.0	-8.0	42.4	34.2	44.4	21.1	6.1	150.3	-50.3
9 5B	122.0	4.1	117.9	21.7	100.3	6.9	4.5	0.7	2.0	0.3	17.7	82.3
Trampas pequeñas												
5 1s	166.9	2.8	164.1	18.5	148.4	2.9	5.5	0.5	0.6	0.0	11.1	88.9
5 4s	302.0	4.5	297.5	37.4	264.6	2.5	7.1	0.6	0.7	0.0	12.4	87.6
5 6s	78.2	4.6	73.6	317.0	-238.8	41.4	356.3	1.2	0.6	0.0	405.3	-305.3
6 1s	257.4	3.4	254.0	134.0	123.4	19.6	21.8	2.4	6.9	0.0	52.1	47.9
6 4s	220.4	3.9	216.5	152.1	68.3	28.4	36.4	1.7	0.4	0.3	69.0	31.0
6 6s	140.3	2.4	137.9	198.8	-58.5	22.2	84.0	14.8	3.8	15.1	141.7	-41.7
7 1s	194.6	2.8	191.8	120.7	73.9	37.5	20.6	2.5	0.0	0.0	62.0	38.0
7 4s	91.0	2.4	88.6	373.0	-282.0	81.7	298.5	9.4	17.6	0.0	409.8	-309.8
7 5s	148.9	5.8	143.1	115.2	33.7	61.6	6.1	4.4	1.1	0.3	77.3	22.7
8 1s	147.0	3.9	143.1	47.2	99.8	24.5	2.2	0.7	2.2	0.0	32.1	67.9
8 2s	124.0	4.0	120.0	79.4	44.6	41.1	19.7	0.0	0.0	0.0	64.0	36.0
8 2bs	124.0	4.3	119.7	65.2	58.8	29.7	16.3	0.0	3.1	0.0	52.5	47.5
8 4s	120.0	3.7	116.3	71.1	48.9	44.5	10.0	0.2	1.4	0.0	59.2	40.8
8 5s	83.0	2.7	80.3	28.2	54.8	23.1	7.7	0.0	0.0	0.0	34.0	66.0
9 1s	153.0	3.7	149.3	196.6	-43.6	65.9	42.4	4.6	9.8	3.4	128.5	-28.5
9 2s	88.0	1.5	86.5	257.2	-169.2	117.8	59.2	89.4	15.1	8.9	292.2	-192.2
9 4s	122.0	1.8	120.2	217.7	-95.7	95.3	35.7	10.4	31.8	3.7	178.4	-78.4
9 5s	184.0	6.2	177.8	173.7	10.3	74.8	8.5	2.1	2.1	3.5	94.4	5.6

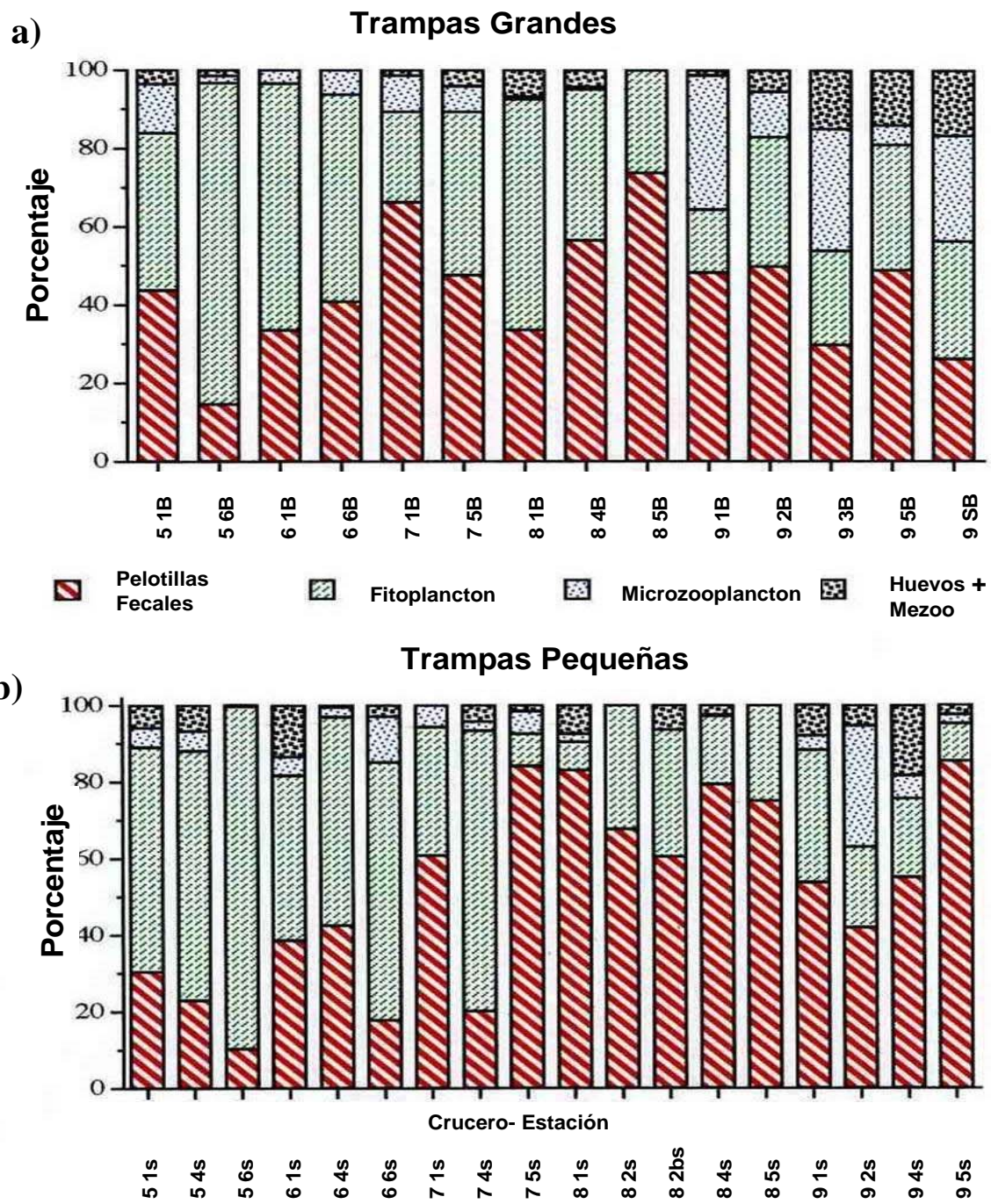


Figura. 18. Contribución relativa del flujo vertical de los componentes al COP en a) trampas grandes y b) trampas pequeñas.

Las pelotillas fecales fueron un importante vector para el transporte de carbono en el GSL, aunque el fitoplancton llegó a ser ocasionalmente dominante en algunas de las trampas de mayo-junio/1993 (crucero 5) y de julio 1993 (crucero 6).

En las gráficas de los sub-componentes al interior de cada clase (figs. 19, 20 y 21) pueden observarse algunos patrones. Por ejemplo, los dinoflagelados fueron los transportadores de carbono fitoplanctónico más importantes en la mayoría de las muestras (fig. 19), pero fueron remplazados por diatomeas penales y centrales durante abril 1994 (crucero 8), siendo éstas últimas también importantes durante junio 1994 (crucero 9). Entre las pelotillas fecales (fig. 20) las cilíndricas compactas dominaron en todas las muestras de las trampas, excepto en la plataforma somera Magdalena (St. 4) en mayo-junio 1993 (crucero 5) en la que las cilíndricas no compactas y compactas ovales formaron el 100% del flujo de carbono fecal. Hubo mucha más variabilidad entre sitios y épocas del año al interior de la clase del zooplancton (fig. 21). Los tintínidos fueron un importante grupo, particularmente durante mayo-junio, julio y nov-dic 1993 (cruceros 5, 6 y 7), así como los grupos “otros” microzooplancton y mesozooplancton con su detritus. Los huevos de peces fueron abundantes durante abril 1994 (crucero 8) y sus contenidos en carbono relativamente ricos, tuvieron un aporte heterotrófico al flujo total de carbono.

3.4 Discusión

Después de haber generado las primeras estimaciones para el GSL concernientes a la contribución de los diferentes tipos de partículas al flujo del carbono orgánico total, la pregunta sobre cuáles son los principales vectores del flujo del COP en el GSL, sólo pudo ser parcialmente contestada. Hubo dos distintas fracciones que constituyeron el flujo de partículas. Uno fue la nieve marina, cuya contribución se supone que fue importante, pero para la cual no ha sido posible obtener una estimación satisfactoria.

La otra fracción incluyó las partículas con distintas formas y fronteras entre éstas y la solución fijadora, observadas bajo el microscopio invertido, para las cuales se calcularon los contenidos y flujos de carbono (fitoplancton, pelotillas fecales, zooplancton). Estas últimas pudieron ser examinadas en términos de sus flujos absolutos, aunque la interpretación se basó en

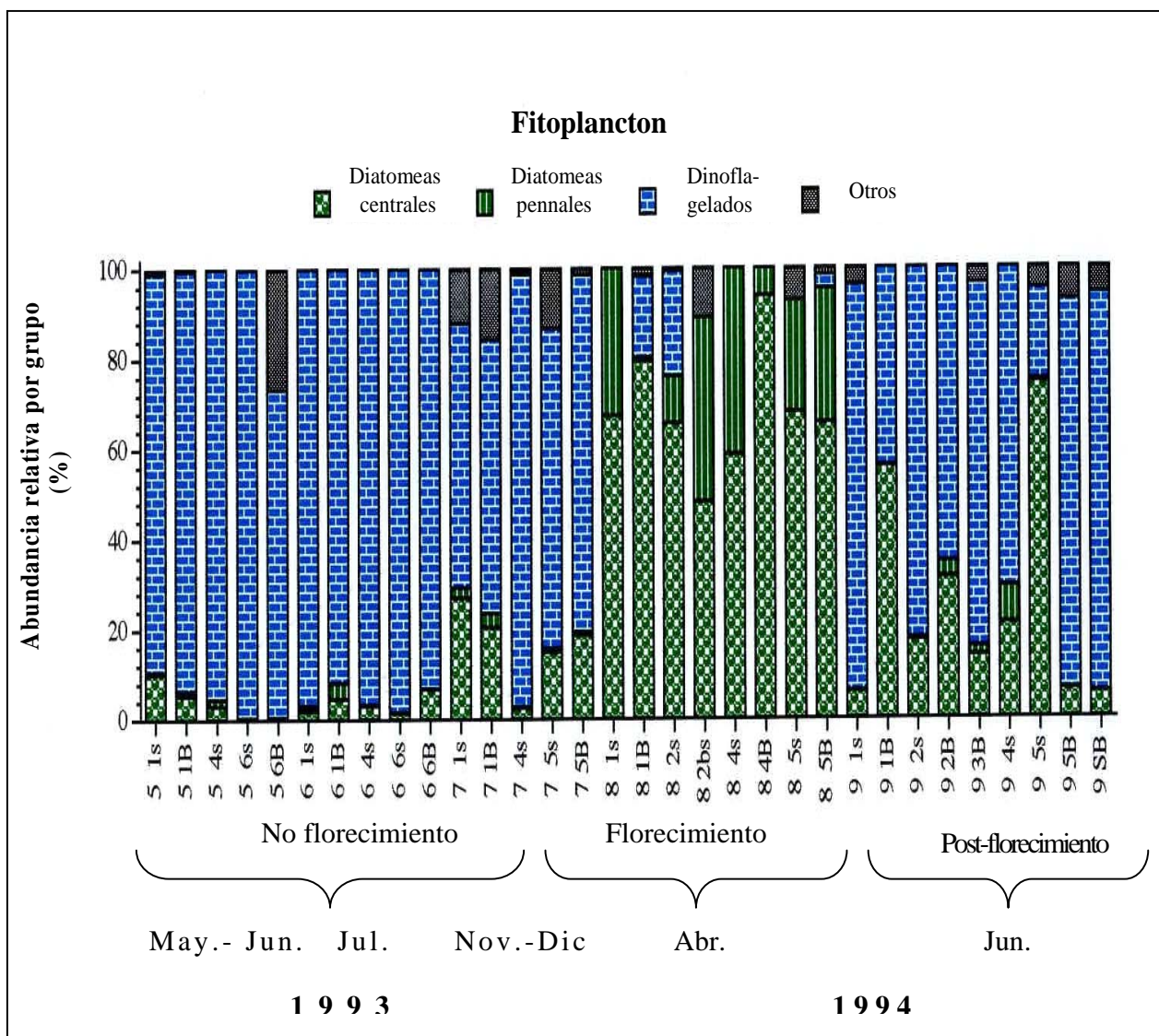


Figura 19. Contribución relativa de carbono al flujo fotosintético total atribuida a sus principales componentes en el ciclo 1993-1994. En el eje de las abcisas al pie de cada barra, los números del 5-7 corresponden a los cruceros de 1993 (mayo-junio; julio y noviembre-diciembre) respectivamente. Los números del 8-9 corresponden a los cruceros de 1994 (abril y junio) respectivamente. El segundo número es la localidad, la letra “B” corresponde a las trampas grandes y la “s” a las trampas pequeñas.

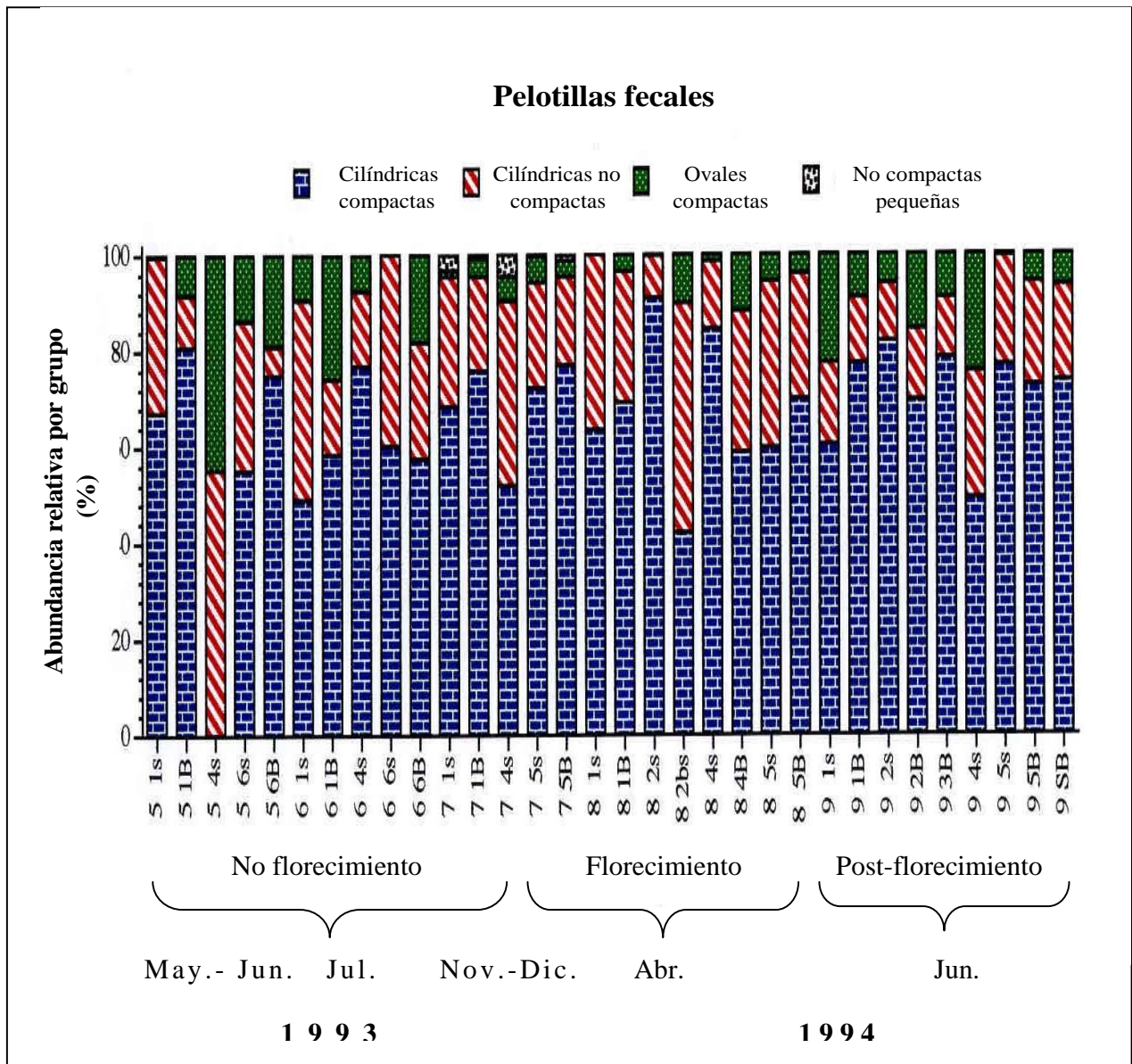


Figura. 20. Contribución relativa de carbono al flujo total fecal atribuida a los cuatro tipos de pelotillas fecales durante el ciclo 1993. 1994. En el eje de las abcisas al pie de cada barra, los números del 5-7 corresponden a los cruceros de 1993 (mayo-junio; julio y noviembre-diciembre) respectivamente. Los números del 8-9 corresponden a los cruceros de 1994 (abril y junio) respectivamente. El segundo número es la localidad, la letra "B" corresponde a las trampas grandes y la "s" a las trampas pequeñas.

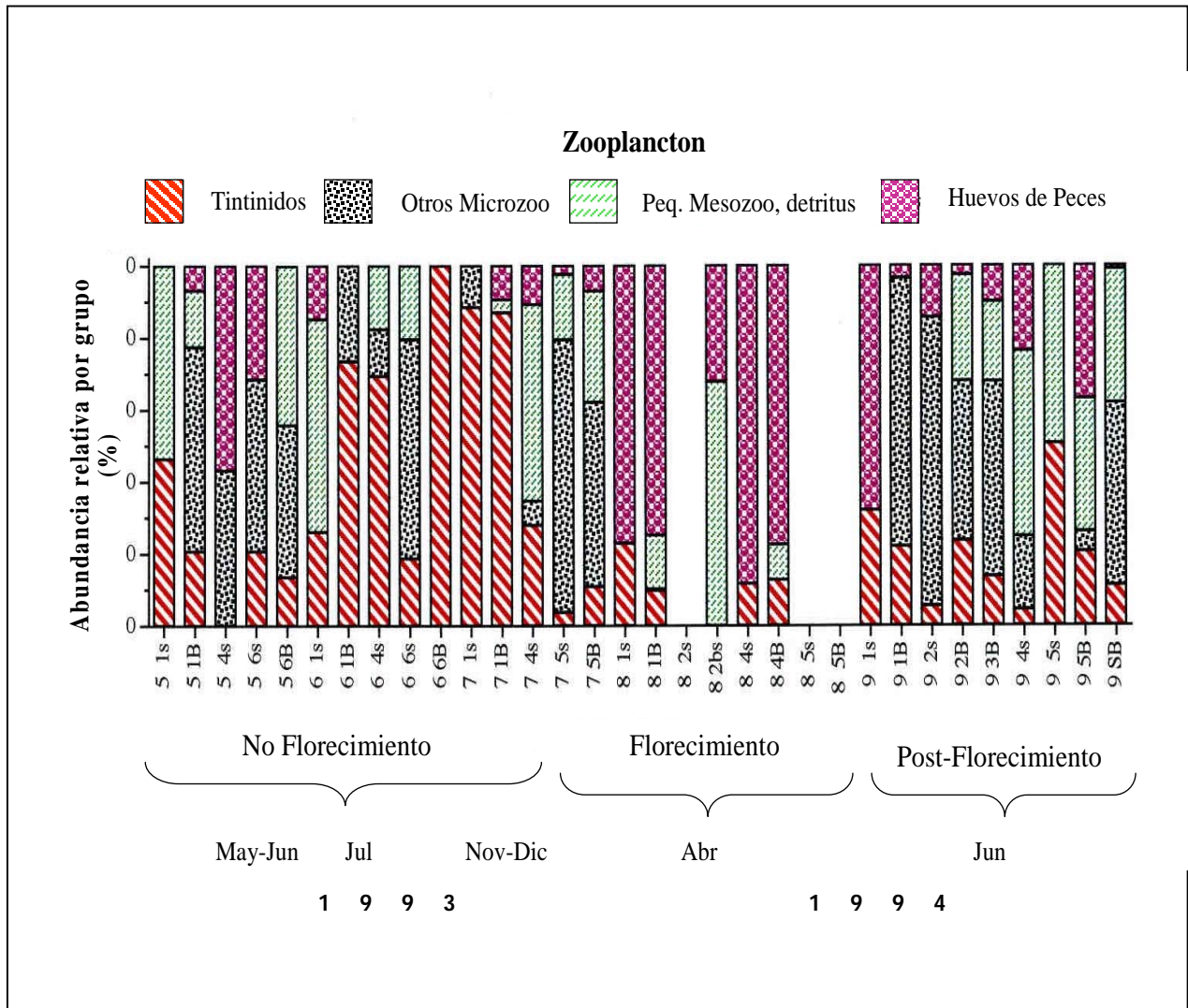


Figura. 21 Contribución relativa de carbono al flujo total zooplanctónico atribuida a sus principales componentes durante el ciclo 1993-1994. En el eje de las abscisas al pie de cada barra, los números del 5-7 corresponden a los cruceros de 1993 (mayo-junio; julio y noviembre-diciembre) respectivamente. Los números del 8-9 corresponden a los cruceros de 1994 (abril y junio) respectivamente. El segundo número es la localidad, la letra "B" corresponde a las trampas grandes y la "s" a las trampas pequeñas.

sus contribuciones relativas, al ofrecer más información sobre cambios temporales y patrones generales.

3.4.1 Flujos absolutos de carbono

El espectro de flujos de carbono calculados para 32 trampas de libre deriva de un día (ver fig. 16) reveló variación espacial y temporal muy marcada. La variabilidad asociada con influencias geográficas se confunde con la asociada a cambios temporales. Los resultados revelaron una dominancia de productos de origen animal sobre aquellos de origen vegetal en muestras de trampas. El flujo de carbono de pelotillas fecales fue más grande que el de fitoplancton en 60% de las muestras y adicionalmente se observó la contribución del microzooplancton, del detritus zooplanctónico y el carbono de huevos de peces. En 11 de 26 muestras en las que se encontraron dinoflagelados, más del 50% del carbono provino de formas heterotróficas.

Los sistemas eutróficos tienden a exportar hacia el fondo más carbono desde la capa superficial de los océanos que los sistemas oligotróficos (Eppley y Peterson, 1979, Hargrave, 1985; Pace *et al.*, 1987; Lalli y Parsons, 1993). El intervalo de flujos del COP en el GSL fue similar a algunas otras áreas de márgenes continentales (tabla 8; fig. 17), pero la media de los flujos, particularmente de las trampas grandes más confiables ($42 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), aunque fue considerablemente más grande que la de otros giros oceánicos, no fue muy alta.

Esto contó aproximadamente un 10% de promedio estimado de la producción primaria diaria, esencialmente mesotrófica de $411 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, porcentaje común en otras áreas de márgenes continentales y del océano en su conjunto (Suess, 1980). El flujo de carbono de pelotillas fecales ($1.5 - 16 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) fue relativamente alto comparado a otras áreas de producción primaria similar.

3.4.2 Contribuciones relativas de carbono orgánico atribuido al los componentes del flujo

Aunque fueron evidentes las contribuciones del carbono fitoplanctónico (fig.19), los componentes heterotróficos dominaron el flujo del COP en el GSL. Esto se debió a la fuerte

contribución de las pelotillas fecales (algo más grande que la del fitoplancton), junto con contribuciones generalmente más pequeñas del zooplancton y fragmentos de sus cuerpos. Aún dentro del fitoplancton hubo una importante contribución de dinoflagelados no-fotosintéticos. 42% de las muestras de trampa tuvieron dinoflagelados. Más del 50% del flujo de carbono del total de dinoflagelados estuvo asociado a géneros heterotróficos.

En la comparación de diferentes clases de partículas de la fig. 18, no fue evidente la existencia y sucesión de los dos regímenes tróficos distintos (autotrófico a fines de invierno-primavera y heterotrófico en verano y otoño) reportados para el GSL durante los meses libres de hielo por de-Lafontaine *et al.* (1991); Rivkin *et al.* (1996); Savenkoff *et al.* (1996); Doyon *et al.* 2000; Roy *et al.* (2000); Savenkoff *et al.* (2000); Tian *et al.* (2000); Vezina *et al.* (2000). Sin embargo, dentro de estas clases, los flujos de carbono de los subcomponentes (como fue el caso para sus flujos numéricos en Romero *et al.* (2000), exhibieron patrones que se relacionaron mejor con los cambios tróficos observados en la columna de agua (florecimiento, no florecimiento, post-florecimiento).

El material fecal. Este fue el principal vector del flujo vertical de carbono en el GSL. Las pelotillas fecales cilíndricas compactas fueron las mayores contribuyentes. No obstante que los flujos numéricos de las cilíndricas compactas fueron similares a los de las formas no compactas (Romero *et al.*, 2000), las bajas densidades de éstas últimas (Urbán *et al.*, 1992; Dilling y Alldredge, 1993) y el aumento de las razones carbono - volumen (Silver y Gowing, 1991) contó para su contribución más pequeña al flujo del COP que el de las cilíndricas compactas. Debido a las dimensiones de las pelotillas que se presentaron más comúnmente (50-109 μm de diámetro) en las trampas, se relacionaron ambos tipos de pelotillas cilíndricas con las provenientes de los copépodos calanoideos, *Calanus finmarchicus* y *Calanus hyperboreus*, los cuales dominaron la columna de agua durante los periodos de muestreo (Roy *et al.*, 2000; Romero *et al.*, 2000).

Los cambios en sus contribuciones relativas (p. e. la total ausencia de pelotillas fecales cilíndricas compactas en la St. 4 en junio 1993, crucero 5) puede ser atribuible a diferencias en la selección de alimento (Ayukai, 1990), reprocesamiento de heces (Bathmann *et al.*, 1990; Noji, 1991) o a su reciclaje en las capas de superficie (Viitassalo *et al.*, 1999).

Las heces ovals frecuentemente contribuyeron >10% al flujo total de carbono fecal. Su origen puede ser multiespecífico (Romero *et al.*, 2000). Tanto sus flujos de carbono como numérico fueron mayores durante periodos de no-floreCIMIENTO, con máximos valores en la St. 4 en mayo-junio 1993, crucero 5 (fig. 20).

Los pequeños copépodos tales como *Temora longicornis* son más abundantes en sitios de plataformas someras tales como St. 4 y 5 (Roy *et al.*, 2000) contrarios a *Calanus sp* que domina en el profundo Canal Lorenziano.

La contribución de las pequeñas cilíndricas no-compactas fue menor y sólo fue registrada al final del otoño de 1993 (crucero 7, fig. 20). Los copépodos *Oithona similis* y *Microcalanus pusillus* fueron abundantes en la columna de agua en ese tiempo (Roy *et al.*, 2000) y son probablemente la fuente de esas pelotillas.

Fitoplancton: La contribución del fitoplancton siguió aproximadamente el patrón de “No Florecimiento”, “Florecimiento” observado para el GSL por Rivkin *et al.* (1996); Savenkoff *et al.* (1996); Vezina *et al.* (2000) así como los patrones de flujos numéricos de Romero *et al.*, (2000), al cual se adicionó una situación en verano del 1994 de “Post-FloreCIMIENTO”.

Las diatomeas centrales dominaron el flujo del carbono fitoplanctónico durante el periodo de florecimiento de abril -1994, mientras que los dinoflagelados dominaron durante las condiciones de no florecimiento y post-floreCIMIENTO (ver fig. 19). Los mayores contribuyentes de carbono durante el periodo de florecimiento fueron los géneros de diatomeas centrales formadoras de cadenas *Thalassiosira* y *Chaetoceros* y las formas centrales aisladas *Coscinodiscus* spp.

La especie *Fragilariopsis oceánica* y el género *Nitzschia*. fueron las que más contribuyeron al flujo de diatomeas pennales, cuya abundancia numérica también fue apreciable durante este periodo. Este último grupo de diatomeas y dinoflagelados que fueron los mayores contribuidores al flujo de carbono fitoplanctónico, parcialmente reflejan las altas abundancias y/o biomásas del microfitoplancton presente en la columna de agua al momento del muestreo. Lovejoy *et al.* (2000) por ejemplo, observaron que en la capa de superficie las diatomeas pennales (*Fragilariopsis oceánica*) y centrales (*Thalassiosira* spp., *Minidiscos* spp. y *Chaetoceros minimus*) dominaron la porción netamente autótrofa del fitoplancton, mientras que los grandes

dinoflagelados fueron representados por formas no fotosintéticas (o heterótrofas) tales como *Protoberidinium* spp. Tres géneros de estas diatomeas (*Thalassiosira*, *Chaetoceros* y *Fragilariopsis*), fueron también los principales vectores del carbono fitoplanctónico en las trampas durante el periodo de florecimiento, mientras que *Protoberidinium* spp. fue el contribuyente principal al flujo de carbono de los dinoflagelados durante los periodos de no florecimiento y post- florecimiento.

En una tercera parte de las trampas, el fitoplancton representó >50% del flujo total de carbono atribuible, pero esas grandes contribuciones no fueron del periodo de florecimiento, sino de muestras de los periodos de no florecimiento y post-florecimiento en los que dominaron los dinoflagelados. Dentro de este grupo (fig. 22), la mayor parte del carbono es transportado por dinoflagelados autótrofos, pero una considerable porción está asociada con los géneros no fotosintéticos (*Gymnodinium* y *Protoberidinium*). Esta contribución heterotrófica (identificada posterior a todos los análisis y conteos) puede explicar la contribución “fitoplanctónica” aparentemente alta durante los periodos de baja producción primaria.

Zooplankton: Al interior del microzooplankton la tercera clase más importante, los tintínidos (particularmente cuando sus lóricas estuvieron llenas con larvas) más el grupo denominado “otros” fueron los principales responsables del carbono de origen zooplanctónico (fig. 21). La importancia de tales componentes vivos, probablemente parte de la comunidad en descomposición (Shanks y Edmonson, 1990), ha sido señalada en varios sitios del Pacífico NE por Silver y Gowing (1991). Aun si estos pequeños organismos pudieron algunas veces ser capturados por las trampas de sedimento como “nadadores” durante sus migraciones verticales, esto es improbable para las trampas de libre deriva usadas durante este estudio (Capítulo II) ya que no fue usada ninguna sustancia fijadora y las trampas sólo fueron colocadas durante 24 h. Estos componentes “vivos” son los elementos integrales más probables de los agregados marinos de rápido hundimiento.

El mesozooplankton pequeño (<1 mm) y su detritus puede también contribuir considerablemente al flujo del carbono animal. No obstante que tratamos de corregir la desproporción entre el flujo de C y las abundancias numéricas, la falta de claras tendencias entre estaciones en la fig. 21, pudo deberse a la presencia variable de sólo unas pocas de estas grandes partículas ricas en carbono. Una importante contribución por parte de huevos de peces se registró

en las trampas del periodo de florecimiento de abril 1994, indicando la posible presencia de desoves de peces en aguas de superficie. de-Lafontaine *et al.* (1984) señalaron una distribución paralela de huevos de peces y larvas con dominancia de larvas de *Ammodytes americanus* (sand lance) en el NW del GSL y de *Lipophrys pholis* (shanny) y *A. americanus* (sand lance) en el sur durante primavera.

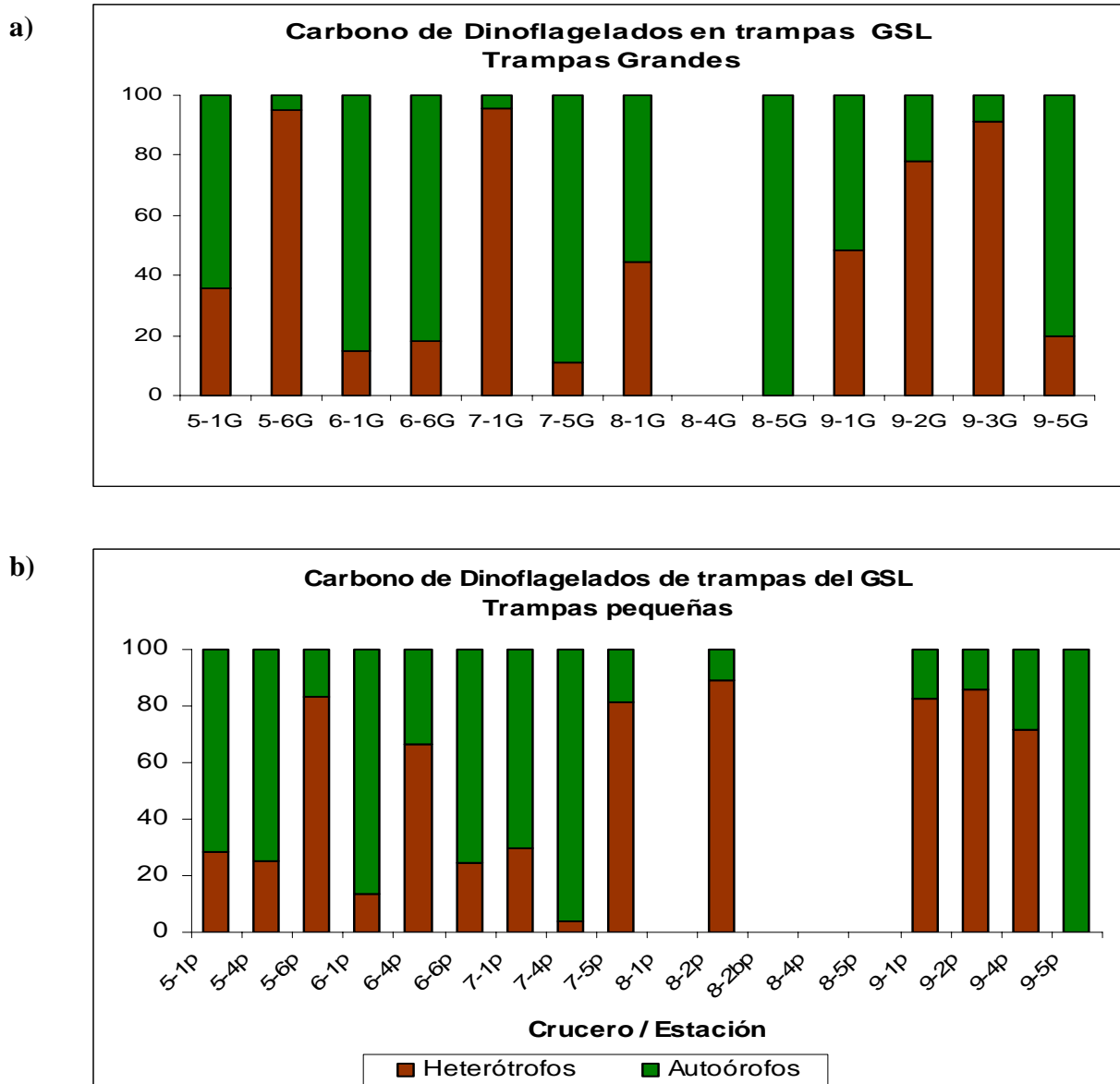


Figura. 22. Contenido de carbono atribuido a dinoflagelados autótrofos y heterótrofos en a) trampas grandes y b) trampas pequeñas.

3.4.3 Importancia de la contribución del carbono heterotrófico

La ausencia de flujos masivos de fitoplancton en los registros de trampas para el GSL pudo deberse a que tales eventos no coincidieron con la colocación a corto término de las trampas. Estos flujos masivos también han sido observado en otras áreas como aguas costeras y someras de la Bahía de Kiel (Smetacek *et al.*, 1978; Smetacek y Hendrikson, 1979; Smetacek, 1980, 1985); el estrecho de Bransfield (en el Antártico) (Bodungen, 1986); en aguas fuera de la costa del N de Europa (Peinert *et al.*, 1986; Wassmann *et al.*, 1991; Passow y Wassmann, 1994) en el Ártico Canadiense (Tremblay *et al.*, 1989; Riebesell, 1991), en California (Alldredge y Gotschalk, 1989) y en mar abierto (Buck y Chávez, 1994; Billet *et al.*, 1983). En el GSL, ni el flujo de carbono fitoplanctónico durante el florecimiento de primavera, ni las bajas concentraciones de pigmentos fotosintéticos en el material de las trampas (Roy *et al.*, 2000) sugieren que el carbono autotrófico fuera el mayor componente del flujo vertical. En la porción del estuario del Canal Lorenziano, Colombo *et al.* (1996) también encontraron que componentes orgánicos de origen fitoplanctónico formaron menos del 20% de la materia orgánica. La abundancia relativamente densa del zooplancton que cubre mucho del año en las aguas del GSL (de-Lafontaine *et al.*, 1991) pudo contribuir al fenómeno. En otras partes del mundo a latitudes similares, el carbono proveniente de heterótrofos fue también el principal componente del flujo vertical.

Sobre la plataforma Voering del Mar de Noruega, por ejemplo, sólo las pelotillas fecales de copépodos contribuyeron casi con el 20% del flujo total del COP. También dominaron el flujo frente a la costa de Dinamarca (Lundsgaard y Olesen, 1997), el Norte del Mar Báltico (Vitassalo *et al.*, 1999) y fueron también importantes en un Fiordo Noruego (González *et al.*, 1994b). En el norte de la Corriente de Humboldt, mar abierto de Chile, también constituyeron el “grueso” del material en sedimentación, con 8-31% del flujo del COP en trampas de sedimento de libre deriva. (González *et al.*, 2000).

3.4.4. Nieve Marina y otras incertidumbres

Nieve Marina. En las contribuciones relativas de carbono discutidas previamente se supone que la mayor parte del material de trampas estuvo representada. No obstante, la contribución de

nieve marina no había sido incluida, como se muestra en este apartado. La tabla 9 muestra la contribución de la nieve marina calculada (siguiendo a Silver y Gowing 1991) como la diferencia entre el flujo de carbono total determinado por análisis CHN (corregido para los pequeños porcentajes de carbono inorgánico) y la suma del carbono atribuido al resto de los componentes. Los resultados positivos de los flujos de carbono de la nieve marina obtenidos de esta sustracción van de 2.5 a 100 mg C m⁻² d⁻¹ para las trampas grandes (las pequeñas tuvieron generalmente flujos mucho más altos), los cuales contribuyeron entre 25 y 82 % del flujo total de COP. Tales niveles implican que este componente fue bastante importante. Comparativamente, en el Pacífico NE, Silver y Gowing (1991) reportaron flujos de carbono de nieve marina entre 10-200 mg C m⁻² d⁻¹ a la base de la zona fótica. Estos representaron entre 8-91% del flujo total de carbono, con altos valores asociados a las trampas más profundas, sugiriendo que algo de este material fue de naturaleza refractaria.

Los flujos negativos del carbono de nieve que aparecen en la tabla 9, indican una considerable incertidumbre en todo el procedimiento (suposiciones, estimaciones con diferentes métodos, imperfecciones en la manipulación de diferentes tipos de partículas, etc.). Los efectos acumulativos de éstas, aparecen en este cálculo de diferencia. Las determinaciones de CHN para el contenido de carbono incluyeron un error de aproximadamente ±2%, mientras que los flujos de masa total variaron en promedio de ±14% (N. Silverberg, com. pers.). Estos no fueron suficientes para causar los grandes resultados negativos de la nieve marina. En cambio, es probable que el procedimiento de mediciones microscópicas y conversión de algoritmos genere la mayor parte de incertidumbres. Algunos de los factores que contribuyen a esto, son examinados a continuación para varias clases de partículas.

Incertidumbres en la estimación del carbono fitoplanctónico: Para la determinación del volumen de las células fitoplanctónicas se hizo una estimación de su espesor. Pocos microscopios permiten la conversión de la distancia focal a una medida precisa de distancia. Por consiguiente, se tienen que usar formas geométricas simples para calcular los volúmenes celulares.

Muchos autores han usado las relaciones de volumen-carbono obtenidas por Strathmann (1967) y sus derivados. En su laborioso trabajo, Strathmann, midió directamente el contenido de carbono de células individuales de diferentes especies cuyo volumen había sido estimado microscópicamente y sus correlaciones lineales fueron discutidas. Sin embargo, Strathmann

(1967) sugiere por ejemplo, al “Coulter Counter” como un mejor método para estimar volúmenes celulares. También declara que una estimación de carbono en una célula de diatomea puede tener un error de un factor de dos (Strathmann, 1967). Otros autores han notado que el espesor de las frústulas de diatomeas, la talla y la composición química de células fitoplanctónicas varía durante su ciclo de vida, así que la razón célula-carbono no es constante Agbeti (1997) (<http://www.indiana.edu/~diatom/biovol.dis>)⁵. Fogg (1966), mostró que el ambiente y el patrón de crecimiento determinan la morfología y la química celular. Además, Olivieri (1985) determinó que las soluciones preservativas pueden reducir la talla de la célula hasta en un 77%. Sicko-Goad *et al.* (1977) mencionan que la citología y la morfología plástica de las células de las algas son afectadas por condiciones ambientales y que en la misma población natural, las células pueden estar bajo diferentes condiciones, complicando así las estimaciones de carbono o contenido de clorofila.

Carbono fecal: Los algoritmos de Silver y Gowing (1991) usados en este estudio para calcular el carbono asociado a las diferentes pelotillas fecales parece ser razonable, considerando las mediciones microscópicas directas. Estas produjeron valores similares sobre heces seleccionadas del GSL (Roy *et al.*, 2000). El hecho de que la contribución de carbono fecal excediera, al menos en un caso el 100% del flujo total del COP, sugiere que aún existen algunas imprecisiones.

Algunos de los factores de conversión que aparecen en la literatura son mucho más grandes que los usados en este estudio (tabla 10), indicando que existe una considerable variación en sus verdaderos contenidos de carbono. Esta variación está probablemente relacionada a sus historias alimenticias recientes. La naturaleza de los contenidos de pelotillas fecales de diferentes organismos zooplanctónicos reflejó la variedad en sus dietas. Ejemplos de análisis de contenidos de heces de copépodos son presentados en Turner y Anderson (1983); Bathmann *et al.* (1990); Urbán *et al.* (1992); González *et al.* (1994b) y de hervivorismo de eufáusidos sobre algas de hielo en González *et al.* (1994a).

⁵ (Última consulta, 6 de septiembre/2005)

Tabla 10. Diversos factores de conversión de Carbono/volumen utilizados en la literatura para pelotillas fecales.

Fuente	mgC/mm ³	Comentarios
Strathmann (1967)	0.11	Utilizado frecuentemente aún si se basa en diatomeas
Ayukai y Hattori (1992)	0.027	Según Knauer <i>et al.</i> (1979)
Dunbar y Berger (1981)	0.048	Promedio del 8% de materia orgánica (4% COP)
Allredge y Cohen (1987)	0.113	Promedio de diversos macrocrustáceos
Silver y Gowing (1991)	0.048	Copédodos y eufáusidos
	0.036	Salpas
	0.024	No compactas y amorfas
González <i>et al.</i> (1994b)	0.057	Copépodos
	0.042	Larvaceas
	0.016	Eufáusidos
Butler y Dam (1994)	0.17 - 2.50	Varían de condiciones de fin a inicio de florecimiento
Hansen <i>et al.</i> (1996)	0.28	Pelotillas recientemente egestadas -dieta de diatomeas
	0,39	Dieta de nanoflagelados
Lundsgaard y Olesen (1997)	0.061 - 0.30	Pelotillas de copépodos de las trampas del sistema costero de Kattegat y en los cultivos.

Reportes sobre patrones de alimentación y descomposición de pelotillas fecales han incluido los niveles de pigmentos fotosintéticos, así como de carbono y nitrógeno (Ayukai, 1990; Roy y Poulet, 1990; Head y Harris, 1992; Thibault *et al.*, 1999; Hayashi *et al.*, 2001). Otros han relacionado la ecología alimenticia con la tasa de producción, talla, volúmenes y actividad enzimática de heces (Buttler y Dam, 1994; Dagg, 1995; Thibault *et al.*, 1999; Huskin *et al.*, 2000).

Zooplankton: En este estudio se usó un solo factor de conversión (0.05 g cm^{-3}) para todo el microzooplankton. En general, las correcciones fueron introducidas para reducir los flujos de carbono aún más excesivos que pudieron haber sido resultado de un pipetaje desigual de unas cuantas partículas grandes.

3.4.5 Importancia de la contribución de nieve marina

Gran parte de la matriz (o molde) orgánico de la nieve marina puede ser atribuido a exopolímeros transparentes (TEP por sus siglas en inglés) (Alldredge *et al.*, 1993; Kiørbe y Hansen, 1993) formados a partir de la alteración de componentes orgánicos exudados por diatomeas en el océano (Kiørbe and Hansen, 1993; Passow *et al.*, 1994), los cuales actúan como pegamento, aglutinando entre sí diatomeas frescas con otras partículas de agregados en hundimiento (Alldredge y MacGillivray, 1991). Su abundancia, talla y grado de colonización por las bacterias, puede ser altamente variable (Passow *et al.*, 1994; Mari y Kiørboe, 1996). Partículas de TEP de cientos de micras de longitud y abundancias de $28\text{-}500 \text{ ml}^{-1}$ se reportan fuera de las aguas costeras de California (Beers *et al.*, 1986). Se considera que éstas son importantes en la agregación y en el hundimiento masivo de florecimientos de fitoplancton (Alldredge y Gotschalk, 1989; Passow *et al.*, 1994; Alldredge *et al.*, 1995; Passow y Alldredge, 1995; Waite *et al.*, 1997; Ploug y Grossart, 2000; Ramaiah *et al.*, 2001).

Pegamentos orgánicos con similares acciones pueden también ser producidos por algunos organismos zooplanctónicos como apendicularias (Alldredge 1972, 1976), pterópodos (Noji *et al.*, 1997) medusas ctenóforos y otros organismos gelatinosos. Estas sustancias pueden también estar libres en el agua como parte de productos digestivos de organismos zooplanctónicos, los cuales no producen distintas formas de heces (p. e. tunicados, Pomeroy y Deibel, 1980). Ploug y Grossart (2000) muestran que el carbono orgánico disuelto puede constituir hasta 31% del

carbono asociado a la nieve marina y que ésta puede estar subestimada si sólo el COP es considerado en el flujo vertical.

La forma en la que sedimenta y el origen de la nieve marina puede ser muy variable. Alldredge y Gotschalk (1989), reportan 4 tipos de agregados “frescos” de nieve marina muestreados “in situ” a profundidades alcanzables por buceo (agregaciones “plumosas” de diatomeas, agregados de origen fecal, casas abandonadas de larváceas y agregados diversos). Alldredge (1998), continuando con esta investigación, estimó el contenido de carbono de éstos cuatro tipos de agregados de nieve marina.

En el presente estudio, se utilizó el enfoque de Alldredge (1998) como otro intento por evaluar el contenido de carbono de la fracción correspondiente a la nieve marina del material de las trampas. En dicho enfoque, los volúmenes húmedos combinados fueron medidos, secados, y el contenido de carbono fue derivado de ecuaciones empíricas para cada uno de los cuatro tipos de agregados de nieve marina presentes. Para las muestras del GSL, el volumen de los agregados de nieve marina fue calculado usando las estimaciones del porcentaje del campo del microscopio estereoscópico ocupado por la nieve marina en Romero *et al.* (2000), suponiendo que estos agregados representan el área de un círculo de una esfera proyectada sobre el plano del microscopio. Los volúmenes esféricos fueron luego convertidos a $\mu\text{g C}$ utilizando la ecuación empírica de Alldredge (1998) para agregados diversos ($C = 1.09 V^{0.52}$). Los resultados (tabla 11) fueron mucho más bajos que los generados con el método de diferencia de Silver y Gowing (1991). Estos bajos valores fueron probablemente relacionados al reducido espacio ocupado por la nieve marina en las muestras de microscopio comparadas a los agregados frescos, como los colectados por Alldredge (1998).

En el Golfo de San Lorenzo, suponiendo que el enfoque de Silver y Gowing (1991) es cercano a la realidad y que los exopolímeros transparentes (TEP) son los constructores predominantes de polisacáridos, puede pensarse que el carbono de origen fitoplanctónico pudo ser el elemento más importante del flujo del COP, sobrepasando el de las pelotillas fecales y el del microzooplancton. Sin embargo, solo el microscopio electrónico podría revelar si células del nanofitoplancton y fitodetritus (difíciles de detectar a las magnitudes del microscopio invertido), contribuyeron significativamente a la fracción de la nieve marina.

Tabla 11. Incertidumbre en la estimación de la nieve marina.

Crucero / Est.	FLUJOS mgC/m ² /d						% DEL FLUJO TOTAL POC	
	Nieve Marina				Nieve Marina		Nieve Marina	
	C Total (CHN)	C Inorg.	C Org. Total	C Org. atribuído	Diferen- cia	Allredge 1998	Diferen- cia	Allredge 1998
Trampas grandes								
5 1B	19.6	0.29	19.3	5.4	14.2	0.10	72.5	0.5
5 6B	33.7	0.78	32.9	10.9	22.8	0.13	67.7	0.4
6 1B	47.0	1.41	45.6	18.2	28.8	0.40	61.2	0.9
6 6B	22.7	0.74	22.0	8.5	14.2	0.39	62.6	1.8
7 1B	16.8	1.17	15.6	26.6	-9.8	0.47	-58.6	3.0
7 5B	23.0	0.68	22.3	8.7	14.3	0.26	62.4	1.2
8 1B	67.0	3.29	63.7	13.7	53.3	0.53	79.6	0.8
8 4B	36.0	2.07	33.9	8.9	27.1	0.66	75.2	1.9
8 5B	10.0	0.62	9.4	7.5	2.5	0.38	25.1	4.1
9 1B	73.0	3.18	69.8	13.3	59.7	0.45	81.7	0.6
9 2B	78.0	2.55	75.5	20.0	58.0	1.33	74.4	1.8
9 3B	16.0	0.33	15.7	24.0	-8.0	0.82	-50.3	5.2
9 5B	122.0	4.09	117.9	21.7	100.3	1.95	82.3	1.7
Trampas pequeñas								
5 1s	166.9	2.83	164.1	18.5	148.4	0.72	88.9	0.4
5 4s	302.0	4.50	297.5	37.4	264.6	6.43	87.6	2.2
5 6s	78.2	4.61	73.6	317.0	-238.8	2.10	-305.3	2.9
6 1s	257.4	3.44	254.0	134.0	123.4	3.93	47.9	1.5
6 4s	220.4	3.90	216.5	152.1	68.3	10.55	31.0	4.9
6 6s	140.3	2.38	137.9	198.8	-58.5	5.99	-41.7	4.3
7 1s	194.6	2.84	191.8	120.7	73.9	1.76	38.0	0.9
7 4s	91.0	2.43	88.6	373.0	-282.0	7.87	-309.8	8.9
7 5s	148.9	5.78	143.1	115.2	33.7	6.56	22.7	4.6
8 1s	147.0	3.91	143.1	47.2	99.8	1.79	67.9	1.3
8 2s	124.0	4.03	120.0	79.4	44.6	4.02	36.0	3.4
8 2bs	124.0	4.29	119.7	65.2	58.8	4.12	47.5	3.4
8 4s	120.0	3.72	116.3	71.1	48.9	5.94	40.8	5.1
8 5s	83.0	2.68	80.3	28.2	54.8	1.65	66.0	2.1
9 1s	153.0	3.70	149.3	196.6	-43.6	15.85	-28.5	10.6
9 2s	88.0	1.55	86.5	257.2	-169.2	1.47	-192.2	1.7
9 4s	122.0	1.84	120.2	217.7	-95.7	50.88	-78.4	42.3
9 5s	184.0	6.18	177.8	173.7	10.3	23.22	5.6	13.1

Análisis químicos orgánicos de esta fracción pudieran también ayudar en la distinción entre dominancia animal o vegetal (productos de origen animal dominan en el material en hundimiento encontrado en la porción marina del Estuario de San Lorenzo, Colombo *et al.*, 1996). Reducir los errores asociados al método de diferencia requiere otro tipo de tratamiento. Una sugerencia podría ser refinar los algoritmos limitándolos a sistemas tróficos específicos y ciclos de vida reciente de cada componente. Esto sería útil para desarrollar métodos que separen físicamente flujo-componentes, usando por ejemplo gradientes de densidad. Estos diferentes componentes pueden ser luego analizados directamente para sus contenidos de carbono. Ensayar estas técnicas, constituiría un mejoramiento sobre los meticulosos y tardados métodos microscópicos.

CAPITULO IV

DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión y comentarios generales

El presente estudio representa la primera descripción y cuantificación de los diversos tipos de partículas que contribuyen al flujo vertical en el Golfo de San Lorenzo. Los tipos de partículas más comunes del transporte vertical (nieve marina, pelotillas fecales del zooplancton y estructuras duras de organismos planctónicos) ya han sido reportados para otras áreas (p. e. Honjo, 1997; Turner, 2002). A pesar de que en la literatura hay muchos reportes de la abundancia de tipos específicos de partículas en sedimentación, son pocos los que han intentado incluir el rango completo de partículas, dentro de los que destaca el trabajo de Silver y Gowing (1991). Éllas han reportado la presencia de microzooplancton (muy pequeño para ser eliminado de las muestras de las trampas) como una parte incierta del flujo. Su presencia posiblemente pudo deberse a que entraron a los cilindros recolectores como nadadores o durante migraciones verticales y luego perecieron al contacto con la solución fijadora. La abundancia de nadadores en las trampas del Golfo, a pesar del corto periodo de colecta y la ausencia de soluciones fijadoras, sugiere fuertemente que tales organismos estuvieron íntimamente asociados con el grueso del material en sedimentación y deben ser considerados como parte natural del flujo.

Los fragmentos minerales y granos de polen solo fueron abundantes en algunas estaciones del año y representaron los aportes continentales desde las áreas que rodean al Golfo.

Aunque los cocolitos son muy pequeños para ser contados confiablemente bajo el microscopio invertido, los agregados de éstos, reportados comúnmente como componentes estacionales significativos del flujo en ambientes del océano abierto oligotrófico (p. e. Cadée, 1985) no fueron observados en el Golfo de San Lorenzo.

La cuantificación de la contribución de la nieve marina permanece como una tarea difícil. En el presente estudio, su contribución fue estimada por el porcentaje del área total que los agregados ocuparon sobre el plano del campo de un microscopio estereoscópico. Esta varió entre 2 y 65%, con un promedio del 15%. Dado que la nieve marina es tridimensional, está sujeta a continua dispersión y re-agregación y ocupa mucho espacio en tercera dimensión; por lo que la estimación es aún incierta. Durante el estudio cuantitativo en el microscopio invertido, las submuestras de las trampas fueron diluidas fuertemente y dispersas antes de permitirles

sedimentar al interior de la cámara recolectora, por lo que la nieve marina no fue contada como el resto de las partículas. De hecho, ésta incluyó todas aquellas partículas muy finas como para ser observadas. El uso de la técnica de tinción de Passow y Alldredge (1995), que proporciona al menos la abundancia semicuantitativa de la sustancia que sirve como adhesivo en agregados de nieve marina (exopolímeros transparentes derivados de las exudaciones de diatomeas) sería muy útil en estudios futuros

El presente estudio ha proporcionado estimaciones de flujos numéricos de los principales componentes discernibles del material particulado, tanto si éstos estuvieron sedimentando como partículas individuales o adheridas a los agregados más grandes de nieve marina.

La comparación de los resultados de este estudio con otros ambientes oceánicos disponibles (tabla 5, capítulo II) mostró que los flujos de frústulas de diatomeas se ubicaron entre aquellos reportados para ambientes oligotróficos del océano abierto y flujos de áreas de productividad moderada. El flujo de las pelotillas fecales en el GSL, no obstante, estuvo entre los más altos flujos registrados.

Un análisis del flujo de pelotillas fecales de varios diámetros y formas (fig. 13), muestra que no obstante cierta variabilidad, el origen de las pelotillas fecales pudo ser atribuido a especies de copépodos que dominaron el zooplancton de la columna de agua. De forma similar, los flujos de diferentes frústulas fitoplanctónicas observadas en las muestras de trampas, reflejaron la composición de las clases dominantes (no frágiles) en la columna de agua al momento del muestreo. Esto sugiere que, no obstante la incertidumbre que existe acerca del grado con el cual las trampas muestrean correctamente, las trampas de libre deriva utilizadas en este estudio proporcionan un registro confiable de las partículas en sedimentación a través de la columna de agua.

Debido a la escasa cobertura estacional para muchos de los sitios muestreados y la tendencia de sobre-muestrear de los cilindros de las trampas pequeñas, los datos más útiles resultaron ser las contribuciones relativas de los diferentes tipos de partículas, más que sus flujos numéricos absolutos.

Este estudio muestra que las dos condiciones tróficas identificadas independientemente vía recolecciones obtenidas de la columna de agua con botellas Niskin, fueron reflejadas en el contenido de las trampas de sedimento. 1^o. Un periodo de “florecimiento”, caracterizado por la presencia en las muestras de la trampa de formas pennales así como diatomeas centrales, con una menor presencia de pelotillas fecales y en particular de partículas zooplanctónicas. 2^{do}. Un periodo con condiciones de “no florecimiento”, durante el cual la abundancia de fitoplancton disminuyó notablemente siendo los dinoflagelados las formas más evidentes, además de pelotillas fecales de diferentes formas, tintínidos y foraminíferos. Adicionalmente, un periodo de transición o “post-florecimiento”, caracterizado por la dominancia de una especie de diatomea central, una menor abundancia de dinoflagelados y la presencia de microzooplancton muy diverso, se detectó solo en las trampas de sedimento de este estudio.

La sección que aborda los vectores del carbono en este estudio se enfocó a la evaluación del flujo de carbono atribuible a la variedad de partículas, y de qué manera su importancia relativa puede cambiar con las condiciones tróficas en la capa fótica.

Los flujos absolutos fueron estimados para las principales clases de partículas. Los volúmenes se calcularon a partir de medidas microscópicas de los ejes cortos y largos, suponiendo un espesor para el tercer eje y una forma tridimensional sencilla. La conversión hasta flujos de carbono se obtuvo aplicando algoritmos publicados para la densidad y contenidos en carbono orgánico (tabla 6). Los resultados (ver figura 16) mostraron que:

- a). Las pelotillas fecales fueron el principal componente del flujo de carbono.
- b) El carbono fitoplanctónico aunque fue importante, rara vez dominó el flujo.
- c) Microzooplancton y productos del mesozooplancton (ejem. mudas, huevos) generalmente presentaron aportes menores al flujo de carbono, pero ocasionalmente llegaron a ser importantes.
- d). La variabilidad fue alta entre sitios y entre las trampas grandes y chicas, por lo que no pudieron distinguirse patrones estacionales claros.

Cuando se examinaron las diferentes clases de partículas en términos de sus contribuciones relativas, el carbono de origen heterotrófico fue más importante que el de origen fitoplanctónico (particularmente cuando una gran porción de éste último provino de dinoflagelados heterotróficos). Hubo algunas tendencias con respecto a los diferentes muestreos (ver fig. 18, capítulo III). Por ejemplo, hubo relativamente más carbono fitoplanctónico durante los cruceros 5 (mayo-junio), 6 (julio) y 7 (noviembre-diciembre) en 1993; y más carbono zooplanctónico durante el crucero 9 (junio 1994). Las tendencias no siguieron claramente las condiciones tróficas de “florecimiento” “post-florecimiento” y “no florecimiento” descritas para los flujos numéricos (figs. 10, 11 y 12). Debido a los pequeños volúmenes y bajo contenido de carbono de las células fitoplanctónicas, sus elevados flujos numéricos durante el “florecimiento” de abril de 1994 no fueron suficientes como para que los autótrofos dominaran el flujo de carbono.

Además, la existencia de flujos de exportación casi iguales durante las condiciones de florecimiento y no florecimiento a causa de la elevada contribución del carbono de las pelotillas fecales, obligó a Rivkin *et al.* (1996) a re-examinar el modelo conceptual que asume poca interacción entre el bucle microbiano y el zooplancton.

Sólo cuando las flujos de carbono de las clases grandes de partículas (fitoplancton, pelotillas fecales, zooplancton) fueron subdivididas de nuevo en términos de las contribuciones relativas de sus grupos (figuras 19, 20 y 21) sus asociaciones con las condiciones tróficas prevalecientes se volvieron más claras. Los patrones más definidos fueron evidenciados por el fitoplancton, en el cual las dominancias se alternaron entre diatomeas y dinoflagelados. Debido a los pequeños volúmenes y bajo contenido de carbono de las células fitoplanctónicas, aún con sus elevados flujos numéricos durante el periodo de florecimiento de abril 1994, no fueron suficientes como para que dominaran el flujo de carbono.

Considerando la intensa labor en el procedimiento de atribución de carbono a las partículas, parece que el simple conteo de tipos de partículas y el análisis de sus flujos numéricos proporciona un mejor índice del cambio de condiciones tróficas que las estimaciones de sus contribuciones al flujo de carbón orgánico. Este comentario es aún más pertinente cuando consideramos nuestro pobre conocimiento acerca de la contribución en carbono del componente nieve marina.

El carbono de la nieve marina fue determinado substrayendo la suma de todas las contribuciones en carbono, basadas en los algoritmos microscópicos, al flujo total de carbono determinado independientemente por análisis de CHN de la muestra (fracción). Los resultados (ver tabla 10) indican que este componente fue generalmente el vector más importante del transporte de carbono. Un grado similar de importancia fue reportado por Silver y Gowing (1991) para muestras de trampas de varios sitios en el Pacífico Noroeste. Otros trabajos como los de Bishop *et al.* (1977; 1978) han intentado también cuantificar este componente dominante del flujo vertical.

La tabla 10 no obstante, muestra algunos valores negativos muy difíciles de explicar coherentemente. Esto significa que algo del flujo de carbono atribuido a las partículas debió ser sobrestimado, aumentando las dudas sobre la utilidad del uso de algoritmos para los cálculos de todas las clases de partículas. El método por diferencia esencialmente agrupa todos los errores experimentales en la estimación del flujo de carbono de la nieve marina. Las incertidumbres metodológicas incluyen: a) un leve sesgo durante la subdivisión de muestras, las diluciones y los procesos de manipulación con las cámaras de sedimentación, que permiten una gran diferencia en las velocidades de sedimentación entre partículas de diferente peso y densidad; b) errores asociados con la simplificación de la forma de partícula y correspondientes figuras geométricas más parecidas para el cálculo de su volumen, c) estimación de la tercera dimensión utilizando una medida aproximada o tomada de la literatura; d) el uso de algoritmos que asumen densidades promedio de carbono para todas las partículas de la misma clase y e) los grandes factores de multiplicación aplicados cuando se convierten los datos desde pequeñas submuestras (“splits”) a flujos de las trampas en términos de $m^2/día$.

Los algoritmos usados han estado basados en un pequeño número de estudios en los cuales, las muestras de las clases de partículas en cuestión fueron físicamente separadas por densidades independientes y análisis de carbono. Es posible que las poblaciones naturales de partículas muestren considerable variación en estos parámetros. Si esto es cierto, entonces sería mejor establecer procedimientos de separación que permitan la evaluación directa de los contenidos de carbono, al menos, de las principales clases de partículas.

Un procedimiento alternativo se presenta en el anexo de esta tesis, basado en la separación física de diferentes clases de partículas y sus velocidades de sedimentación. Una vez que ellas se

separan, pueden ser analizadas independientemente (por análisis de CHN, por ejemplo) para sus contenidos en carbono. Mientras que los resultados de estos experimentos sobre muestras de trampas del Golfo de San Lorenzo (Canadá) y Bahía Concepción (B.C.S.) no son aún concluyentes, tal método resulta mucho más simple, consume menos tiempo y es probablemente más preciso que las dimensiones medidas bajo el microscopio y convertidas algorítmicamente.

4.2. Sumario y conclusiones generales

- 1) De acuerdo al promedio de los flujos de COP ($42 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y la media de la producción primaria ($411 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), los niveles de productividad del GSL van de bajos (oligotróficos) a moderados (mesotróficos)
- 2) Debido a nuestros limitados datos, las variaciones espacio-temporales se confunden. La mejor serie temporal se obtuvo para la estación 1 (Mont-Louis) donde los flujos de masa total y carbono permanecieron elevados aún en los meses de cobertura de hielo (otoño e invierno).
- 3) En este estudio se presenta la primera descripción y cuantificación de los diversos tipos de partículas que contribuyen al flujo de material que sedimenta en el GSL. Estuvo integrado por una mezcla heterogénea de partículas de diferentes, tipos, tallas, consistencias, coloración y orígenes que incluyó: agregados de nieve marina, pelotillas fecales, fitoplancton, zooplancton, microzooplancton, polen y granos minerales.
- 4) No obstante las limitaciones, los flujos numéricos muestran cambios estacionales que corresponden a los dos regímenes tróficos (“floreCIMIENTO” y “no florecimiento”) identificados por investigaciones hechas en la columna de agua. Además muestran una situación intermedia que fue identificada en este estudio como “post-floreCIMIENTO”
- 5) En términos de flujos de carbono los principales vectores de hundimiento en orden de importancia fueron: las pelotillas fecales, el fitoplancton y el zooplancton

- 6) La contribución en carbono de los componentes heterotróficos parecen dominar sobre la de fitoplancton.
- 7) La nieve marina fue difícil de evaluar. Una tentativa de estimarla fue proyectando su cobertura en 2 dimensiones en el campo del microscopio. Estos resultados muestran que, en términos de superficie, la nieve fue poco importante.
- 8) En términos de flujos de carbono, no obstante, los resultados de la nieve marina indican una contribución dominante (generalmente entre 23-89 % del flujo total de carbono)
- 9) Las estimaciones de la contribución de carbono de la nieve marina incluyen todos los errores de los cálculos para los otros componentes del flujo ya medidos y resulta difícil aceptarlas como ciertas. Sin embargo, un simple experimento de laboratorio, indica que la separación física de las clases de partículas más importantes y la determinación directa de sus contenidos en carbono, puede ofrecer estimaciones más rápidas y más certeras de sus contribuciones al flujo total de carbono.

GLOSARIO

Anclaje. Es un sistema para suspender uno o varios instrumentos oceanográficos a las profundidades deseadas (p. ejem. trampas de sedimento serie de tiempo larga, corrientómetros, etc.). Este consiste en un cable muy resistente suspendido desde la superficie o sub-superficie por boyas y anclado al fondo con un gran peso que a veces está unido a un liberador acústico o a una cuerda de flotación extendida horizontalmente para facilitar su recuperación. En esta línea de anclaje pueden suspenderse uno o varios instrumentos oceanográficos a las profundidades deseadas (p. ejem. trampas de sedimento serie de tiempo larga, corrientómetros, etc.)

Coprofagía. Es una variante en los hábitos alimenticios de algunos organismos que se alimentan de sus propias heces o del material fecal de otros organismos.

Coprohexy. Es el mecanismo durante el cual los organismos (principalmente planctónicos) destruyen con sus patas sus propias heces o de otros organismos y se alimentan de ellas.

Diagénesis temprana. Es la suma de todos los mecanismos que causan las transformaciones tempranas en los sedimentos recientemente depositados. Se lleva a cabo principalmente en la parte superior del primer metro de los depósitos e involucra la biosfera- principalmente cambios químicos, remobilización y mezcla.

Flujo numérico. En este estudio, el flujo numérico se refiere al número de partículas de una clase dada que atraviesan la superficie de una área (p. e. la boca de la trampa de sedimento) en un intervalo de tiempo. Este puede ser expresado en valores absolutos ($\# / m^2 / d$) o en términos relativos (% of the total $\# / m^2 / d$).

Flujo de carbono. Es la cantidad de carbono asociado con un componente dado que atraviesa una unidad de área por unidad de tiempo. En este estudio, los valores absolutos se expresan como ($mg C / m^2 / d$), mientras que los valores relativos son expresados como el porcentaje del flujo total de carbono absoluto ($\% C_{tot} / m^2 / d$).

Abundancia relativa en términos del área de superficie proyectada. Es el porcentaje del área proyectada sobre el plano del campo del microscopio ocupado por una clase de partícula dada, comparado con el total del área proyectada ocupada por la suma de todas las partículas medidas. La longitud y ancho, o el diámetro, de cada partícula fueron usados para calcular el área de la superficie de una simple y apropiada forma geométrica. (cuadrado, rectángulo, círculo...etc.).

Nadadores. Organismos principalmente planctónicos que entran a las trampas atraídos probablemente por el material que se esta sedimentando o por algún mecanismos físico. Son considerados como contaminantes y se recomienda retirarlos del material recolectado por las trampas.

Nieve marina. Es un tipo de material amorfo derivado principalmente de las exudaciones mucosas de organismos vivos. Es de naturaleza semitransparente y pegajosa a la que se adhieren diversos tipos de partículas ya sea por procesos biológicos o fisicoquímicos formando agregados que van desde algunos milímetros a metros.

Número de Reynolds. Es un número sin dimensiones, proporcional al cociente de la fuerza inercial sobre la fuerza de viscosidad de un fluido el cual es importante cuando existe un gradiente de velocidad cercano a una frontera, sea un tubo, un organismo o el fondo marino. Cuando el número de Reynolds es alto, el flujo del fluido pasa de la condición laminar a turbulenta.

Producción nueva. Producción fotosintética basada principalmente en el nitrógeno nuevo, el cual entra a la zona fótica desde afuera, especialmente en forma de nitrato, el cual que es transportado durante periodos de mezcla profunda o surgencias.

Producción regenerada. Es la producción fotosintética basada sobre el nitrógeno que es reciclado dentro de zona fótica, principalmente amonio (NH_4) y urea.

Razón C:N. Es el cociente de la concentración molar de carbono hacia el nitrógeno. Altos valores sugieren que la materia orgánica es degradada o de origen terrestre.

Razón Redfield. Es el cociente del promedio molar del carbono hacia los dos principales nutrientes en la materia orgánica (nitrógeno y fósforo) es: 106:16:1 (C: N: P) y de los cambios relativos en las concentraciones de los nutrientes disueltos.

Trampa de sedimento de libre deriva. Es un interceptor de partículas en vías de sedimentarse, construida con dispositivos para que siga una masa de agua (p. ejem. una vela, boyas, etc.) a una profundidad determinada. Este tipo de trampa es utilizada para eliminar la posibilidad de perturbaciones turbulentas en la boca de la trampa y para muestreos de corta duración (1 ó 2 días) que no necesitan el uso de una solución preservativa.

Trampa de sedimento de serie de tiempo larga. Es un interceptor de partículas que se suspende en una línea de anclaje. Esta puede ser de forma cilíndrica, cónica o con el cono receptor oculto en un cilindro. Están equipadas con un carrusel programable para hacer girar los tubos recolectores llenados con la solución preservativa a intervalos de tiempo predeterminados. Este tipo de trampa es utilizado para recolectar muestras en forma continua a través de semanas, meses o años. Algunos modelos más comúnmente utilizados son las cónicas con una superficie de recolección de 1 m² (modelo Honjo) y otras más chicas con cono oculto y una superficie de recolecta de 1/ 8 de m² como la que se utilizó en este estudio (“Technicap” modelo PPS-3/3).

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFIA

- Allredge, A. 1998. The carbon, nitrogen and mass content of marine snow as a function of aggregate size. *Deep-Sea Research I* 45: 529-541.
- Allredge, A. L. 1976. Discarded appendicularian houses as sources of food, surface habitats, and particulate organic matter in planktonic environments. *Limnology and Oceanography* 21: 14-23.
- Allredge, A. L. 1972. Abandoned larvacean houses: a unique food source in the pelagic environment. *Science* 177: 885-887.
- Allredge, A. L. y Cohen, Y 1987. Can microscale chemical patches persist in the sea? Microelectrode study of marine snow, fecal pellets. *Science* 235: 689-691
- Allredge, A. L., Gotschalk, C. 1989. Direct observations of the mass flocculation of diatom blooms: characteristics, settling velocities and formation of diatom aggregates. *Deep-Sea Research* 36: 159-171.
- Allredge, A. L., y Gotschalk C. C. 1990. The relative contribution of marine snow of different origins to biological processes in costal waters. *Continental Shelf Research* 10: 41-58.
- Allredge A. L., Silver M. W. 1988. Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Progress in Oceanography* 20: 41-82.
- Allredge, A. L. y MacGillivray, P. 1991. The attachment probabilities of marine snow and their implications for particle coagulation in the ocean. *Deep-Sea Research* 38: 431-443.
- Allredge, A. L., Gotschalk, C., Passow, T., Riebesell, U. 1995. Mass aggregation of diatom blooms: Insights from a mesocosm study. *Deep-Sea Research II* 42(1): 9-27.
- Allredge, A. L., Passow, U., Logan, B. E. 1993. The abundance and significance of class of large, transparent organic particles in the ocean. *Deep-Sea Research I* 40(6): 1131-1140.
- Ayukai, T. 1990. Fecal pellet production by two species of planktonic calanoid copepods fed on naturally occurring particles. *Bulletin Plankton Society of Japan* 37: 167-169.

- Ayukai, T. y Hatterri, H. 1992. Production and downward flux of zooplankton fecal pellets in the anticyclonic gyre of Shikoku, Japan. *Oceanologica Acta* 15(2): 163-172.
- Azam, F., Fenchel, T., Field, J. G., Gray, J. S., Mayer-Re, A. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series* 10: 257-263.
- Bates, N. R., Michaels, A. F., Knap, A. H. 1996. Seasonal and interannual variability of oceanic carbon dioxide species in the U.S. JGOFS Bermuda Atlantic Time-series Study (BATS) site. *Deep-Sea Research* 43 (2-3): 347-384.
- Bates, N. R., Pequignet, A. C., Johnson, R. J., Gruber, N. 2002. A short-term sink for atmospheric CO₂ in subtropical mode water of the North Atlantic Ocean. *Nature* 420: 489-493.
- Bathmann, U. V., Noji, T. T., Voss, M., Peinert, R. 1987. Copepod fecal pellets: abundance, sedimentation and content at a permanent station in the Norwegian Sea in May/June 1986. *Maine Ecology Progress Series* 38: 45-51.
- Bathmann, U. V., Peinert, R., Noji, T. T., von Bodungen, B. 1990. Pelagic origin and fate of sedimenting particles in the Norwegian Sea. *Progress in Oceanography* 24: 117-125.
- Beers, J. R., Trent, J. D., Reid, F. M. H., Shanks, A. L. 1986. Macro-aggregates and their phytoplankton components in the Southern California Bight. *Journal of Plankton Research* 8: 475-487.
- Berger, A. 1992. *Le Climat de la Terre. Un passé pour quel avenir?* De Boeck-Wesmael. S.A. 479 pp.
- Berner, R. A. 1982. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean: its geochemical and environmental significance. *American Journal of Science* 282: 451-473.
- Biddanda, B. A. 1985. Microbial synthesis of macroparticulate matter. *Marine Ecology progress Series* 20: 241-251.
- Billet, D. S. M., Lamplitt, R. S., Rice, A. L., Mantoura, R. F. C. 1983. Seasonal sedimentation of phytoplankton to the deep-sea benthos. *Nature* 302: 520-522.

- Bingham, F. M. y Lukas, R. 1996: Seasonal cycles of temperature, salinity and dissolved oxygen observed in the Hawaii Ocean Time-series. *Deep-Sea Research II* 43 (2-3): 199-213.
- Bishop, J. K. B., Edmond, J. M. Ketten, D. R., Bacon, M. P., Silker, W. B. 1977. The chemistry, biology, and vertical flux of particulate matter from the upper 400 m of the equatorial Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research* 24: 551-548.
- Bishop, J. K. B., Ketten, D. R., Edmond, J. M. 1978. The chemistry, biology and vertical flux of particulate matter from the upper 400 m of the Cape Basin in the southeast Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research* 25: 1121-1161.
- Boyd, P., Newton, P., Rivkin, R. B., Legendre, L., Deibel, D., Tremblay, J.-E., Klein, B., Crocker, K., Roy, S., Silverberg, N., Lovejoy, C., Mesplé, F., Romero, N., Anderson, M. R., Matthews, P., Savenkoff, C., Vézina, A., Therriault, J.-C., Wesson, J., Berubé, C., Ingram, R. G. 1997. Measuring biogenic carbon flux in the ocean. *Science* 275: 554-556.
- Bodungen, B. V. 1986. Phytoplankton growth and krill grazing during spring in the Bransfield strait, Antarctica- implications from sediment trap collections. *Polar Biology* 6: 153-160.
- Boutin, J. y Etcheto, J. 1997: Long-term variability of the air-sea CO₂ exchange coefficient: Consequences for the CO₂ fluxes in the equatorial Pacific Ocean. *Global Biogeochemistry Cycles* 11(3): 453-470.
- Bruland, K. W. y Silver, M.W. 1981. Sinking rates of fecal pellets from gelatinous zooplankton (Slaps, Pteropods, Doliolids). *Marine Biology* 63: 295-300.
- Buck, K. R. y Chavez, F. O. 1994. Diatom aggregates from the open ocean. *Journal of Plankton Research* 16: 1449-1457.
- Buck, K. R. y Newton, J. 1995. Fecal pellet flux in Dabob Bay during a diatom bloom: contribution of microzooplankton. *Limnology and Oceanography* 40(2): 306-315.
- Buttler, M. y Dam, H. G. 1994. Production rates and characteristics of fecal pellets of copepod *Acartia tonsa* under simulated phytoplankton bloom conditions: implications for vertical fluxes. *Marine Ecology Progress Series* 114:81-91.

- Cadée, G. C. 1985. Macro aggregates of *Emiliana huxleyi* in sediment traps. *Marine Ecology Progress Series*. 24: 193-196.
- Cadée G. C., González, H., Schnack-Schiel, S. B. 1992. Krill diet affects fecal string settling. *Polar Biology* 12: 75-80.
- Conte, M. H., Ralph, N., Ross, E. H. 2001. Seasonal and interannual variability in the deep ocean particle fluxes at the Oceanic Flux Program (OFP/Bermuda Atlantic Time Series (BATS) site in the western Sargasso Sea near Bermuda. *Deep-Sea Research Part II* 48: 1471-1505.
- Cortés, M. Y., Bollmann, J., Thierstein, H. R. 2001 Coccolithophore ecology at the HOT station ALOHA, Hawaii. *Deep-Sea Research Part II* 48(8-9): 1957-1981.
- Chiswell, S. M., 1996 Intra-annual oscillations at Station ALOHA, north of Oahu, Hawaii. *Deep-Sea Res. II* 43 (2-3): 305-319.
- Colombo, J. C., Silverberg, N., Gearing, J. N. 1998. Amino acid biogeochemistry in the Laurentian Trough: Vertical particle flux and early diagenesis. *Organic Geochemistry* 29: 933-945.
- Colombo, J. C., Silverberg, N., Gearing, J. N. 1997 (a) Lipid biogeochemistry in the Laurentian Trough: I- Fatty acids, sterols and aliphatic hydrocarbons in rapidly settling particles. *Organic Geochemistry* 25: 211-225.
- Colombo, J. C., Silverberg, N., Gearing, J. N. 1997 (b). Lipid biogeochemistry in the Laurentian Trough: I- Composition and relative reactivity of fatty acids, sterols and aliphatic hydrocarbons during early diagenesis. *Organic Geochemistry* 25: 257-274.
- Colombo, J. C., Silverberg, N. Gearing, J. N. 1996. Biogeochemistry of organic matter in the Laurentian Trough: I - Composition and vertical flux of rapidly settling particles. *Marine Chemistry* 51: 277-293.
- Dagg, M. J. 1995. A comment on variability due to feeding activity of individual copepods (Paffenhöfer, 1994). *Journal of Plankton Research* 17: 903-905.

de-Lafontaine, Y., Demers, S., Runge, J. 1991. Pelagic food web interactions and productivity in the Gulf of St. Lawrence: A perspective. In. The Gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary? (Ed.) Therriault, J.-C., Canadian Special Publications in *Fisheries and Aquatic Sciences* 113: 99-123.

Deibel, D. 1995. Personal communication. Ocean Sciences Centre, Memorial University, St. John's, Newfoundland, A1C 5S7 Canada.

Deuser, W. G. y Ross, E. H. 1980. Seasonal change in the flux of organic carbon to the deep Sargasso Sea. *Nature* 283: 364-365.

Deuser, W. G., Roos, E. H., Anderson, R. F. 1981. Seasonality in the supply of sediment to the deep Sargasso Sea and implications for the rapid transfer of matter to the deep ocean. *Deep-Sea Research* 28A: 495-505.

Dilling, L. y Alldredge, A. 1993. Can chaetognath fecal pellets contribute significantly to carbon flux? *Marine Ecology Progress Series* 92:51-58.

Doyon, P. e Ingram, R. G., 2000. Seasonal upper-layer T-S structure in the Gulf of St. Lawrence during the ice-free months. *Deep-Sea Research II* 47: 385-41.

Doyon, P., Ingram, R. G., Legendre, L., Klein, B., Tremblay, J.-E., Therriault, J.-C. 2000. Hydrodynamic control of phytoplankton biomass in the Gulf of St. Lawrence. *Deep-Sea Research II* 47: 415-433.

Dugdale, R. C. y Goering, J. J. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography* 12: 196-206.

Dunbar, R. B. y Berger, H. W. 1981. Fecal pellets flux to modern bottom sediment of Santa Barbara Basin (California) Based on sediment trapping. *Geological Society of America Bulletin* 92: 212-218.

Eppley, R. W. y Peterson, B. J. 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* 282: 677-680.

- Fasham, M. J. R.; Ducklow, H. W.; McKelvie, S. M. 1990. A nitrogen –based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer. *Journal of Marine Research* 48: 591-639.
- Feely, R. A., Wanninkhof, R., Goyet, C., Archer, D. E., Takahashi, T. 1997. Variability of CO₂ distributions and sea-air fluxes in the central and eastern equatorial Pacific during the 1991–94 El Niño. *Deep-Sea Research II* 44: 1851–1867
- Feely, R. A., Wanninkhof, R., Takahashi, T., Tans, P. 1999. The influence of El Niño on the equatorial Pacific contribution to atmospheric CO₂ accumulation. *Nature* 398: 597–601.
- Fenchel, T. 2001. Marine bugs and carbon flow. *Science* 292: 2444-2445.
- Fenchel, T. 1988. Marine plankton food chains. *Ann. Rev. Ecol. Syst* 19:19-38.
- Fogg, G. E. 1966. Algal cultures and phytoplankton ecology. Madison. Wisconsin: University of Wisconsin Press. 126 pp.
- Fowler, S. W. y Knauer, G. A. 1986. Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the oceanic water column. *Progress in Oceanography* 16: 174-194.
- Gardner, W. D. 1996. Sediment trap technology and sampling in surface water. Report of the sediment trap workshop. 1st. International JGOFS Symposium, Ville France Sur Mer, France, May 8-12 1995.32 pp.
- González, H. E., Kurbjeweit, F., Bathmann U. V. 1994 (a). Occurrence of cyclopid copepods and faecal material in the Halley Bay region, Antarctica, during January-February 1991. *Polar Biology* 14: 331-342.
- González, H. E., González S. R., Brummer G. J. A. 1994 (b). Short-term sedimentation pattern of zooplankton, faeces and microplankton at a permanent station in the Bjørnafjorden (Norway) during April-May 1992. *Marine Ecology Progress Series* 105: 31-45.
- González, H. E., Ortiz V. C., Sobarzo, M. 2000. The role of faecal material in the particulate organic carbon flux in the northern Humboldt Current, Chile (23° S), before and during the 1997-1998 El Niño. *Journal of Plankton Research* 22(3): 499-529.

- Gowing, M. M., Silver, M. W. 1985. Minipellets: A new and abundant size class of marine fecal pellets. *Journal of Marine Research* 43: 395-418.
- Grossart, H. P., Simon, M., Logan, B. E. 1997. Formation of macroscopic organic aggregates (lake snow) in a large lake: The significance of transparent exopolymer particles, phytoplankton, and zooplankton. *Limnology and Oceanography* 42(8): 1651-1659.
- Gruber, N., Keeling, C. D., Bates, N. R. 2002. Interannual Variability in the North Atlantic Ocean Carbon Sink. *Science* 298: 2374-2378.
- Gust, G., Byrne, R. H., Bernstein, R. E., Betzer, P. R., Bowles, W. 1992. Particle fluxes and moving fluids: experience from synchronous trap collections in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Research* 39: 1071-1083.
- Gust, G., Michaels, A. F., Johnson, R., Deuser, W. G., Bowles, W. 1994. Mooring line motions and sediment trap hydromechanics: in situ intercomparison of three common deployment designs. *Deep-Sea Research* 41: 831-857.
- Hargrave, B. T. 1985. Particle sedimentation in the ocean. *Ecological Modeling* 30: 229-246.
- Hargrave, B. T. y Prouse, N. J. 1981. Observations of dissolved nutrients, phytoplankton biomass, sedimentation and sediment organic matter in St. Georges Bay, 1978. *Canadian Technical Report. Fisheries. Aquatic Science* 1001:1-91
- Hargrave, B. T. y Taguchi, S. 1978. Origin of deposited material sediment in a marine bay. *Journal of the Fisheries Research Board of Canadian* 35: 1604-1613.
- Hargrave, B., Siddall, G., Steeves, G., Awalt, G. 1994. A current-activated sediment trap. *Limnology and Oceanography* 39(2): 383-390.
- Hasle, G. R., 1978. Using the inverted microscope, In. *Phytoplankton Manual*, (Ed.) Sournia, A., pp. 191-196, UNESCO, Paris.
- Hasle, G. R. y Lange, C. B. 1992. Morphology and distribution of *Coscinodiscus* species from the Oslofjord, Norway, and the Skagerrak, North Atlantic. *Diatom Research* 7: 37-68.

- Hansen B., Fotel L. F., Jensen N. J., Madsen, S. M. 1996. Bacteria associated with a marine planktonic copepod in culture II. Degradation of fecal pellets produced on diatom, a nanoflagellate or a dinoflagellate diet. *Journal of Plankton Research* 18 (2): 275-288.
- Hayashi, M. Furuya, K. Hattori, H. 2001. Spatial heterogeneity in distributions of chlorophyll a derivatives in the sub arctic North Pacific during summer. *Journal of Oceanography* 57: 323-331.
- Head, E. J. y Harris, L. R. 1992. Chlorophyll and carotenoid transformation and destruction by *Calanus* spp grazing on diatoms. *Marine Ecology Progress Series* 86: 229-238.
- Hedges, J. I., Clark, W. A., Cowie, G. L. 1988. Fluxes and reactivates of organic matter in a coastal marine bay. *Limnology and Oceanography* 33(5): 1137-1152.
- Heiskanen, A. S. 1995. Contamination of sediment trap fluxes by vertically migrating phototrophic micro-organisms in the coastal Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 122, 45-58.
- Honjo, S. 1997. The rain of ocean particles and Earth's carbon cycle. *Oceanus* 40(2): 4-7.
- Honjo S. 1980. Material flux and modes of sedimentation in the meso-pelagic and bathypelagic zones. *Journal of Plankton Research* 38: 53-97.
- Honjo, S. 1978. Sedimentation of materials in the Sargasso Sea at a 5637 m deep station. *Journal of Marine Research* 36: 469-492.
- Honjo, S., Doherty, K. W. 1988. Large aperture time-series sediment traps; design objectives, construction and application. *Deep-Sea Research* 35: 133-149.
- Honjo, S. y Roman, M. R. 1978. Marine copepod fecal pellets: production, preservation and sediment. *Journal Marine Research* 36:45-57.
- Honjo, S., Manganiny, S. J., Cole. J. J. 1982. Sedimentation of biogenic matter in the deep ocean. *Deep-Sea Research* 29(5A): 609-625.

Huskin, I., Anadón, R., Álvarez-Marqués, F., Harris, S.P. 2000. Ingestion, faecal pellet and egg production rates of *Calanus helgolandicus* feeding coccolithophorid versus non- coccolithophorid diets. *Journal Experimental Marine Biology Ecology* 248: 239-254.

Inoue, H. y Sugimura, Y. 1992. Variations and distributions of CO₂ in and over the equatorial Pacific during the period from 1986/88 El Niño event to the 1988/89 La Niña event. *Tellus B* 44: 1-22.

Karl, D. M., Knauer, G. A., Martin J. H. 1988. Downward flux of particulate organic matter in the ocean: a particle decomposition paradox. *Nature* 332: 438-441.

Kjørboe, T. y Hansen, J. L. S. 1993. Phytoplankton aggregate formation: observations of patterns and mechanisms of cell sticking and the significance of exopolymeric material. *Journal of Plankton Research* 15: 993-1018.

Knauer, G. A. y Martin, J. H., 1981. Primary production and carbon-nitrogen fluxes in the upper 1,500 m of the northeast Pacific. *Limnology and Oceanography* 26: 181-186.

Knauer, G. A., Martin, H., Bruland, K. W. 1979. Fluxes of particulate carbon, nitrogen and phosphorus in the upper water column of the northeast Pacific. *Deep-Sea Research* 26:97-108.

Lalli, C. M. y Parsons, T. R. 1993. *Biological Oceanography: An introduction*. Pergamon Press. New York, ref. p. 287.

Lange, C. B., Treppke, U. F., Fischer, G. 1994. Seasonal diatom fluxes in the Guinea Basin and their relationships to trade winds, hydrography and upwelling events. *Deep-Sea Research* 41: 859-878.

Lavigne, C., Juniper, K., Silverberg, N. 1997. Spatial-temporal variability in benthic microbial activity and particle flux in the Laurentian Trough. *Deep-Sea Research* 44: 1793-1813.

Lee, C., Wakeham, S. G., Hedges, J. I. 1988. The measurement of oceanic particle flux: are "Swimmers" a problem? *Oceanography Magazine* 1, 34-36.

- Legendre, L. y Le Fèvre, J. 1989. Hydro dynamical singularities as controls of recycled versus export production in oceans. In: *Productivity of the ocean: present and past*, W. H. Berger, V. S. Smetacek and G. Wefer, editors, J. Wiley and Sons Ltd., Chichester, pp. 49-63.
- Legendre, L. y Rassoulzadegan, F. 1996. Food-web mediated export of biogenic carbon in oceans: hydrodynamic control. *Marine Ecology Progress Series* 145: 179-193.
- Lima I. D. y Doney S. C. 2004. A three-dimensional, multi-nutrient, size-structured ecosystem model for the North Atlantic. *Global Biogeochemical Cycles* 18 GB3019, doi: 10.1029/2003GB00222146.
- Lohrenz, S. E., Knauer, G. A., Asper, V. L., Tuel, M., Michaels A. F., Knap A. H. 1992. Seasonal variability in primary production and particle flux in the Northwestern Sargasso Sea: U.S. JGOFS Bermuda Atlantic Time-Series Study. *Deep-Sea Research* 38(7/8): 1373-1391.
- Longhurst, A. R. y Harrison, W. G. 1989. The biological pump: profiles of plankton production and consumption in the upper ocean. *Progress in Oceanography* 22:47-123.
- Louchouart, P., Lucotte, M., Silverberg, N., 1996. Source variations and reactivity of terrigenous organic biomarkers in settling particulate matter and sediments from the Lower St. Lawrence Estuary, Canada. Proceedings of the "4th International Symposium on the Geochemistry of the Earth's Surface". 22nd-28th July, Ilkley, England. pp. 307-312.
- Lovejoy, C., Legendre, L., Therriault, J.-C., Tremblay, J.-E., Klein, B., Ingram, R.G. 2000. Growth and distribution of marine bacteria in relation to nanoplankton community structure. *Deep-Sea Research* 47: 461-488.
- Lundsgaard, C. y Olesen, M. O. 1997. The origin of sedimenting detrital matter in a coastal system. *Limnology and Oceanography* 42: 1001-1005.
- Lukas, R., Santiago-Mandujano, F. Bingham, F. y Mantyla, A. 2001: Cold bottom water events observed in the Hawaii Ocean time-series: Implications for vertical mixing. *Deep-Sea Research I* 48 (4): 995-1022.

- Mari, X. y Kiørboe, T. 1996. Abundance, size, distribution and bacterial colonization of transparent exopolymeric particles (TEP) during spring in the Kattegat. *Journal of Plankton Research* 18: 969-986.
- Martens, P. 1978. Faecal pellets. Fiches d'Identification du Zooplankton 162, 1-4.
- Martens, P. y Krause, M. 1990. The fate of faecal pellets in the North Sea. *Helgol Meeresunters* 44: 9-19.
- Martin, J. H., Knauer, G. A., Karl, D. M., Broenkow W. W. 1987. VERTEX: carbon cycling in the northeast Pacific. *Deep-Sea Research* 34(2):2 67-285.
- Menden-Deuer, S. y Lessard, E. J. 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton. *Limnology and Oceanography* 45(3): 569-579.
- Michaels A. F., Bates N. R., Buesseler, K. O., Carlson, C. A. y Knap, A. H. 1994, Carbon-cycle imbalances in the Sargasso Sea. *Nature* 372: 537-540.
- Michaels, A. F., Silver, M. W., Gowing, M. M., Knauer, G. A. 1990. Cryptic zooplankton "swimmers" in upper ocean sediment traps. *Deep-Sea Research* 37: 1285-1296.
- Miquel, J. C., Fowler, S. W., La Rosa, J., Buat-Menard, P. 1994. Dynamics of the downward flux of particles and carbon in the open northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research* 41: 243-261.
- Moloney, C. L., Field, J. G. 1991. The size-based dynamics of plankton food webs. I. A simulation model of carbon and nitrogen flows. *Journal of Plankton Research* 13: 1003-1038.
- Mucci, A., Sundby, B., Gehlen, M., Arakaki, T., Zhong, S., Silverberg, N. 2000. The fate of carbon in continental shelf sediments or eastern Canada: a case study. *Deep-Sea Research. II* 47: 733-760.
- Murray, J. W., Lebrogne, R., Dandonneau, Y. 1997. JGOFS studies in the equatorial Pacific. *Deep-Sea Research II* 44(9): 1759-1763.
- Noji, T. T. 1991. The influence of macrozooplankton on vertical particulate flux. *Sarsia* 76:1-9

- Noji, T. T., Bathmann U. V., Bodungen B. Von, Voss, M., Antia, A., Krumbholz M., Klein, B., Noji, CI-M., Peeken, I., Rey, F. 1997. Clearance of picoplankton-size particle and formation of rapidly sinking aggregates by the euthecosomatous pteropods, *Limacina retroversa* *Journal of Plankton Research* 19: 863-875.
- Noji, T. T., Borsheim, K. Y., Rey, F., Nortvedt, R. 1999. Dissolved organic carbon associated with sinking particles can be crucial for estimates of vertical carbon flux. *Sarsia* 84: 129-135.
- Olivieri E. T. 1985. Feasibility of estimating phytoplankton size and biomass in fresh and preserved samples from the Benguela current with a coulter counter. *South Africa Journal Marine. Science* 3: 99-110.
- Pace, M. L., Knauer, G. A., Karl, D. M., Martin, H. 1987. Primary production, new production and vertical flux in the eastern Pacific Ocean. *Nature* 325: 803-804.
- Passow, U. y Alldredge, A. L. 1995. Aggregation of diatom bloom in a mesocosm: the role of exopolymer particles (TEP). *Deep-Sea Research II* 42: 99-109.
- Passow, U. y Peinert, R. 1993. The role of plankton in particle flux: two case studies from the northeast Atlantic. *Deep-Sea Research* 40: 573-585.
- Passow, U., Alldredge, A. L., Logan, B. E. 1994. The role of particulate carbohydrate exudates in the flocculation of diatom blooms. *Deep-Sea Research I* 41(2): 335-357.
- Passow U. y Wassmann P. 1994. On the trophic fate of *Phaeocystis pouchetii* (Hariot): The formation of marine snow by *P. pouchetii*. *Marine Ecology Progress Series* 104: 153-161.
- Peinert, R. 1986. Production, Grazing and sedimentation in the Norwegian coastal current In: *The role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems*. NATO ASI. Series Vol. G7. Ed. Skreslet. 361-374
- Ploug, H y Grossart, H. P. 2000. Bacterial growth and grazing on diatom aggregates size and sinking velocity. *Limnology and Oceanography* 45: 1467-1475.

- Pomeroy, L. R. y Deibel, D. 1980. Aggregation of organic matter by pelagic tunicates. *Limnology and Oceanography* 25: 643-652.
- Prieto, L., Sommer, F., Stibor, H., Koeve, W. 2001. Effects of planktonic copepods on transparent exopolymeric particles (TEP) abundance and size spectra. *Journal of Plankton Research* 23(5): 515-525.
- Puskaric, S., Fowler, S. W., Miquel, J-C. 1992. Temporal changes in particulate flux in the Northern Adriatic Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 35: 267-287.
- Rainville L. A., Marcotte, B. M. 1985. Abundance, energy, and diversity of zooplankton in the three water layers over slope depths in the Lower St. Lawrence Estuary. *Naturaliste Canadien* 112: 97-103.
- Ramaiah, N., Yoshikawa, T., Furuya, K. 2001. Temporal variations in transparent exopolymer particles (TEP) associated with diatom spring bloom in a sub arctic area Japan. *Marine Ecology Progress Series* 212: 79-88.
- Riebesell, U. (1991). Particle aggregation during a diatom bloom II. Biological aspects. *Marine Ecology Progress Series* 69: 281-291.
- Rice, A. L., Billet, D. S. M., Fry, J., John, A. W. G., Lampitt, R. S., Mantoura, R. F. C., Morris, R. J. 1986. Seasonal deposition of phytodetritus to the deep-sea floor. *Proceeding of the Royal Society of Edinburgh*. 88B: 265-279.
- Rivkin, R. V., Legendre, L., Deibel, D., Tremblay, J.-E., Klein, B., Crocker, K., Roy, S., Silverberg, N., Lovejoy, C., Mesplé, F., Romero, N., Anderson, M. R. Matthews, P., Savenkoff, C., Vézina, A., Therriault, J.-C., Wesson, J., Berubé, C., Ingram, R.G. 1996. Vertical flux of biogenic carbon in the ocean: is there food web control? *Science* 272: 1163-1166.
- Romero, N., Silverberg, N., Roy, S., Lovejoy, C. 2000. Sediment trap observations from the Gulf of St. Lawrence and the continental margin of eastern Canada. *Deep-Sea Research II* 47: 545-584.

- Roy, S. y Poulet, S. A. 1990. Laboratory study of the chemical composition of aging copepod fecal material. *Journal Experimental Marine Biology Ecology* 135: 3-18.
- Roy, S., Silverberg, N., Romero, N., Deibel, D., Klein, B., Savenkoff, C., Vézina, A., Tremblay, J-E., Legendre, L., Rivkin, R. B. 2000. The impact of mesozooplankton feeding on the downward flux of biogenic carbon in the Gulf of St. Lawrence (Canada). *Deep-Sea Research II* 47: 515-544.
- Runge, J. A. 1984. Egg production of the marine planktonic copepod, *Calanus pacificus* Brodsky: laboratory observations. *Journal of Experimental. Marine Biology and Ecology* 74: 53-66.
- Savenkoff, C., Vézina, A. F., Packard, T. T., Silverberg, N., Therriault, J.-C., Chen, W., Bérubé, C., Mucci, A., Klein, B., Mesplé, F., Tremblay, J.-E., Legendre, L., Wesson, J., Ingram, R. G. 1996. Distributions of oxygen, carbon, and respiratory activity in the deep layer of the Gulf of St. Lawrence and their implications for the carbon cycle. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 2451-2465.
- Savenkoff, C., Vézina, A. F., Roy, S., Klein, B., Lovejoy, C., Therriault, J.-C., Legendre, L., Rivkin, R., Berubé, C., Tremblay, J.-É., Silverberg, N. 2000. Export of biogenic carbon and structure and dynamics of the pelagic food web in the Gulf of St. Lawrence. I. Seasonal variations. *Deep-Sea Research II* 47: 585-607.
- Sévigny, J.-M., Sinclair, M., El-Sabh, M., Poulet, S., Cote, T. 1979. Summer plankton distributions associated with physical and nutrient properties of the northwestern Gulf of St. Lawrence. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 35: 1171-1185.
- Sicko-Goad, L., Stoermer, E. F., Ladewski, B. G. 1977. A morphometric method for correcting phytoplankton cell volume estimates. *Protoplasm* 93: 147-163.
- Shanks, A. L. y Edmonton, E. W. 1990. The vertical flux of metazoans (holoplankton, meiofauna, and larval invertebrates) due to their association with marine snow. *Limnology and Oceanography* 35: 455-463.
- Silver, M. W. y Gowing, M. M. 1991. The “particle” flux: origins and biological components. *Progress in Oceanography* 6: 75-113.

Silver, M. W., Gowing, M. M., Brownlee, D. C., Corliss, J. O. 1984. Ciliated protozoa associated with oceanic sinking detritus. *Nature* 309: 246-248.

Silverberg, N., Edenborn, H. M., y Belzile, N. 1985. Sediment response to seasonal variations in organic matter input. Chapter 12, p. 69-81, In: *Marine and Estuarine Geochemistry*, A. C. Sigleo & A. Hattori, Editors. Lewis Publishers Inc, Chelsea, MI.

Silverberg, N., Nguyen, H. V., Delibrias, G., Koide, M., Sundby, B. Yokohama, Y., Chesselet, R. 1986. Radionuclide profiles, sedimentation rates, and bioturbation in modern sediments of the Laurentian Trough, Gulf of St. Lawrence. *Oceanological Acta* 9: 285-290.

Silverberg, N.; Sundby, B.; Mucci, A.; Zhong, S.; Arakaki, T.; Hall, P.; Landén, A.; Tengberg, A. 2000. Remineralization of organic carbon in eastern Canadian continental margin sediments. *Deep-Sea Research II* 47: 699-731.

Smetacek, V. 1980. Annual cycle of sedimentation in relation to plankton ecology in western Kiel Bight. *Ophelia* (Supp.) 1: 65-76.

Smetacek, V. 1985. Role of sinking in diatom life-history cycles: ecological, evolutionary and geological significance. *Marine Biology* 84: 239-251.

Smetacek, V. y Hendrikson, P. 1979. Composition of particulate organic matter in Kiel Bight in relation to phytoplankton succession. *Oceanological Acta* 2: 287-298.

Smetacek, V., von Brockel, K., Zeitzchel, B., Zenk, W. 1978. Sedimentation of particulate matter during a phytoplankton spring bloom in relation to the hydrographical regime. *Marine Biology* 47: 211-226.

Smith, K. L. Jr. 1987. Food energy supply and demand: A discrepancy between particulate organic carbon flux and sediment community oxygen consumption in the deep ocean. *Limnology and Oceanography* 32: 201-220.

Staresinic, N., Farrington, J., Gagosian, R. B., Clifford, C. H., Hulburt, E. M. 1983. Downward transport of particulate matter in the Peru coastal upwelling: role of the anchovy *Engraulis*

ringens. In: Suess E., Thiede J. (eds.) *Coastal upwelling: its sediment record*. Part A. Responses of the sedimentary regime to present coastal upwelling. Plenum, New York, p 225-240.

Steinberg, D. K, Carlson, C. A., Bates, N. R., Johnson, R. J., Michaels, A. F., Knap, A. H., 2001. The U.S. JGOFS Bermuda Atlantic Time-series Study: A decade-scale look at ocean biology and biogeochemistry. *Deep-Sea Research II* 48: 1405-1447.

Steven, D. M. 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. McGill University Marine Sciences Centre Manuscript Report 26: 1-116.

Strathmann, R. R. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnology and Oceanography* 12: 411-418.

Suess, E. 1988. Effects of microbe activity. *Nature* 333: 17-18.

Syvitski, J .P. M., Silverberg, N., Oullet, G., Aspray, K. W. 1983. First observations of benthos and seston from a submersible in the lower St. Lawrence Estuary. *Geographic Physique ET Quaternarie* 37: 227-240.

Takahashi, K., Billings, J. D., Morgan, J. K. 1990. Oceanic province: Assessment from the time-series diatoms fluxes in the northeastern Pacific. *Limnology and Oceanography* 35: 154-165.

Terry, R. D., Chilingar, G. V. 1955. Summary of concerning some additional aids in studying sedimentary formations. *Journal of Sedimentary Petrology* 25: 229-234.

Therriault, J-C. (Ed.) 1991. The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary? *Canadian Special Publication, Fisheries and Aquatic Science*. 113: 359 p.

Therriault, J-C., Legendre, L., Demers, S. 1991. Oceanography and Ecology of phytoplankton in the St. Lawrence Estuary. *Coastal and Estuarine Studies*, 39: 269-295. In: M.I. El-Sabh, N. Silverberg (Eds.) *Oceanography of a Large Scales Estuarine System The St. Lawrence*. Springer-Verlag New York Inc

Tian, R. C., Vézina, A. F., Legendre, L., Ingram, R. G., Klein, B., Packard, T., Roy, S., C. Savenkoff, C., Silverberg, N., Therriault, J.-C., Tremblay, J.-E. 2000. A model of the pelagic

food web and biogeochemical cycling of carbon and nutrient in the water column. *Deep-Sea Research II* 47: 637- 662.

Thibault, D., Roy, S., Wong, C. S., Bishop, J. K. 1999. The downward flux of biogenic material in the NE subarctic Pacific: importance of algal sinking and mesozooplankton herbivore. *Deep-Sea Research II* (46)11-12: 2669-2697.

Tremblay, C., Runge, J. A., Legendre, L. 1989. Grazing and sedimentation of ice algae during and immediately after a bloom at ice-water interface. *Marine Ecology Progress Series* 56: 291-300.

Turner, J. T. 1977. Sinking rates of fecal pellets from the marine copepod *Pontella meadii*. *Marine Biology* 40: 249-259.

Turner, T. J. 2002. Zooplankton fecal pellets, marine now and sinking phytoplankton blooms. *Aquatic Microbiology Ecology* 27:57-102.

Turner, J. T. y Anderson, D. M. 1983. Zooplankton grazing during dinoflagellates bloom in a Cape Cod embayment, with observations of predation upon tintinnids by copepods, PSZN I: *Marine Ecology* 4: 359-374.

Turner, J. T. y Ferrante, J. G. 1979. Zooplankton fecal pellets in aquatic ecosystems. *Bioscience* 29: 670-677.

Urban, J. L., McKenzie, C. H., Deibel, D. 1992. Seasonal differences in the content of *Oikopleura vanhoeffeni* and *Calanus finmarchicus* faecal pellets: illustrations of zooplankton food web shifts in coastal Newfoundland waters. *Marine Ecology Progress Series* 84: 255-264.

Urrère, M. A., Knauer, G. A. 1981. Zooplankton fecal pellet fluxes and vertical transport of particulate organic material in the pelagic environment. *Journal of Plankton Research* 3: 369-387.

U.S. JGOFS, 1989. Sediment trap technology and sampling. Report of the U.S. GOFS Working group on sediment trap technology and sampling, Knauer, G., Asper, V. (Co-chairs), U.S. GOFS Planning Report Number 10, August 1989, 94 pp.

Valiela, I. 1995. *Marine Ecological Processes*. 2da Edition. Springer-Verlag New York 686 pp.

Viitassalo, M., Rosenberg, M., Hesikanen, A. S., Kosi, M. 1999. Sedimentation of copepod fecal material in the coastal northern Baltic Sea: Where did all the pellets go? *Limnology and Oceanography* 44: 1388-1399.

Vézina A. F., Savenkoff, C., Roy, S., Klein, B., Rivkin, R., J.-C. Therriault, J.-C., Legendre, L. 2000. Export of biogenic carbon and structure and dynamics of the pelagic food web in the Gulf of St. Lawrence II Inverse analysis. *Deep-Sea Research II* 47: 609-635.

Waite, A., Gallager, S., Dam, H. G. 1997. new measurements of phytoplankton aggregation in a flocculator using video-graph and image analysis. *Marine Ecology Progress Series* 155: 77-88

Wassmann P., Peinert R., Smetacek V. 1991. Patterns of production and sedimentation in the boreal and polar northeast Atlantic. In Sakshagun E, Hopkins CCE, Øritsland NA (eds.) *Proceeding of the Pro Mare Symposium on Polar Marine Biology*, Trondheim, 12 to 16 May 1990. *Polar Research* 10: 209-228.

Zakardjian, B. A., Gratton, Y., Vézina, A. F. 2000. Late-spring phytoplankton bloom in the lower St. Lawrence estuary: the flushing hypothesis revisited. *Marine Ecology Progress Series* 192: 31-48.

Consultas en Internet @

Agbeti, M. D. 1997. (<http://www.indiana.edu/~diatom/biovol.dis>). The futher discussion of biovolume measurements or straight to David Kirschtel's web page for his BIOVOL program (M.Agbeti, D. Kirschtel, & DIATOM-L). (última consulta, 6 de septiembre del 2005).

Bice, D. 2001. (<http://www.geos.psu.edu/~dbice/DavesSTELLA/carbon/carbon-intro.htm>). Exploring the Dynamics of Earth Systems: a guide to constructing and experimenting with computer models of Earth systems using STELLA. Dep. of Geology Carleton College Northfield, MN 55057. (última consulta, 6 de septiembre del 2005).

Buesseler, K., Bowles, M, Joyce, K. 2001. New Wave of Science: U.S. Joint Global Ocean Flux Study brochure 16 pags. Woods, Hole, MA. (http://usjgofs.who.edu/images/jgofs_brochure.pff). (última consulta, 6 de septiembre del 2005).

Johnson, Bruce y Nightingale, B. 1994. (<http://is.dal.ca/%7Ebjohnson/info.3htm>). Information about CJGOFS (Canadian Joint Global Ocean Flux Study). CJGOFS-Secretariat, Oceanography Dept., and Administrative Assistant, Oceanography Dept Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada B3H 4J1. (última consulta, 6 de septiembre del 2005).

Keeling, C. D. y Whorf, T. P. 2000. (<http://cdiac.esd.ornl.gov/trend/CO2/sio-mlo.htm>). Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling net work, In Trends: Acompendium of data on global change. Carbon dioxe information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn. U.S.A. (última consulta, 6 de septiembre del 2005).

ANEXO

SEPARACIÓN DE PARTICULAS POR SU VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN EN MUESTRAS DEL GOLFO DE SAN LORENZO (CANADÁ)

Una de las dificultades de trabajar con el material capturado por trampas de sedimento es el de separar físicamente las partículas colectadas, sobre todo si en la mezcla colectada se encuentran agregados de nieve marina. Estos agregados, semitransparentes y adhesivos, tienden a aglutinar las partículas, dificultando su separación, identificación y cualquier tipo de medición, conteo, o análisis que se requiera determinar, ya que la nieve marina como tal, es considerada partícula-constituyente del flujo de partículas en hundimiento. Uno de los análisis más difíciles de llevar a cabo son las determinaciones de los flujos de carbono con el que contribuyen las partículas al flujo total de COP (Carbono Orgánico Particulado).

Tratando de encontrar una metodología que permitiera la separación física de éstas partículas, para poder medir directamente su contenido de carbono, en lugar de utilizar métodos indirectos mucho más difíciles y laboriosos de realizar, como las mediciones microscópicas, se ensayó un método de separación física de partículas en muestras de trampas de sedimento. Esto se llevó a cabo en una estancia de investigación realizada con muestras provenientes de Bahía Concepción, las cuales contenían abundante material que permitió hacer réplicas.

BREVE DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA

Procedimiento

- a) Después de varias pruebas con diferentes sustancias (sucrosa, solución salina y sucrosa, percol y diferentes concentraciones de soluciones salinas) se encontró que el mejor medio para que sedimentaran y se separaran las partículas fue una concentración saturada de sal (NaCl).

- b) Se hizo una preparación de 18 litros de agua desmineralizada, saturada con sal (NaCl), suficiente para utilizar la misma agua de igual densidad ($d = 1.19 \text{ g/cm}^3$) a través de todo el experimento.
- c) Se disolvieron 350 g de NaCl por cada litro de agua caliente desmineralizada permitiendo que se enfriara a la temperatura ambiente (22-24 °C).
- d) La solución saturada se vertió en un cilindro graduado de 1 litro.
- e) Una muestra de la trampa fue cuidadosamente vaciada al interior del cilindro con la solución salina, lavando las paredes del tubo de la muestra con la misma solución.
- f) Se hicieron pruebas para determinar el tiempo óptimo de sedimentación y separación de las partículas. Se encontró que entre una gama de 4 a 13 minutos, 4 minutos resultó ser el tiempo suficiente para que las partículas más pesadas (pelotillas fecales y organismos con conchillas) llegaran al fondo. El resto (nieve marina y fitoplancton) se separó en dos capas.
- g) Utilizando suficiente material como el que se acumula en las trampas de series de tiempo larga (varios días de recolección de material), se logró obtener una buena separación de las partículas, fácil de observarse durante la prueba.
- h) Las partículas que lograron separarse en cada zona se observaron al microscopio estereoscópico y se obtuvo la siguiente distribución en porcentajes.

Zona I. 95% nieve marina (agregados muy finos). 5% mezcla de diatomeas pennales y centrales (aisladas y en cadena), granos minerales finos.

Zona II. 60% nieve marina 30% diatomeas centrales pennales (en cadena y aisladas), 8% tintínidos y granos minerales muy finos, 2% fragmentos pequeños de pelotillas fecales no compactas

Zona III. 90% pelotillas fecales compactas y no compactas, enteras y en fragmentos de diferentes diámetros, 8% tintinados, 2% Mezcla de diatomeas

centrales pequeñas en cadena, algunas penales, globigerinas, granos minerales, mudas de zooplancton y pequeños caracolillos

El procedimiento se aplicó luego a seis muestras restantes del Golfo de San Lorenzo, pero no se observó una clara separación en tres capas en ninguna de las muestras y un segundo tratamiento de sedimentación no mejoró la separación. Esto pudo estar relacionado a cambios que ocurrieron durante el largo período de almacenamiento (en formol al 4%) desde que las muestras fueron obtenidas, el mucus más pegajoso pudo haber unido la nieve marina, o pudieron ser por otras razones desconocidas.

Observaciones del proceso de separación de muestras del Golfo de San Lorenzo (Canadá).

Una muestra inicial de trampa fue cuidadosamente vaciada al interior del cilindro con la solución salina, lavando las paredes de la muestra con la misma solución.

Después del tiempo óptimo previamente determinado (4 minutos) solo se formaron 2 zonas, una capa semitransparente que ocupó la mayor parte del volumen del cilindro y una segunda en el fondo del cilindro.

El material separado, fue recuperado para observarlo al microscopio. La primera zona contuvo una mezcla de nieve marina, diatomeas y muy pocos tintínidos. La segunda zona contuvo pelotillas fecales de diferentes formas, testas de foraminíferos, algunos granos minerales y mudas de organismos zooplanctónicos.

Se hizo una segunda dilución para tratar de purificar la primera zona, pero la nieve marina y diatomeas se encontraron aún a través de la columna, sin observarse ninguna separación bajo el microscopio estereoscópico.

Las muestras seleccionadas para este análisis fueron aquellas que contuvieron más material (ya que en general todas las muestras de trampas de sedimento de 42 horas, contenían muy poco material para el tratamiento) y fueron procesadas para repetir cada uno de los procesos previos.

No obstante de contar con material, no se pudo observar de nuevo la formación de tres diferentes zonas después del tiempo óptimo de 4 minutos, como fue el caso para el procedimiento desarrollado con las muestras de Bahía Concepción. De nuevo, sólo 2 zonas se formaron con idénticas características de la primera muestra. La zona I ocupó la mayor parte del volumen de la probeta observándose una mezcla de nieve marina, diatomeas y unos pocos tintínidos. La zona II contuvo pelotillas fecales, algunos granos minerales y mudas de organismos zooplanctónicos. Las restantes 4 muestras (6 en total), se comportaron de la misma manera que las 2 primeras, cuando se llevó a cabo la separación. De nuevo, solo 2 zonas se formaron, una capa al fondo de la probeta con las partículas más pesadas, de más rápida sedimentación y oscuras y una zona semitransparente que correspondió la capa de mayor volumen de la probeta.

Después se procedió a filtrar el material de cada zonas formada en las 6 muestras (en filtros de 25 mm de diámetro de fibra de vidrio GF/F, secos y prepesados) con el fin obtener el peso seco del material filtrado.

Los filtros se enviaron para determinación de análisis químicos de Carbono y Nitrógeno en un analizador elemental de CHN, al laboratorio analítico de la Universidad de California en Santa Bárbara, USA.

Resultados

Los resultados se presentan en la tabla 1. Los valores de contenido de carbono de 6 muestras cuyas partículas fueron físicamente separadas por sus velocidades de sedimentación, se comparan con el contenido de cuatro de las trampas de sedimento colocadas en el GSL, previamente determinadas usando los procedimientos de la tesis (dimensiones microscópicas, estimaciones de volumen y contenido de carbono orgánico por algoritmos). St. "S", una muestra fuera del talud continental de Nueva Escocia, se incluyó también porque contenía suficiente cantidad de material para la técnica de separación, pero no fue analizada para las contribuciones individuales de carbono en la tesis.

Los valores marcados en azul, nos indican que a pesar del número reducido de muestras analizadas, es posible observar semejanzas en los valores del contenido de carbono de la nieve

marina, fitoplancton y microzooplancton entre los dos métodos, así como valores cercanos en el contenido de carbono de las pelotillas fecales y del mesozooplancton.

Tabla 1. Comparación de los resultados de diferentes clases de partículas provenientes de muestras del Golfo de San Lorenzo y separadas por su velocidad de sedimentación (experimento), con los valores de las mismas muestras, estimados en el trabajo de tesis (carbono asignado a clases específicas de partículas medidas al microscopio). Se muestran: sus pesos secos expresados en ug; sus contenidos de carbono en $\mu\text{g C}$; las fracciones que representan del peso total de la muestra; carbono total y carbono orgánico de varios tipos de partículas. (P= trampa pequeña; G= trampa grande).

Fecha	Estación y tipo de trampa	Tipo de partícula	Experimento					Carbono org. tesis	
			Peso seco (ug)	C μg	Frac. del peso total	Frac. del carbono total	Frac. del carbono org.	suma	solo fecal o nieve
16-jun-94	St. 4P	Fecal, conchas, mesozoo	760	98,0	0,0116	0,219	0,210	1,271	0,953
22-jun-94	St. 2G	Fecal, conchas, mesozoo	3830	169,6	0,0118	0,181	0,174	0,119	0,107
18-jun-94	St. 5G	Fecal, conchas, mesozoo	1750	120,3	0,0117	0,173	0,166	0,089	0,069
01-jun-93	St. 4P	Fecal, conchas, mesozoo	3950	128,6	0,0114	0,202	0,194	0,032	0,025
28-jun-94	St. SG	Fecal, conchas, mesozoo	4240	221,9	0,0241	0,494	0,475		
28-nov-93	St. 4P	Fecal, conchas, mesozoo	2560	135,3	0,0162	0,297	0,285	0,993	0,817
16-jun-94	St. 4P	Nieve marina, fito, microzoo	7660	349,5	0,0415	0,781	0,750	-0,324	-0,784
22-jun-94	St. 2G	Nieve marina, fito, microzoo	10570	768,2	0,0533	0,819	0,787	0,840	0,744
18-jun-94	St. 5G	Nieve marina, fito, microzoo	8510	574,3	0,0560	0,827	0,794	0,868	0,823
01-jun-93	St. 4P	Nieve marina, fito, microzoo	7350	507,9	0,0449	0,798	0,767	0,953	0,876
28-jun-94	St. SG	Nieve marina, fito, microzoo	4980	227,5	0,0247	0,506	0,486		
28-nov-93	St. 4P	Nieve marina, fito, microzoo	5810	320,3	0,0383	0,703	0,676	0,174	-3,098

A pesar del escaso material (en masa) disponible por provenir de submuestras de trampas de solo 24 hrs (las pruebas iniciales de esta técnica se hicieron con muestras de trampas de serie de tiempo larga); este ensayo, con algunas muestras del GSL, produjo ya resultados interesantes.

No obstante que la separación de las muestras del GSL no fue tan buena, como la de los experimentos originales con material mucho más fresco y abundante de Bahía Concepción, donde fue posible aislar 3 zonas y separar en una el 95% de nieve marina; el simple hecho de que pocos días de trabajo de laboratorio puedan conducir a resultados similares a los obtenidos de observaciones de años de trabajo al microscopio y más tiempo de cálculos laboriosos y análisis de datos, presenta un substancial progreso.

Los resultados, presentados en la tabla 1 son comparados con los valores previamente calculados usando los procedimientos de mediciones microscópicas, cálculo del volumen y estimación del carbono. Aún cuando los nuevos valores de carbono provienen de separaciones imperfectas, el valor para el material dominante (pelotillas fecales), es una buena aproximación con los datos calculados en el presente trabajo de tesis y los valores de la fracción que incluye la nieve marina fueron consistentes. Tales resultados, obtenidos con un esfuerzo considerablemente menor, sugieren que futuros experimentos de este tipo, pudieran permitir estandarizar procedimientos para ser aplicados a fracciones específicas de prácticamente todos los estudios de trampas de sedimento.