

Research Article

Variaciones estacionales de los foraminíferos planctónicos durante 2005-2006 frente a Iquique (20°S) y Concepción (36°S), Chile

Nathalie Gajardo^{1,2} & Margarita Marchant¹

¹Departamento de Zoología, Universidad de Concepción, P.O. Box 160-C, Concepción, Chile

²Programa de Magíster en Ciencias mención Zoología, Escuela de Graduados
Universidad de Concepción, P.O. Box 160-C, Concepción, Chile

RESUMEN. Se estudió por primera vez las variaciones estacionales de los foraminíferos planctónicos frente a las costas de Iquique (20°S, 70°W) y Concepción (36°S, 74°W), Chile. Las muestras fueron recolectadas mediante trampas de sedimentos ubicadas en dos profundidades: 1.000 y 2.300 m, entre septiembre y diciembre 2005, bajo condiciones normales (con surgencias permanentes y ausencia del evento El Niño) en la zona norte, y entre enero y octubre durante el evento El Niño 2006 en la zona sur (con surgencias estacionales). Se determinó un total de 23 especies, 22 de las cuales se recolectaron frente a Iquique y 16 frente a Concepción. Además, se determinó el flujo de carbonato de calcio de foraminíferos, flujo de individuos y diversidad para definir patrones faunísticos en dichas áreas, de diferentes condiciones oceanográficas. Los resultados mostraron que en Iquique, bajo condiciones normales, se produjo un constante flujo de individuos y carbonato, con máximos en septiembre y octubre 2005, confirmando la presencia de surgencia costera en este período. Por el contrario, en Concepción, bajo condiciones El Niño (2006), el flujo de individuos y carbonato de calcio presentó máximos durante la época estival evidenciando surgencias, que sin embargo, son de menor duración (enero-febrero) respecto a lo descrito en condiciones normales para esta área. La diversidad fue mayor a menor en profundidad en ambas zonas, permaneciendo constante durante todo el período en la zona norte, a diferencia de la zona sur, cuyos mayores valores se observaron durante la época estival coincidiendo con los afloramientos costeros en esta área.

Palabras clave: foraminíferos planctónicos, surgencia costera, Iquique, Concepción, El Niño, Chile.

Seasonal variations of planktic foraminifera during 2005-2006 off Iquique (20°S) and Concepción (36°S), Chile

ABSTRACT. We studied for first time the seasonal variations of planktic foraminifera off Iquique (20°S, 70°W) and Concepcion (36°S, 74°W), Chile. The samples were collected by sediment traps located at two depths: 1000 and 2300 m between September and December 2005, under normal conditions (with permanent upwelling and the absence of El Niño) in the northern area and between January and October during the event El Niño 2006, in the southern area (with seasonal upwelling). In this study we determined in total 23 species, 22 which were collected off Iquique and 16 off Concepción. Furthermore, we determined the following parameters: carbonate and individual fluxes and the diversity in order to define faunal patterns in these areas in different oceanographic conditions. The results show that off Iquique (20°S) under normal conditions, there is a constant individual and carbonate flux, with peaks in September and October 2005 reaffirming the presence of coastal upwelling in this period. In contrast, off Concepción, under El Niño 2006, the individuals and calcium carbonate fluxes exhibits maxima during the summer upwelling showing however are of shorter duration (January-February) compared to that described in normal conditions for this area. The diversity was higher to a lower depth in the both areas remained constant throughout the period in the northern area, in contrast to the southern area, whose highest values were observed during the summer coinciding with coastal upwelling in this area.

Keywords: planktic foraminifera, coastal upwelling, Iquique, Concepción, El Niño, Chile.

INTRODUCCIÓN

La costa chilena se encuentra entre una de las regiones más productivas del océano mundial. Se incluye en los Sistemas de Corrientes de Bordes Orientales, caracterizados por la presencia de surgencia costera (Berger *et al.*, 1989). En esta área se presenta el Sistema de la Corriente de Humboldt, el cual es uno de los componentes principales de la circulación oceánica en las costas del Pacífico suroriental (Silva *et al.*, 2009), debido a la incidencia de la Deriva de los Vientos del Oeste (DVO) que llega al continente a los 42°-48°S. En este sistema, se genera una corriente hacia el norte, la Corriente de Perú-Chile y una hacia el sur, la Corriente del Cabo de Horno (Silva, 1977; Martens, 1981; Strub *et al.*, 1998; Silva *et al.*, 2009). La Corriente de Perú-Chile, a su vez está conformada por dos ramas, una costera y una oceánica, que se extienden hasta los 10°S, aproximadamente y que transportan aguas frías. En sentido opuesto a estas ramas, se encuentra la Contracorriente de Perú-Chile, que lleva aguas subtropicales, más cálidas, más salinas (Silva *et al.*, 2009) y de alta productividad biológica, incluso a escala global (Shaffer *et al.*, 1995).

Los afloramientos costeros que se presentan en esta área y particularmente en Chile, son atribuibles al efecto de los vientos del sur (anticiclón tropical del Pacífico sur) y suroeste sobre las aguas superficiales, produciendo una disminución en la temperatura y disponibilidad de oxígeno disuelto, además de aumento en los valores de salinidad (Kelly & Blanco, 1984), debido al ascenso de aguas subsuperficiales frías, salinas y pobres en oxígeno disuelto (Brandhorst, 1963).

Para la costa de Iquique (20°S) se han descrito eventos de surgencia permanentes, con una mayor intensidad en los períodos más cálidos (primavera y verano), en contraste a períodos fríos (otoño e invierno) que dependerían de factores locales, entre los que se puede mencionar la topografía de fondo (Fuenzalida, 1992). Por el contrario, para la zona de Concepción (36°S), se han establecido períodos de surgencia costera, desde septiembre hasta abril, época en que predominan los vientos del S y SW (Saavedra, 1980; Kelly & Blanco, 1984; Cáceres, 1992; Daneri *et al.*, 2000).

La surgencia costera provoca cambios en la productividad (aumenta), que son causados por la mayor disponibilidad de nutrientes en la columna de agua y esto es transmitido a través de las cadenas oceánicas en forma predecible (Tappan & Loeblich, 1988). Este cambio está directamente relacionado con la concentración de clorofila, la cual es posible detectar y caracterizar mediante un escáner a color

(Coastal Zone Color Scanners) (Thomas *et al.*, 1994, 2001; Thomas, 1999; Yuras *et al.*, 2005). Con esta técnica se estableció para el área de Concepción, ciclos estacionales bien definidos, con máximos de clorofila-*a* durante los meses estivales asociados a la presencia de vientos y surgencia (Thomas *et al.*, 2001). Para la zona norte, se describe una concentración baja de clorofila-*a* (<1 mg m⁻³) en forma persistente y constante (Thomas *et al.*, 2001). Otros datos indican que al norte de los 33°S las concentraciones son menores a 1,5 mg m⁻³, mientras que al sur de esta latitud, las concentraciones son relativamente altas (2-3 mg m⁻³) (Thomas, 1999).

Las aguas del Sistema de la Corriente de Humboldt se ven afectadas por aumentos de temperatura en superficie (1°C en invierno y 2,5°C en verano, frente a la costa central de Chile, El Niño 1991-92 (Marchant *et al.*, 1998)), debido a la penetración de una capa de agua cálida superficial proveniente de la zona ecuatorial, impediría o inhibiría la surgencia. Esta agua se puede desplazar hasta 5° de latitud más al sur de lo normal (Pickard & Emery, 1982), produciéndose la superposición de una capa de agua cálida sobre una capa fría. Esta situación provoca un aumento en la temperatura, afloramientos pobres en nutrientes, y descenso en la termoclina (Arntz & Fahrbach, 1996; Escribano *et al.*, 2004), bajo los 100 m de profundidad (Ramage, 1986). En algunos casos, la termoclina ha alcanzado a 200 m, como sucedió a los 23°S durante El Niño 1997-98 (González *et al.*, 1998).

Esta condición oceanográfica, conocida como El Niño, es una anomalía oceanográfica registrada en la costa sudamericana y se asocia a anomalías atmosféricas como la Oscilación del Sur en el Pacífico Tropical, conformando un sistema que experimenta cambios cíclicos (Aceituno & Montecinos, 1993). En conjunto, ambos eventos son conocidos como ENSO (El Niño/Oscilación del Sur, El Niño-Southern Oscillation) (*e.g.* Marchant *et al.*, 1998; McLean *et al.*, 2009), cuya variabilidad estaría condicionada por las fases extremas correspondientes a los eventos El Niño y La Niña (Aceituno, 1988; Rutllant & Fuenzalida, 1991), presentando implicancias climáticas a nivel global (Fernández *et al.*, 2004; McLean *et al.*, 2009). Biológicamente, el ENSO provoca un descenso en la biomasa, altera los niveles de producción biológica y modifica la estructura comunitaria del plancton, entre otros (Alheit & Niquen 2004; Escribano *et al.*, 2004). En este contexto, los foraminíferos planctónicos son sensibles a variaciones ambientales, lo que ha permitido evidenciar cambios ecológicos tanto en el pasado como en el periodo reciente (Boltovskoy, 1965, 1981). Sin embargo, los estudios referentes a la foraminíferofauna planctónica reciente en la costa

chilena son relativamente escasos, e.g. Boltovskoy, (1976), Zapata & Castillo (1986), Marchant (1997), Marchant *et al.* (1998, 2004), Marchant & Guzmán (2002), Coloma *et al.* (2005), Mohtadi *et al.* (2005) y Marchant & Gajardo (2010).

La costa de Iquique (20°S), se encuentra en la llamada Zona de Transición faunística, ubicada al sur de la Zona Subtropical y al norte de la Zona Subantártica (Bé & Tolderlund, 1971) y es posible observar una mezcla de especies planctónicas formada por foraminíferos tanto de aguas frías (e.g. *Neogloboquadrina pachyderma* Ehrenberg, 1861, *Turborotalita quinqueloba* (Natland, 1938)), como de aguas cálidas (e.g. *Globorotalia scitula* (Brady, 1882), *Globigerinoides sacculifer* (Brady, 1877), *Pulleniatina obliquiloculata* Parker & Jones, 1865) (Boltovskoy 1976, 1981). En cambio para la costa de Concepción (36°S) se encuentra en la Zona Subantártica (Boltovskoy, 1976), registrándose una asociación compuesta por especies típicas de agua frías, como *Neogloboquadrina incompta* (Cifelli, 1961), *N. pachyderma* Ehrenberg, 1861, *Globigerina glutinata* (Egger, 1893) y *Globigerina bulloides* d'Orbigny, 1826 (Boltovskoy, 1976).

La caracterización del evento El Niño, mediante foraminíferos planctónicos, ha sido realizada por Marchant *et al.* (1998, 2004, 2007), Coloma *et al.* (2005) y Mohtadi *et al.* (2005).

Marchant *et al.* (1998) frente a Coquimbo (30°S), registraron la presencia de 17 especies bajo condiciones normales y 19 especies durante el evento El Niño 1991-92. Bajo el evento El Niño destacaron cinco, siendo las más abundantes: *Neogloboquadrina incompta*, *N. pachyderma*, *Globigerina bulloides*, *Globigerinella calida* (Parker, 1962) y *N. dutertrei* (D'Orbigny, 1865) y durante condiciones normales las especies dominantes fueron: *N. incompta*, *N. pachyderma*, *G. calida* y *G. bulloides*. De la misma forma, se da cuenta de un flujo de individuos, ca. 4.000 ind. m⁻² día⁻¹, en promedio, durante condiciones normales y una ligera disminución durante El Niño (3.000 ind. m⁻² día⁻¹). Estos altos flujos de individuos, durante enero, coinciden con un aumento de surgencia costera, según lo indicado por los isótopos estables de oxígeno en *Globigerina bulloides* y *Neogloboquadrina incompta*. La señal isotópica también apunta a una columna de agua estratificada sin surgencia a principios de 1994, coincidiendo con bajos flujos de foraminíferos (Marchant *et al.*, 1998). Respecto a la riqueza de foraminíferos planctónicos frente a Coquimbo, Coloma *et al.* (2005) registraron un aumento a 26 especies durante El Niño 1997-1998.

Marchant *et al.* (2004) describen las variaciones estacionales e interanuales, frente a la costa de Coquimbo, durante un periodo de seis años (1993-1998). Se registró un alto flujo de foraminíferos al comienzo del verano y un bajo flujo al comienzo del invierno. Bajo el evento El Niño 1997-98 se encontró un aumento en la abundancia de especies de aguas cálidas (e.g. *Globorotalia crassaformis*, *Pulleniatina obliquiloculata*), que en condiciones normales son muy escasas.

Mediante isótopos de carbono, se han reconocido dos áreas de alta productividad en la costa chilena: 1) en el área norte (24°S y entre los 30-33°S) donde las especies dominantes son: *G. bulloides*, *N. pachyderma* y *G. glutinata*, debido a la surgencia costera y 2) al sur de 39°S, donde las especies dominantes son *N. incompta* y *N. dutertrei* en ausencia del afloramiento costero (Mohtadi *et al.* 2005; Marchant *et al.* 2007).

Debido a las características oceanográficas que se presentan en la costa chilena en condiciones normales y los diferentes impactos que puede llegar a tener El Niño, este estudio pretende ampliar y describir los efectos de este suceso sobre las comunidades de foraminíferos planctónicos, específicamente frente Iquique (20°S) (en condiciones normales) y Concepción (36°S) (bajo el evento El Niño), caracterizando la foraminiferofauna en forma cualitativa y cuantitativa, en diferentes condiciones oceanográficas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron 51 muestras provenientes de trampas de sedimento (Kiel type) ubicadas a 1.000 y 2.300 m de profundidad en la columna de agua y a 100 mn (app. 185 km) de Iquique (20°S, 70°W) y Concepción (36°S, 74°W) (Fig. 1). Las muestras se recolectaron entre el 19 de septiembre 2005 y 17 de diciembre 2005, con un ritmo de rotación de 7 a 8 días en Iquique y del 7 de enero al 7 de octubre 2006, con una rotación de 18 días en Concepción.

Frente a Iquique se obtuvo un total de 19 muestras, 13 se recolectaron a 1.000 m de profundidad y 6 a 2.300 m. Frente a Concepción se obtuvieron 32 muestras, 16 en cada profundidad (1.000 y 2.300 m). Las muestras fueron tratadas con 1 mL de solución de HgCl₂ en 100 mL de agua de mar extraída a 2.000 m de profundidad, para retardar la acción bacteriana en la trampa de sedimento. Para regular la salinidad se adicionó NaCl a 38,40% (Fischer & Wefer, 1991). Una vez extraídas se les adicionó nuevamente 1 mL de solución de HgCl₂ (0,5 mL 100⁻¹ mL de agua de mar) y se almacenaron a 4°C.

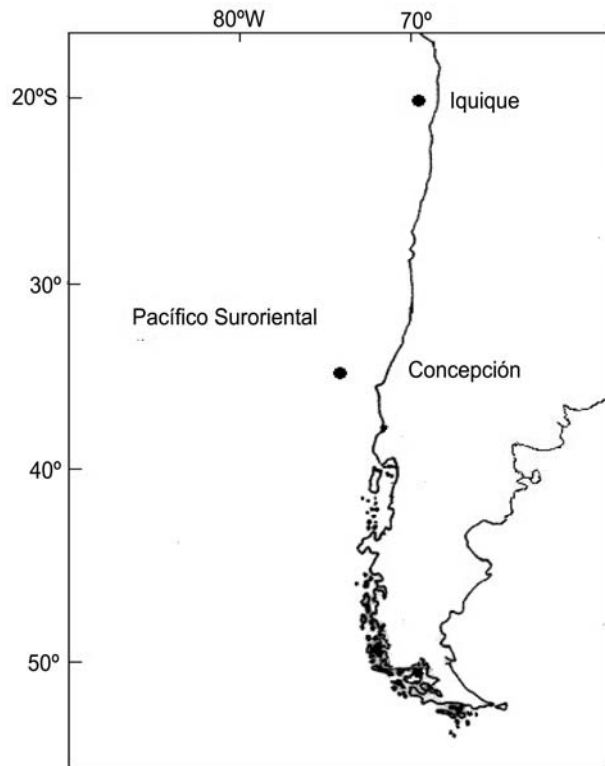


Figura 1. Localización geográfica de las trampas de sedimentos frente a la costa de Iquique (20°S, 70°W) y Concepción (36°S, 74°W).

Figure 1. Geographic location of sediment traps off Iquique (20°S, 70°W) and Concepción (36°S, 74°W).

Posteriormente, las muestras se subdividieron en cuatro alícuotas utilizando una de ellas para su estudio. Las conchillas se extrajeron individualmente de cada muestra, se lavaron y secaron a temperatura ambiental. A continuación, los foraminíferos se dividieron en tres fracciones de tamaño, >212 μm , 212-150 μm y 150-63 μm . Cada una de estas fracciones fue pesada (mg) para determinar el flujo de carbonato de calcio de los especímenes ($\text{mg m}^{-2} \text{día}^{-1}$).

La determinación del flujo de individuos se realizó mediante la totalidad de individuos, en la fracción mayor y la fracción intermedia, expresado en $\text{ind. m}^{-2} \text{día}^{-1}$, respondiendo al número total de individuos, multiplicado por cuatro (número de partes en que se dividió la muestra), multiplicado por dos (tamaño en m^2 de la malla de recolección) y dividido por el número de días de rotación correspondiente ($\text{ind.} \times 4 \times 2/7$ u 8) ó ($\text{ind.} \times 4 \times 2/18$) para Iquique y Concepción, respectivamente. Se determinó la diversidad para cada muestra, mediante el índice de Shannon-Weaver (*e.g.* Krebs, 1985), mediante el Programa Past Ver. 2.04. Por último, se seleccionó la fracción mayor e intermedia para identificar y obtener las frecuencias de las especies encontradas. La identificación siguió a

clasificación propuesta por Boltovskoy (1976), Loeblich & Tappan (1988), Marchant & Guzmán (2002), Marchant *et al.* (2004) y Coloma *et al.* (2005).

RESULTADOS

Condiciones oceanográficas

Frente a la costa de Iquique (20°S), según la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, EE.UU.), se presentaron temperaturas superficiales del mar entre 19° y 24°C, durante el período septiembre-diciembre 2005 (Fig. 2a). En Concepción bajo condiciones de El Niño 2006, se registraron temperaturas superficiales mayores a 20°C, con una tendencia a retomar la temperatura normal (14°-15°C) hacia finales del período analizado (septiembre-octubre 2006) (Fig. 2b).

Carbonato de calcio de foraminíferos

El flujo de carbonato de calcio frente a la costa de Iquique, en promedio, fue mayor a los 2.300 m de profundidad ($4,9 \text{ mg m}^{-2} \text{día}^{-1}$), que a los 1.000 m ($2,25 \text{ mg m}^{-2} \text{día}^{-1}$). Se observó un máximo de $10 \text{ mg m}^{-2} \text{día}^{-1}$ en octubre a 1.000 m de profundidad, disminuyendo hacia diciembre (Fig. 3a).

Asimismo, frente a la costa de Concepción, en promedio, el flujo de carbonato de calcio de foraminíferos fue mayor a mayor profundidad ($4,8 \text{ mg m}^{-2} \text{día}^{-1}$); a los 1.000 m promedió $2,61 \text{ mg m}^{-2} \text{día}^{-1}$. A menor profundidad, se observaron dos máximos, el primero, en febrero y declinó en marzo y un segundo máximo en abril, seguido de una disminución en los meses posteriores. A los 2.300 m, durante los primeros meses de muestreo el carbonato de calcio de los foraminíferos, se mantuvo aproximadamente constante $>7,5 \text{ mg m}^{-2} \text{día}^{-1}$. Posteriormente, se presentó un máximo en julio, con valores mayores a $9,2 \text{ mg m}^{-2} \text{día}^{-1}$, durante el período en estudio se observó un mínimo no menor a $1,06 \text{ mg m}^{-2} \text{día}^{-1}$ (Fig. 3a).

Foraminíferofauna

El análisis de la foraminíferofauna planctónica, tanto frente a Iquique como frente a Concepción, a partir de las 51 muestras, indicó un total de 23 especies, pertenecientes a 12 géneros y 6 familias: Globorotaliidae Cushman, 1927; Candeinidae Cushman, 1927; Catapsydracidae Bolli, Loeblich & Tappan, 1957; Globigerinidae Carpenter, Parker & Jones, 1862; Pulleniatinidae Cushman, 1927 y Hastigerinidae Bolli, Loeblich & Tappan, 1957. De estas 23 especies, 22 se registraron frente a Iquique en condiciones normales (2005) y 16 frente a Concepción bajo el evento El Niño 2006 (Tabla 1).

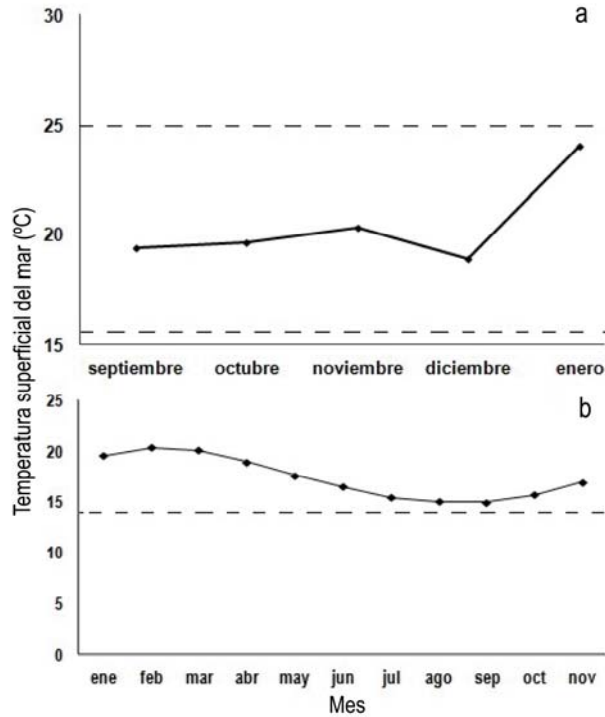


Figura 2. Temperatura superficial del mar (°C) entregada por la NOAA (Reynolds *et al.*, 2002). a) entre septiembre-diciembre 2005, frente a la costa de Iquique (20°S), (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn_SmithOIv2/.monthly/.sst/), b) entre enero-octubre 2006, frente a la costa de Concepción (36°S), (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn_SmithOIv2/.monthly/.sst/). Línea punteada: temperaturas superficiales promedio.

Figure 2. Sea Surface Temperatures (°C), data are taken from NOAA (Reynolds *et al.* 2002). a) Between September-December 2005 off Iquique (20°S) (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn_SmithOIv2/.monthly/.sst/), b) Between January-October 2006 off Concepción (36°S) (http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn_SmithOIv2/.monthly/.sst/). Dashed line: average surface temperature.

Asociación foraminiferológica

Zona de Iquique

En la costa de Iquique se determinó un total de 22 especies. De las cuales, 20 se recolectaron a 1.000 m de profundidad, donde las especies más abundantes que constituyeron el 88%, fueron: *Globigerina bulloides* (36%), que fue la más abundante durante todo el tiempo de muestreo, *Neogloboquadrina incompta* (28%), *Globigerinella calida* (9,5%), *Globogenerinita glutinata* (6,62%), *Globorotalia menardii* (6,33%), *Globorotaloides hexagonus* (3,62%) y *Globigerinella digitata* (2,42%) (Tabla 2).

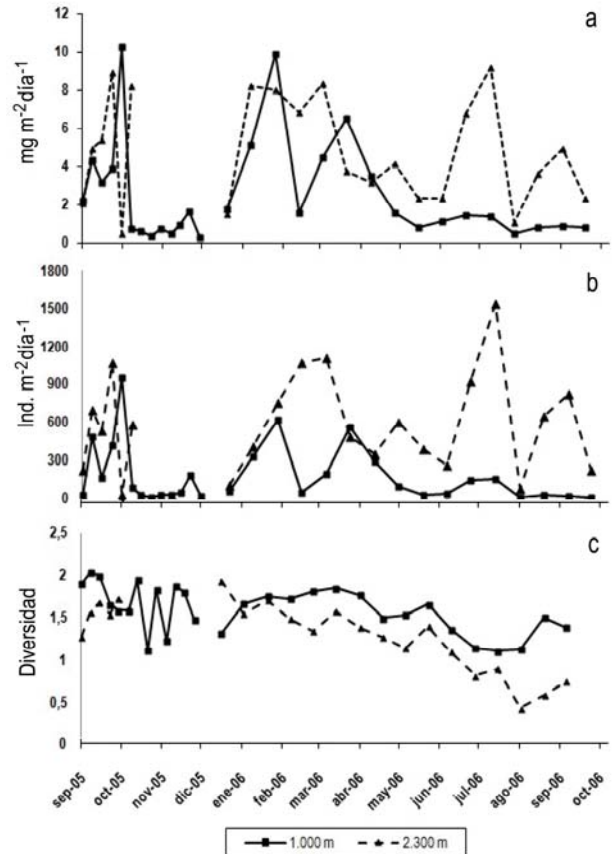


Figura 3. Parámetros evaluados durante el período de muestreo a 1.000 y 2.300 m de profundidad, en Iquique y Concepción. a) Flujo de carbonato de calcio, b) flujo de individuos, c) índice de diversidad de Shannon-Weaver.

Figure 3. Parameters evaluated at 1000 and 2300 m depth in Iquique and Concepcion. a) Carbonate flux, b) foraminiferal flux, c) Shannon-Weaver diversity index.

El 22% restante correspondió a 13 especies (Fig. 4a). A 2.300 m de profundidad, también se presentaron 20 especies, donde el 90% de la asociación estuvo formado por siete especies: *Globigerina bulloides* (52%), *Neogloboquadrina incompta* (20%), *Globogenerinita glutinata* (6,5%), *Globigerinella calida* (6,4%), *Globorotalia menardii* (4,7%), *Globigerinella digitata* (3%) y *Globigerinoides trilobus* (1,7%). El 10% restante estuvo representado por 13 especies (Fig. 4b).

Zona de Concepción

La asociación foraminiferológica, para el área de Concepción, estuvo constituida por un total de 16 especies. A los 1.000 m, se encontraron 15 especies,

Tabla 2. Abundancia relativa (%) de las especies encontradas en cada área y profundidad.**Table 2.** Relative abundance (%) of the species recorded in each area and depth.

	Iquique		Concepción	
	1.000 m	2.300 m	1.000 m	2.300 m
<i>G. bulloides</i>	35,77	51,46	19,55	18,94
<i>G. calida</i>	9,5	6,41	1,09	0,39
<i>G. siphonifera</i>	0,91	0,04	0	0
<i>G. glutinata</i>	6,6	6,45	0,34	0,39
<i>G. uvula</i>	0,042	0	0	0
<i>G. ruber</i>	1,41	1,09	0,15	0,16
<i>G. sacculifer</i>	0	0,18	0	0
<i>G. trilobus</i>	1,62	1,73	0	0
<i>G. crassaformis</i>	0,042	0	0,02	0,07
<i>G. inflata</i>	0,083	0,07	0,11	0,2
<i>G. menardii</i>	6,33	4,72	0,03	0,03
<i>G. scitula</i>	0,45	0,67	10,51	6,67
<i>G. truncatulinoides</i>	0	0,04	0,59	0,9
<i>G. hexagonus</i>	3,6	0,7	9,92	0,99
<i>G. digitata</i>	2,4	3,06	0	0
<i>N. dutertrei</i>	0,042	0,11	12,05	4,72
<i>N. incompta</i>	27,98	19,94	35,72	60,42
<i>N. pachyderma</i>	0,7	1,41	2,93	3,37
<i>O. universa</i>	1,95	1,55	4,25	1,71
<i>P. obliquiloculata</i>	0,375	0,25	0	0
<i>T. iota</i>	0,042	0,04	0	0
<i>H. pelágica</i>	0	0	0	0,01
<i>T. quinqueloba</i>	0,042	0,11	2,74	1,01
<i>T. humilis</i>	0	0	0	0
Total	100	100	100	100

donde las especies dominantes fueron: *Neogloboquadrina incompta* (43%), *Globigerina bulloides* (19%), *Globorotaloides hexagonus* (10%), *Neogloboquadrina dutertrei* (7,5%) y *Globorotalia scitula* (7%), que en conjunto representaron el 87% de la abundancia total (Tabla 2). El 13% restante correspondió a 10 especies (Fig. 5a). A los 2.300 m de profundidad, se encontraron 16 especies, donde el 92% de la abundancia total se conformó con cinco especies: *Neogloboquadrina incompta* (58%), *Globigerina bulloides* (18%), *Globorotalia scitula* (7%), *Neogloboquadrina dutertrei* (5%), *Neogloboquadrina pachyderma* (3%), las especies con menores abundancias (11) alcanzaron sólo un 8% (Fig. 5b).

Cabe destacar la gran abundancia de *Neogloboquadrina dutertrei* en los periodos estivales. Es

notable en Concepción (36°S), como bajo el evento El Niño, se incrementó en ambas profundidades y en particular a 2.300 m, donde superó el 40% de la abundancia total.

Flujo de individuos

El flujo de especímenes en ambas áreas de estudio, se incrementó en profundidad (2.300 m). Frente a la costa de Iquique, a 1.000 m el flujo promedio fue de 195 ind m⁻² dia⁻¹, con tendencia a disminuir hacia el término del año y a 2.300 m el flujo promedio fue de 527 ind m⁻² dia⁻¹. Con máximos ca. a 1.000 ind m⁻² dia⁻¹ en octubre, en ambas profundidades. Asimismo, para la costa de Concepción, a 1.000 m se evidenció un menor flujo (170 ind m⁻² dia⁻¹), igualmente con la tendencia a disminuir hacia el final del periodo del

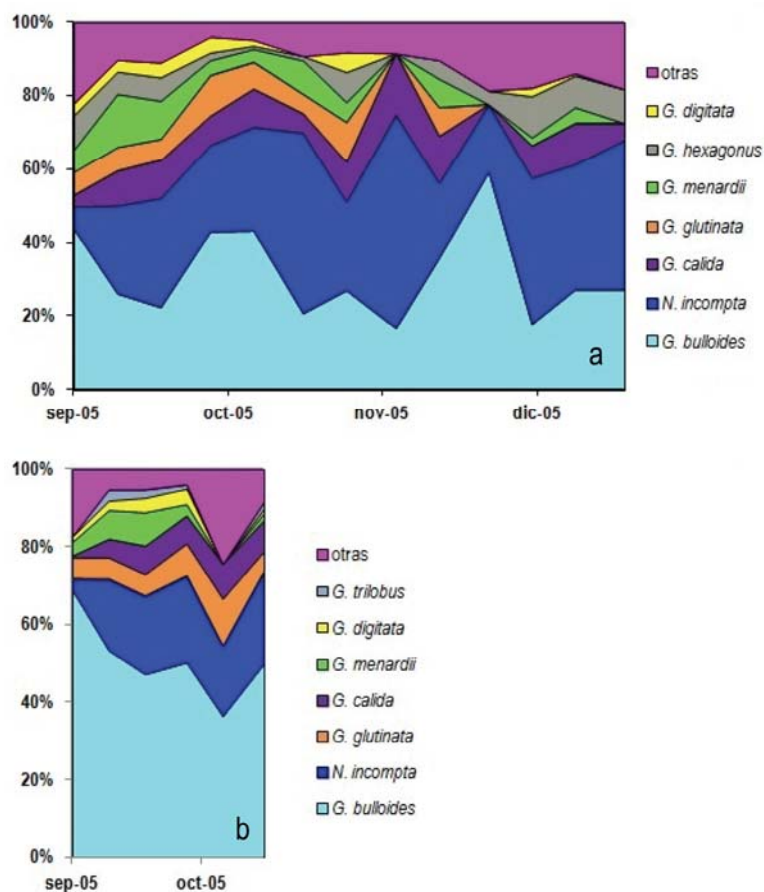


Figura 4. Especies más representativas en el área de Iquique. a) 1.000 m, y b) 2.300 m de profundidad, durante el periodo de muestreo (septiembre-diciembre 2005).

Figure 4. Faunal composition in the area off Iquique. a) 1000 m, and b) 2300 m depth (September-December 2005).

muestreo, llegando a $13,7 \text{ ind m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A 2.300 m el flujo promedio de individuos fue de $614 \text{ ind m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, si bien los valores para Iquique y Concepción presentan similitudes, se observó un notable aumento del flujo a profundidades mayores en Concepción en comparación a los 1.000 m, llegando a un máximo aproximado de $1.600 \text{ ind m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, en julio (Fig. 3b).

Diversidad específica

La diversidad en ambas áreas de estudio y profundidades tiende a decrecer durante el período analizado, además se evidenció una mayor diversidad a menor profundidad, tanto para el área de Iquique como de Concepción. Específicamente, para Iquique la diversidad promedio a 1.000 m fue 1,7 y a 2.300 m de profundidad fue de 1,5. Para la costa de Concepción, el índice de diversidad tuvo un promedio de 1,5 y 1,2 bits a 1.000 y 2.300 m de profundidad, respectivamente (Fig. 3c).

DISCUSIÓN

Condiciones oceanográficas

Para la zona de Iquique, Barbieri *et al.* (1995) señalaron que la temperatura superficial del mar varía entre 14°C en los meses invernales y 24°C en febrero y marzo, temperaturas propias de condiciones normales, esto coincidiría con los datos entregados por la NOAA, durante el período de estudio (septiembre-diciembre, 2005) debido a que la temperatura varió entre 19° y 24°C , confirmándose la ausencia de El Niño. Mientras que, en el área de Concepción, de enero a abril de 2006, se presentaron temperaturas superficiales mayores a 20°C (*sensu* NOAA), lo que representa un incremento en las temperaturas superficiales normales (14° - 15°C) (Feldberg & Mix, 2002), pudiéndose evidenciar el evento El Niño 2006.

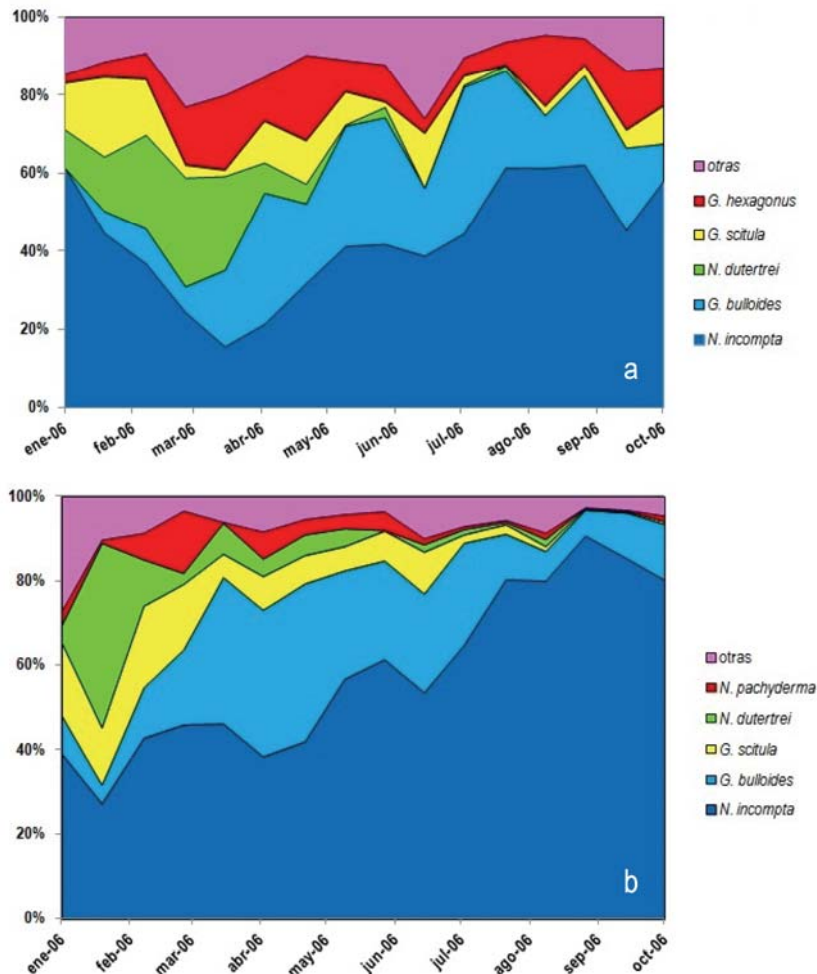


Figura 5. Especies más representativas en el área de Concepción. a) a 1.000 m, y b) a los 2.300 m de profundidad, durante el período de muestreo (enero-octubre 2006).

Figure 5. Faunal composition in the area off Concepcion. a) 1000 m, and b) 2300 m depth (January-October 2006).

Flujo de carbonato de calcio de foraminíferos

El flujo de carbonato de calcio de foraminíferos, en ambas áreas de estudio, fue mayor a mayor profundidad (2.300 m). En la costa de Iquique, durante condiciones normales, se presentó en promedio un flujo de carbonato de calcio de $4,9 \text{ mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, considerablemente más bajo que el registrado en Coquimbo bajo las mismas condiciones ($90 \text{ mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) por Marchant *et al.* (1998), durante un año de muestreo (1993-1994). Sin embargo, frente a la costa de Iquique los máximos ($\sim 10 \text{ mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) se registraron durante septiembre y octubre, en ambas profundidades, declinando hacia diciembre, contrariamente a lo sucedido en Coquimbo durante este mismo período, presentándose máximos en diciembre ($\sim 50 \text{ mg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$). Esta diferencia respondería a las distintas condiciones de productividad que tiene cada área, como ha sido señalado

mediante las concentraciones de clorofila-*a* por Thomas *et al.* (1994, 2001).

Para el área de Concepción los máximos, se presentaron al comienzo del período analizado, es decir, en el período estival y los valores bajos se presentaron durante los meses de invierno, en ambas profundidades, lo que es concordante con lo establecido para Coquimbo. Esta variabilidad estacional en el flujo de carbonato estaría indicando cambios en la productividad, según lo propuesto por Thomas *et al.* (2001), causados por la disponibilidad de nutrientes y la concentración de clorofila-*a*, la cual al sur de los 33°S , se presenta con valores relativamente altos y de forma estacional ($2\text{-}3 \text{ mg m}^{-3}$) (Thomas, 1999).

Foraminiferofauna

Frente a Iquique (20°S) se registró un total de 22 especies bajo condiciones normales (2005), mientras que en Concepción 16 especies bajo el evento El

Niño. En Iquique, la riqueza específica (22) fue mayor que la encontrada frente a la costa de Coquimbo (30°S) por Marchant *et al.* (1998) bajo las mismas condiciones (17 especies), debido a que Iquique se encuentra en la Zona de Transición, donde la diversidad específica debiera ser mayor, ya que se presentan especies típicas tanto de aguas frías como cálidas (Bé & Tolderlund, 1971; Boltovskoy, 1976). Por el contrario, en Concepción (36°S) la riqueza específica (16) fue menor que la registrada en Coquimbo por Marchant *et al.* (1998), para El Niño 1991-1992, donde se registraron 19 especies. Asimismo, Coloma *et al.* (2005) reconocen 26 especies durante El Niño 1997-1998. Esto se debería a la intensidad de cada evento, dado que El Niño 1997-98 ha sido considerado el evento más intenso del siglo pasado y con mayores efectos en el Sistema de la Corriente de Humboldt (Strub *et al.*, 1998). Por lo tanto, existiría un alza en el número de especies como resultado del aumento de la temperatura, dejando en evidencia que el evento en Concepción (2006), fue de menor intensidad que los anteriormente mencionados.

Asociación foraminiferológica

La foraminiferofauna que se encontró frente a la costa de Iquique, se interpreta como una asociación faunística de transición según lo establecido por Boltovskoy (1976), considerando la presencia de cinco especies de aguas frías (*e.g.* *Neogloboquadrina pachyderma*, *Turborotalita quinqueloba*), diez de aguas cálidas (*e.g.* *Pulleniatina obliquiloculata*, *Globigerinoides ruber*) (Bé & Tolderlund 1971; Boltovskoy 1981) y siete con amplio rango de tolerancia térmica (*e.g.* *Globigerinella digitata*, *Orbulina universa*).

En cambio en la zona de Concepción (36°S), las especies identificadas fueron típicas de aguas subantárticas (*e.g.* *Neogloboquadrina incompta*, *Neogloboquadrina pachyderma*, *Globigerinita glutinata*, *Globorotalia inflata* y *Globigerina bulloides*). *N. incompta* fue la especie más abundante en ambas profundidades, lo que coincidiría con lo señalado por Boltovskoy (1976).

Por otro lado, las especies encontradas en ambas áreas analizadas, corresponden a las descritas por Marchant *et al.* (2007) para el área de alta productividad (<39°S), producto de los eventos de surgencias (Mohtadi *et al.*, 2005).

La gran abundancia de *N. dutertrei*, frente a Concepción y su ausencia casi absoluta frente a Iquique, permite reafirmar la presencia del evento El Niño durante el período estudiado, debido a que esta especie fue tipificada como indicadora de El Niño 1991-92 frente a Coquimbo (Marchant *et al.*, 1998).

Flujo de individuos

En términos de flujo de individuos en la zona de Iquique (condiciones normales) en ambas profundidades, se presentaron valores bastantes más bajos (361 ind m⁻² día⁻¹, promedio entre profundidades, con un máximo *ca.* 1.000 ind m⁻² día⁻¹) que los determinados en los 30°S durante 1993-94 por Marchant *et al.* (1998), donde, el flujo de foraminíferos planctónicos fue superior a los 25.000 ind m⁻² día⁻¹ entre septiembre y diciembre. Sin embargo, la zona de Concepción, los mayores valores de flujo de individuos se presentaron, principalmente, durante los primeros meses de muestreo (enero a marzo *i.e.* en la época estival), en ambas profundidades, (con un máximo *ca.* 1200 ind m⁻² día⁻¹) lo que indicaría, preliminarmente, la presencia de surgencia durante este período (Saavedra, 1980); Kelly & Blanco, 1984; Cáceres, 1992; Daneri *et al.*, 2000) y que se corroborarían con un estudio que incluyera, por ejemplo, el análisis de isótopos estables.

Diversidad

El índice de diversidad Weaver varió entre 0,5 y 2 bits en ambas áreas de estudio. Frente a la costa de Iquique, se mantuvo constante durante el período estudiado, debido a la presencia de surgencia durante todo el año, con mayor intensidad en primavera y verano, (Thomas *et al.*, 2001) y a las condiciones normales que se presentaron, por lo que no se vería alterada ni la riqueza específica ni la abundancia de individuos. Sin embargo, para Concepción, en presencia de El Niño, la diversidad fue mayor durante la época estival, la cual tiende a disminuir durante el período muestreado. La mayor diversidad coincide con la época de surgencia, las cuales son estacionales según Cáceres (1992), Daneri *et al.*, (2000) y Thomas *et al.* (2001), para esta área. Estos períodos serían de menor duración, según los resultados, sin embargo, es necesario realizar otro tipo de análisis (*e.g.* isotópico) que los corrobore esta idea.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos FONDECYT N°1010912 y 1040968 y Proyecto FONDAP-COPAS N°150100007 por su financiamiento para la obtención de las muestras. Al Dr. Humberto González de la Universidad Austral de Chile y a su equipo de trabajo, por la toma de las muestras. A los oficiales y tripulaciones de los barcos R/V Abate Molina y R/V Vidal Gormaz y a la Srta. Teresa Cañuta por su colaboración en la revisión de las muestras de Iquique. Al Departamento de Zoología y a la Dirección de Investigación de la Universidad de

Concepción por permitir el uso de su infraestructura. Este trabajo es una contribución al proyecto SCOR (Scientific Committee on Oceanic Research) Working Group 138 membership. La autora principal agradece a la Escuela de Graduados de la Universidad de Concepción, por el financiamiento otorgado durante su estadía en el Programa de Magíster en Ciencias mención Zoología.

REFERENCIAS

- Aceituno, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Mon. Weather Rev.*, 116: 505-524.
- Aceituno, P. & A. Montecinos. 1993. Análisis de la estabilidad de la relación entre la oscilación del Sur y la precipitación en América del Sur. *Bull. Inst. Fr. Étud. Andines*, 22(1): 53-64.
- Alheit, J. & M. Ñiiquen. 2004. Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. *Progr. Oceanogr.*, 60 (2-4): 201-222.
- Arntz, W. & E. Fahrbach. 1996. El Niño: experimento climático de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México, 312 pp.
- Barbieri, M.A., M. Bravo, M. Farías, A. González, O. Pizarro & E. Yáñez. 1995. Fenómenos asociados a la estructura térmica superficial del mar observados a través de imágenes satelitales en la zona norte de Chile. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 23: 99-122.
- Bé, A.W.H. & D.S. Tolderlund. 1971. Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian oceans. In: B.M. Furnell & W.R. Riedel (eds.). *The micropaleontology of the oceans*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 105-149.
- Berger, W.H., V.S. Smetacek & G. Wefer. 1989. Ocean productivity and paleoproductivity an overview. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek & G. Wefer (eds.). *Productivity of the ocean: present and past*. Dahlem Workshop Report Wiley, New York, pp. 1-34.
- Boltovskoy, E. 1965. Los foraminíferos recientes (Biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica). Editorial Universitaria, Buenos Aires, 510 pp.
- Boltovskoy, E. 1976. Distribution of Recent Foraminifera of the South America region. In: R.H. Hedley & C.G. Adams (eds.). *Foraminifera*. Academy Press, New York, 2: 171-236.
- Boltovskoy, E. 1981. Foraminifera. In: D. Boltovskoy (ed.). *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. Publicación Especial del INIDEP, Mar del Plata, pp. 317-352.
- Brandhorst, W. 1963. Descripción de las condiciones oceanográficas en las aguas costeras entre Valparaíso y el golfo de Arauco, con especial referencia al contenido de oxígeno y su relación con la pesca (resultados de la expedición AGRIMAR). Ministerio de Agricultura. Dirección de Agricultura y Pesca, Santiago, 55 pp.
- Cáceres, M. 1992. Vórtices y filamentos observados en imágenes de satélite frente al área de surgencia de Talcahuano, Chile central (33-38.5°S). *Invest. Pesq.*, 37: 55-66.
- Coloma, C., M. Marchant & D. Hebbeln. 2005. Foraminíferos planctónicos durante El Niño 1997-98 del área de Coquimbo (30°S, 73°W), Chile. *Gayana Zool.*, 69(1): 48-77.
- Daneri, G., V. Dellarossa, R. Quiñones, B. Jacob, P. Montero & O. Ulloa. 2000. Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 197: 41-49.
- Escribano, R., G. Daneri, L. Farías, V. Gallardo, H. González, D. Gutiérrez, C. Lange, C. Morales, O. Pizarro, O. Ulloa & M. Braun. 2004. Biological and chemical consequences of the 1997-1998. El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. *Deep-Sea Res.*, 51: 2389-2411.
- Feldberg, M. & A. Mix. 2002. Sea-surface estimates in the southeast Pacific base don planktonic foraminiferal species; modern calibration and last glacial maximum. *Mar. Micropaleontol.*, 44:1-29.
- Fernández, G., P.D. O'Hara & D.B. Lank. 2004. Tropical and subtropical Western Sandpipers (*Calidris mauri*) differ in life history strategies. *Ornit. Neotrop.*, 15: 385-394.
- Fischer, G. & G. Wefer. 1991. Sampling, preparation and analysis of marine particulate matter In: D.C. Hurd & D.W. Spencer (eds.) *The analysis and characterization of marine particles*. *Geophys. Monogr.*, 63: 391-397.
- Fuenzalida, R. 1992. Proceso de surgencia en la región norte de Chile, 20°30'S-21°45'S. *Invest. Cient. Tecnol., Cienc. Mar.*, 2: 79-104.
- González, H., G. Daneri, D. Figueroa, J. Iriarte, N. Lefevre, G. Pizarro, R. Quiñones, M. Sobarzo & A. Troncoso. 1998. Producción primaria y su destino en la trama trófica pelágica y océano profundo e intercambio océano-atmósfera de CO₂ en la zona norte de la Corriente de Humboldt (23°S): posibles efectos del evento El Niño 1997-1998 en Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 71(4): 429-458.
- Hebbeln, D., M. Marchant & G. Wefer. 2000. Seasonal variations of the particle flux in the Peru-Chile current at 30°S under 'normal' and El Niño conditions. *Deep-Sea Res.*, 47: 2101-2128.

- Kelly, R. & J. Blanco. 1984. Proceso de surgencia en Punta Nugurue, Chile (Lat. 36°S), marzo 1983. *Invest. Pesq.*, 31: 89-94.
- Krebs, C.J. 1985. Ecología, estudio de la distribución y la abundancia. Editorial Harla, Ciudad de México, 753 pp.
- Loeblich, A. & H. Tappan. 1988. Foraminiferal genera and their classifications. Van Nostrand Reinhold, New York, 970 pp.
- Marchant, M. 1997. Rezente und spätquartäre sedimentation planktischer foraminiferen im Peru-Chile strom. Tesis de Doctorado, Universität Bremen, Bremen, 115 pp.
- Marchant, M. & A. Guzmán. 2002. Índice bibliográfico sobre biodiversidad acuática de Chile: foraminíferos planctónicos recientes (Foraminiferida). *Cienc. Tecnol. Mar.*, 25(1): 163-165.
- Marchant, M. & N. Gajardo. 2010. Foraminíferos planctónicos recientes (Foraminifera). En: S. Palma, P. Báez & G. Pequeño (eds.). *Bibliografía sobre biodiversidad acuática de Chile*. Comité Oceanográfico Nacional, Valparaíso, 37-42.
- Marchant, M., D. Hebbeln & G. Wefer. 1998. Seasonal flux patterns of planktic Foraminifera in the Peru-Chile Current. *Deep-Sea Res.*, 45: 1161-1185.
- Marchant, M., D. Hebbeln, S. Giglio, C. Coloma & H. González. 2004. Seasonal and interannual variability in the flux of planktic foraminifers in the southern Humboldt Current System off central Chile. *Deep-Sea Res.*, 51: 2441-2455.
- Marchant, M., A. Cecioni, S. Figueroa, H. González, S. Giglio, D. Hebbeln, J. Kaiser, F. Lamy, M. Mohtadi, V. Pineda & O. Romero. 2007. Marine geology, oceanography and climate. In: T. Moreno & W. Gibbons (eds.). *Geology of Chile*. Geology Society of London, London, pp. 289-308.
- Martens, J.M. 1981. Die pelagischen Ostracoden der MARCHILE I- Expedition (Südost-Pazifik), I: verbreitung zoogeographie und bedeutung als indikatoren für Wasserkörper (Crust, Ostracoda: Myodocopida). *Stud. Neotrop. Environ.*, 16: 57-97.
- McLean, J.D., C.R. De Freitas & R.M. Carter. 2009. Influence of the Southern Oscillation on tropospheric temperature. *J. Geophys. Res.*, 114 (D14104): 1-8.
- Mohtadi, M., D. Hebbeln & M. Marchant. 2005. Upwelling and productivity along the Peru-Chile Current derived from faunal and isotopic compositions of planktic foraminifera in surface sediments. *Mar. Geol.*, 216: 107-126.
- Pickard, G. & W. Emery. 1982. Descriptive physical oceanography. An introduction. Pergamon Press, Oxford, 249 pp.
- Ramage, C. 1986. El Niño. *Invest. Cienc.*, 119: 40-48.
- Reynolds, R.W., N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes & W. Wang. 2002. An improved *in situ* and satellite SST analysis for climate. *J. Climate*, 15: 1609-1625.
- Rutllant, J. & H. Fuenzalida. 1991. Synoptic aspects of the central Chile rainfall variability associated with the Southern Oscillation. *Int. J. Climatol.*, 11: 63-76.
- Saavedra, N. 1980. La presión y la dirección del viento en Concepción. *Tralka*, 1(2): 153-162.
- Shaffer, G., S. Salinas, O. Pizarro, A. Vega & S. Hormazabal. 1995. Currents in the deep ocean off Chile (30°S). *Deep-Sea Res.*, 42: 425- 436.
- Silva, N. 1977. Water mass structure and circulation off southern Chile. Master Thesis, Oregon State University, Oregon, 83 pp.
- Silva, N., N. Rojas & A. Fedele. 2009. Water masses in the Humboldt current system: properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. *Deep-Sea Res.*, 56: 1004-1020.
- Strub, P.T., J.M. Mesias, V. Montecino, J. Rutllant & S. Salinas. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. En: A.R. Robinson & K.H. Brink (eds.). *The Sea*, 11: 273-313.
- Tappan, H. & A. Loeblich. 1988. Foraminiferal, evolution, diversification and extinction. *J. Paleontol.*, 62(5): 695-714.
- Thomas, A.C. 1999. Seasonal distributions of satellite-measured phytoplankton pigment concentration along the Chilean coast. *J. Geophys. Res.*, 105(25): 877-890.
- Thomas, A.C., F. Huang, P.T. Strub & C. James. 1994. Comparison of the seasonal and interannual variability of phytoplankton pigment concentrations in the Peru and California current systems. *J. Geophys. Res.*, 99: 7355-7370.
- Thomas, A.C., M.E. Carr & P.T. Strub. 2001. Chlorophyll variability in eastern boundary currents. *Geophys. Res. Lett.*, 28(18): 3421-3424.
- Yuras, G., O. Ulloa & S. Hormazabal. 2005. On the annual cycle of costal and open ocean satellite chlorophyll off Chile (18-40°S). *Geophys. Res. Lett.* 32: 1029-1033.
- Zapata, A. & R. Castillo. 1986. Tanatocenosis de foraminíferos planctónicos sedimentados en Bahía Cumberland (33°41'S; 78°50'W), Chile. *Biota*, 2: 51-63.