

## Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos micróxicos de la bahía Mejillones del Sur (23° S), Chile

Recent benthic foraminifera in microxic sediments of Mejillones del Sur bay (23° S), Chile

Mónica Páez<sup>1</sup>, Oscar Zúñiga<sup>1</sup>, Jorge Valdés<sup>1,2</sup> y Luc Ortlieb<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Facultad de Recursos del Mar, Universidad de Antofagasta  
Casilla 170, Antofagasta, Chile.

<sup>2</sup> Institut de Recherche pour le Développement (IRD ex ORSTOM).  
Programa UR-055 PALEOTROPIQUE, Centre de Recherche Ile de France  
32 Avenue Henri-Varagnat F-93143, Bondy Cédex, Francia  
jvaldes@uantof.cl

**Abstract.-** The composition of recent benthic foraminifera was analyzed in eight sedimentological interfase samples collected with a box core of 0,16 m<sup>2</sup> surface in Mejillones del Sur bay (23° S) at depths of 56 to 138 m. The study area is characterized by a large relative abundance of *Bolivina seminuda* Cushman and the presence of *Nonionella stella* Cushman & Moyer and *Bolivina costata* Orbigny. The registered diversity (*H*) is low and varies between 0,8 and 2,4. The deepest station near Punta Angamos, presents the highest index and is the only one with *Cancris auriculus* (Fichtel & Moll) and *Valvulineria inflata* (Orbigny). The faunistic density of stations located in the center and external zones of this bay showed the highest values (average= 2600 ind/g), with most of the material represented by *Bolivina seminuda*. The results showed that the benthic foraminiferal distribution is directly related with bottom-water oxygen content. *B. seminuda* is adapted notably to microxic conditions (0,01 ml l<sup>-1</sup>). *Buliminella elegantissima* (Orbigny) is found in more oxygenated areas (0,5 ml l<sup>-1</sup>), while *B. costata* and *N. stella* were found in both environments.

Keywords: Recent benthic foraminifera, bioindicators, Northern Chile.

**Resumen.-** Se analizaron los foraminíferos bentónicos recientes recuperados de ocho muestras sedimentológicas de interfase recolectadas con un box core de 0,16 m<sup>2</sup> de superficie, en la bahía Mejillones del Sur (23° S) a profundidades de 56 a 138 m. El área estudiada se caracterizó por la gran abundancia relativa de *Bolivina seminuda* Cushman y la presencia de *Nonionella stella* Cushman & Moyer y *Bolivina costata* Orbigny. La diversidad (*H*) registrada es baja, fluctuó entre 0,8 y 2,4, siendo la estación más profunda y cercana a Punta Angamos la que presentó el mayor valor y la única con *Cancris auriculus* (Fichtel & Moll) y *Valvulineria inflata* (Orbigny). La densidad faunística de las estaciones ubicadas en la zona media y externa de la bahía registran los valores más elevados (en promedio 2600 ind/g), con la mayor parte del material representado por *B. seminuda*. Los resultados indican que la distribución de los foraminíferos bentónicos está relacionada directamente con el contenido de oxígeno del ambiente de fondo. *B. seminuda* mostró un notable adaptación a medios micróxicos (0,01 ml l<sup>-1</sup>), *Buliminella elegantissima* (Orbigny) se presentó en mayor abundancia relativa en las zonas disóxicas (0,5 ml l<sup>-1</sup>) en tanto, *N. stella* y *B. costata* se encontraron en ambos ambientes.

Palabras claves: Foraminíferos bentónicos recientes, bioindicadores, Norte de Chile.

## Introducción

Los foraminíferos constituyen el grupo de organismos de la meiofauna más abundantes del océano (Bernhard 1992). Se conocen más de 5 mil especies recientes, de las cuales los foraminíferos bentónicos son 30 veces más numerosos que los planctónicos (Buzas & Culver 1991). Habitan en todas las profundidades de los mares, siendo reportados tanto en fondos superiores a los 10 mil metros como en zonas sometidas a desecamientos periódicos (Culver 1993), lo que demuestra el alto nivel de eficacia y adaptabilidad ecológica de dichos

protozoarios en distintos sustratos (Linke & Lutze 1993, Debenay *et al.* 1996).

Debido a su biología, los foraminíferos son especialmente sensibles a los cambios que suceden en los sedimentos marinos y en la columna de agua, los que pueden llegar a afectar no sólo su biomasa, sino también a las estructuras comunitarias existentes en un área determinada (Barmawidjaja *et al.* 1992). Tal especialización les ha significado cumplir un importante rol en estudios oceanográficos, permitiendo conocer los movimientos de las masas de agua y sus propiedades fisicoquímicas (Boltovskoy *et al.* 1991). En los últimos

años, la investigación de los foraminíferos, se ha centrado en el análisis de las asociaciones de especies y géneros, con o sin representantes modernos (Sen Gupta & Machain-Castillo 1993), los que han sido utilizados como bioindicadores en distintos ámbitos de las ciencias naturales, geología y zoogeografía (Corliss *et al.* 1986, Murray 1991, Zapata 1999).

En Chile, el estudio de los foraminíferos se ha intensificado, especialmente en la zona central y sur (Boltovskoy & Theyer 1970, Zapata & Varela 1975, Zapata & Alarcón 1988, Marchant 1993, Zapata *et al.* 1995, Zapata & Moyano 1996, Hromic 1998, Marchant *et al.* 1999, Zapata *et al.* 2000), situación que representa un significativo aporte al conocimiento de la fauna nacional en sus aspectos taxonómicos y de distribución (Hromic 1999). En el norte de Chile, las primeras investigaciones se efectuaron por d'Orbigny (1839). Trabajos más recientes en esta área, se realizaron por: Boltovskoy (1972) que determinó los valores mínimos de oxígeno que registran: *Bolivina punctata*, *B. costata*, *Epistominella exigua* y *Nonionella chiliensis* entre las coordenadas geográficas 19°02' S y 20°48' S. Zapata & Gutiérrez (1995) analizaron los foraminíferos recientes de Tocopilla (22°06' S; 60°13' W) encontrando un total de 45 especies, de las cuales destacaron en abundancia relativa: *Buccella peruviana*, *Cibicides aknerianus*, *Cribrorotalia meridionalis* y *Quinqueloculina seminula* y el estudio de Páez & Zúñiga (en prensa) que reportaron la presencia de *B. costata*, *Cibicides depressus*, *C. aknerianus*, *C. meridionalis*, *Discorbis floridanus* y *D. peruvianus* frente a la desembocadura del río Loa (21°25' S; 70°04' W).

Específicamente en el área de Mejillones se han realizado investigaciones que demuestran el gran potencial de esta bahía para estudios paleoceanográficos y paleoclimáticos utilizando entre otros bioindicadores, foraminíferos (Ortlieb *et al.* 1994, Ortlieb *et al.* 2000). Los autores, plantean que la mayor abundancia de *B. seminuda* ratifica las condiciones anóxicas del fondo y la estratificación de la columna de agua, mientras que las especies planctónicas *Globigerina bulloides* y *Neogloboquadrina pachyderma* reflejan la presencia de eventos de surgencia y el predominio de masas de agua fría en el sector.

El presente trabajo tiene por finalidad estudiar la fauna de foraminíferos bentónicos en sedimentos de interfase recolectados de la bahía Mejillones del Sur (23° S), e interpretar su distribución en relación con las condiciones de oxigenación descritas para esta zona y como base para futuros estudios paleoceanográficos.

## Descripción del área de estudio

La bahía Mejillones (23°00' S; 70°27' W) se encuentra ubicada a 60 km al Norte de la ciudad de Antofagasta. Es uno de los pocos lugares a lo largo de la costa este del océano Pacífico, con una entrada abierta hacia el Norte, protegida por una larga península. Por sus características geográficas esta bahía no se encuentra bajo los efectos directos de las corrientes costeras que van al Norte. Además, no posee una gran capacidad de exportación de material debido a su morfología "semi-cerrada" y a la baja velocidad de las corrientes (Escribano 1998, Ortlieb *et al.* 2000).

Los sedimentos marinos acumulados en el fondo están conformados principalmente por restos biogénicos y en proporción mucho menor por aportes terrígenos provenientes del continente, arrastrados por el viento dominante del Sur (Navea & Miranda 1980, Vargas 1998). La granulometría presenta mayoritariamente sedimentos tipo limo, arena fina y arena muy fina (Valdés *et al.* 2001<sup>1</sup>).

Una de las características oceanográficas destacables de esta área es la fuerte influencia de focos de surgencias activas cuya estimación preliminar de productividad primaria presenta valores comparables a las zonas de surgencia del Perú (Rodríguez *et al.* 1991, Morales *et al.* 1996, Marín & Olivares 1999). Esta alta productividad contribuye al desarrollo de<sup>6</sup> un ambiente subsuperficial caracterizado por concentraciones de oxígeno menores a 0,5 ml l<sup>-1</sup>, en donde la sedimentación de materia orgánica por debajo la zona eufótica y la intensa actividad química reductora, se reflejan en el olor característico a ácido sulfhídrico y el color verde grisáceo de los sedimentos (Marín *et al.* 1993, Escribano 1998).

Los fenómenos de surgencia que se presentan en Mejillones son producidos por el ascenso de Agua Ecuatorial Subsuperficial, que hace llegar grandes cantidades de nutrientes a los niveles superiores, permitiendo así, un significativo aumento de la productividad primaria durante las estaciones de primavera, verano y algunas veces en otoño (Rodríguez & Escribano 1996, González *et al.* 1998, Escribano 2000).

## Materiales y Métodos

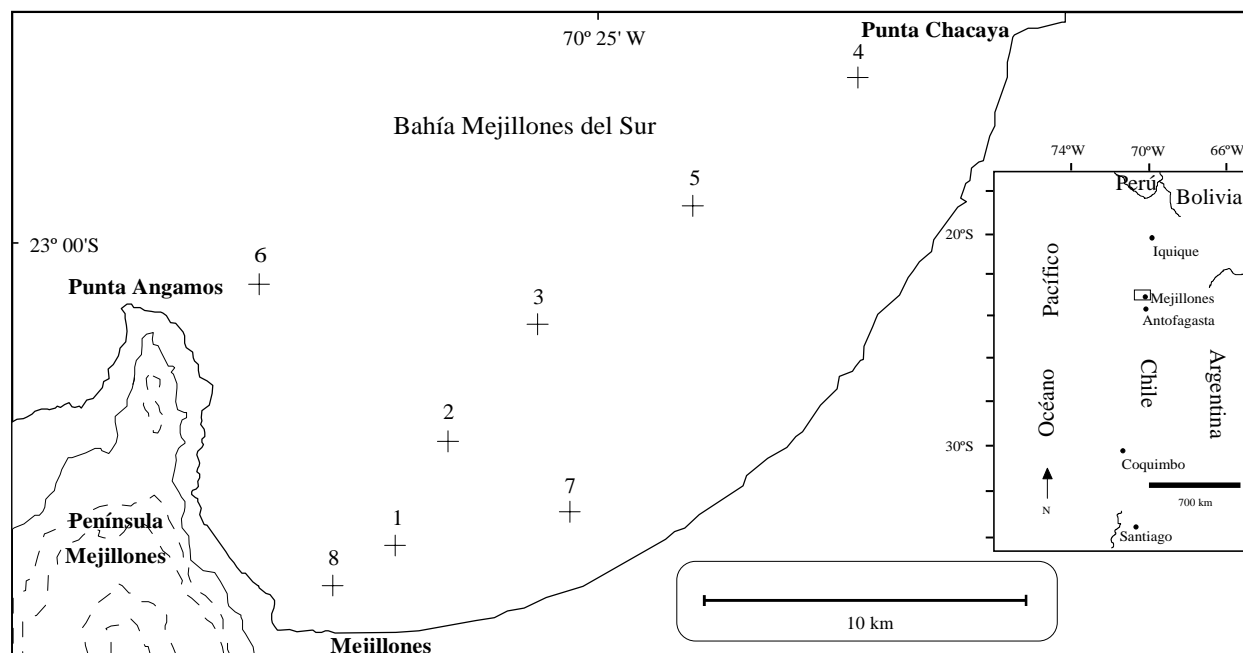
Los sedimentos se recolectaron con un box core de 0,16 m<sup>2</sup> de superficie en la bahía Mejillones del Sur (23° S) a

<sup>1</sup> Valdés J, B Helena, M Rodríguez & G. Vargas. 2001. Distribución de la materia orgánica en sedimentos actuales de la bahía Mejillones del Sur (23° S). XXI Congreso de Ciencias del Mar, Viña del Mar. Abstr: 105.

profundidades de 56 a 138 m en octubre de 1998 (Fig. 1, Tabla 1). Las muestras estudiadas correspondieron a los 0.5 cm de espesor de la capa superficial del sedimento y fueron preservadas en Metanol 70%. Posteriormente, se lavaron separadamente en agua corriente a través de un tamiz de 63  $\mu$ m de malla y se secaron en una estufa a 60° C. Una vez secas se pesaron y se recuperaron bajo lupa binocular la totalidad de los foraminíferos presentes en una submuestra de un gramo (g) de sedimento. Luego, se montaron por especie en un

portaforaminífero, lo que facilitó su identificación y recuento.

La determinación taxonómica a nivel genérico se basó en el criterio de Decrouez (1989) y la específica en la literatura descrita para el área central y norte de Chile en especial Boltovskoy & Theyer (1970), Coulbourn (1980), Resig (1981), Zapata & Gutiérrez (1995) y en los trabajos de Boltovskoy *et al.* (1980) y Bernhard *et al.* (1997).



**Figura 1**

Mapa de localización de las estaciones de muestreo en la bahía Mejillones del Sur (23° S).

Map of Mejillones del Sur bay (23° S) showing station locations.

**Tabla 1**

Estaciones, profundidades (m) y coordenadas geográficas de obtención de las muestras en la bahía Mejillones del Sur (23° S) en octubre de 1998.

Stations, depths (m) and geographical coordinated of obtaining the samples in Mejillones del Sur bay (23° S) in october 1998.

	Estaciones	Profundidad (m)	Coordenadas
Zona	8	56	23°04'04'' S; 70°28'39'' W
Costera	1	74	23°03'27'' S; 70°27'45'' W
	7	78	23°03'33'' S; 70°25'04'' W
Zona Media	2	104	23°02'00'' S; 70°27'00'' W
	3	110	23°00'30'' S; 70°25'27'' W
Zona Externa	5	112	22°59'15'' S; 70°24'27'' W
	4	108	22°57'49'' S; 70°22'50'' W
	6	138	22°59'54'' S; 70°28'38'' W

Tabla 2

**Parámetros fisicoquímicos del fondo (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) registrados en octubre de 1998, desde las estaciones de muestreo en bahía Mejillones del Sur (23° S).**

Chemical and physical parameters the bottom-water (temperature, salinity and dissolved oxygen) registered in October 1998, in the sampling stations in Mejillones del Sur bay (23° S).

Estaciones	Profundidad máxima (m) medición CTD	Temperatura ° C	Oxígeno ml l <sup>-1</sup>	Salinidad Ups	
Zona Costera	8 1	21 61	12.9 13.4	0.51 0.09	34.7 34.8
	7	56	12.5	0.07	34.8
Zona Media	2 3	101 102	11.8 11.9	0.01 0.01	34.8 34.8
	5	106	11.9	0.01	34.8
Zona Externa	4 6 *	99 -	12.1 -	0.01 -	34.8 -

\* En la estación 6, el CTD presentó problemas técnicos, que impidieron registrar en este punto datos sobre la columna de agua.

Los foraminíferos se fotografiaron con un Microscopio Electrónico de Barrido del Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) en Bondy, Francia.

Además, de la determinación taxonómica, se realizaron análisis de tipo cuali-cuantitativo para identificar los siguientes parámetros:

- A) Densidad: Número de individuos presentes en un gramo de sedimento seco, expresado en individuos/gramo (ind/g).
- B) Abundancia relativa: Porcentaje de individuos de una especie con respecto al número total de foraminíferos presentes en un gramo de sedimento seco.
- C) Diversidad (*H*): Definida como la medida del número de especies y de sus abundancias relativas (Buzas & Gibson, 1969), calculada con la función de Shannon & Wiener.
- D) Riqueza específica: Número de especies presentes en la submuestra de un gramo de sedimento seco.
- E) Dominancia: Determinada a partir del 10% de abundancia de una especie en cada submuestra.

Los parámetros físicoquímicos de la columna de agua, en cada estación, (salinidad, temperatura y oxígeno disuelto) se midieron con un CTD Sea Bird modelo SBE-19, equipado con un sensor Beckman para oxígeno disuelto (Tabla 2). Para relacionar la información recopilada con la fauna encontrada, se tomaron como referencia los datos obtenidos más cerca del sustrato.

## Resultados

El análisis del material estudiado permitió reconocer la presencia de 30 especies bentónicas, 10 de las cuales sólo pudieron ser determinadas hasta nivel genérico (Tabla 3), debido a que los ejemplares recuperados se encontraban en estado juvenil, lo que hizo imposible su identificación específica. La Fig. 2 muestra algunos de los foraminíferos identificados en los sedimentos de la bahía Mejillones del Sur.

La fauna bentónica correspondió a 28 formas calcáreas y 2 aglutinadas (*Cribrostomoides hancocki* y *Trochammina ochracea*), todas ellas pertenecientes a la subprovincia foraminiferológica Chilena descrita por Zapata (1999).

Del total de especies y de aquellas dejadas en *nomenclatura aperta* encontradas en el presente trabajo, 4 (*B. seminuda*, *B. costata*, *B. elegantissima* y *Nonionella auris* = *N. stella*) resultan ser comunes con la fauna mencionada anteriormente para la bahía Mejillones por Ortlieb *et al.* (1994) y Ortlieb *et al.* (2000), por lo que pueden ser consideradas como representativas de esta zona.

El área de estudio se caracteriza por la mayor abundancia de *B. seminuda* en todas las estaciones de muestreo, excepto en la estación menos profunda y a la vez más protegida (estación 8, con 56 m), en donde las especies dominantes son *B. elegantissima* (57,9%) y *N. stella* (13,9%) (Tabla 3).

Los valores de diversidad (Tabla 3) son relativamente bajos y fluctúan entre 0,8 a 2,4. Las estaciones cercanas a la costa (8, 1 y 7) tienen índices

altos (1,7-2,2) en comparación con las pertenecientes a la zona media y externa de la bahía (2, 4, 3 y 5) cuyos valores oscilan entre 0,8 y 1,3. La estación 6 registra una mayor biodiversidad (2,4), siendo la única que presenta individuos de las especies: *C. auriculus* y *V. inflata* con abundancias relativas de 16,5% y 4,1% respectivamente. Además, *Valvulineria bradyana* (Fornasini) se encontró con un porcentaje de 8,7% superior a la abundancia observada en los restantes puntos analizados en Mejillones.

La estación 5 presenta la menor cantidad de especies de las cuales *B. seminuda* corresponde al 87% del total de los foraminíferos. Por el contrario en la estación 6 la abundancia relativa de *B. seminuda* disminuye (50,5%), aumentando la riqueza específica a 18.

En cuanto a la densidad, las estaciones 3 (2736 ind/g), 4 (3004 ind/g) y 5 (2292 ind/g) fueron las de mayor abundancia de foraminíferos, correspondiendo gran parte del material a *B. seminuda* (Fig. 3).

**Tabla 3**

**Índice de diversidad (*H*), riqueza específica y abundancia relativa (%) de los foraminíferos bentónicos encontrados en bahía Mejillones del Sur (23° S).**

Diversity index (*H*), species richness and relative abundance (%), of the benthic foraminifera found in Mejillones del Sur bay (23° S).

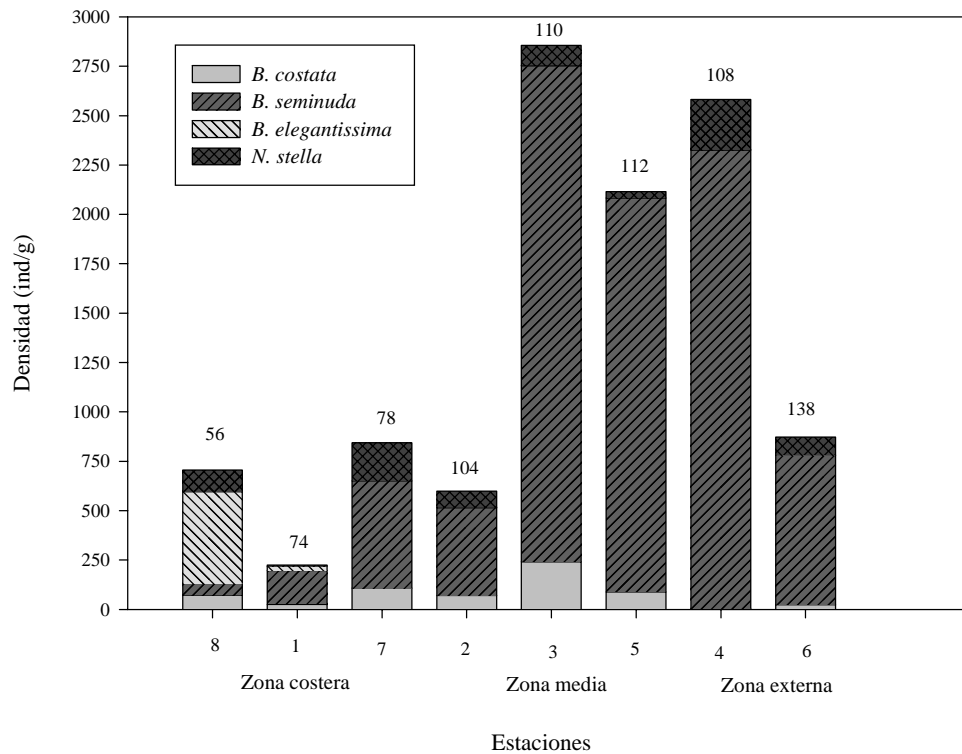
ESTACIONES	Zona costera			Zona Media			Zona externa	
	8	1	7	2	3	5	4	6
Índice de diversidad ( <i>H</i> )	2.0	2.2	1.7	1.3	1.0	0.8	0.9	2.4
Riqueza específica	13	12	12	13	12	9	10	18
<b>ESPECIES</b>								
<i>Bolivina costata</i> Orbigny	8,8	11,4	8,0	0,2	3,9	1,6	11,8	9,0
<i>Bolivina seminuda</i> Cushman	60,4	72,1	83,6	84,8	87	50,5	59,5	7,5
<i>Bolivina sp. A</i>	0,1	0	0	0	0,1	0	0	1,3
<i>Bolivina sp.</i>	0,3	2,5	0,1	0	0	0,1	0,4	1,5
<i>Buccella peruviana</i> (Orbigny)	0	0	0	0	0	0,4	0	0
<i>Bulimina marginata</i> Orbigny	0,8	0	0,4	0	0	0	2,2	0,1
<i>Bulimina sp.</i>	0,1	2,5	0	0,2	0,3	0	0	0
<i>Bulimina tenuata</i> Cushman	0	0	0	0	0,4	0	0	0
<i>Buliminella elegantissima</i> (Orbigny)	57,9	7,0	0	0,5	0,1	0	0,1	0,1
<i>Cassidulina crassa</i> Orbigny	3,4	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cassidulina pulchella</i> Orbigny	5,6	8,1	5,7	0,6	3,6	6,4	2,7	8,2
<i>Cancris auriculus</i> (Fichtel & Moll)	0	0	0	0	0	0	0	16,5
<i>Cribrostomoides hancocki</i> Cushman	0	0	0	0,2	0	0	0	0
<i>Cibicides variabilis</i> Orbigny	0	0	0	0,2	0	0	0	0
<i>Cibicides sp.</i>	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0
<i>Cibicides sp. A</i>	0	0	0	0,2	0	0	0	0
<i>Epistominella exigua</i> (Brady)	0,3	1,4	0,3	0	0	0	0,1	0
<i>Epistominella sp.</i>	0	0	0	0	0,1	0	0	0,2
<i>Hanzawaia sp.</i>	0	0	0,1	0	0	0	0	0
<i>Miliolinella lutea</i> (Orbigny)	0,1	0	0,3	0	0	0	0,1	0,1
<i>Nonionella stella</i> Cushman & Moyer	13,9	2,8	21,1	13,3	3,4	1,4	9,3	6,1
<i>Nonionella turrida</i> (Williamson)	0	0	0	0	0	0	0	0,1
<i>Nonionella sp.</i>	0	1,4	0	0	0	0	0	0
<i>Discorbis corus</i> (Orbigny)	0	0	0,1	0,2	0	0	0	0,1
<i>Stainforthia sp.</i>	0	1,8	0	0,8	0	0	0	0
<i>Trochammina ochracea</i> (Williamson)	1,0	0,7	0,2	0,3	0	0	0	0,1
<i>Valvulineria bradyana</i> (Fornasini)	0	2,8	0	0	0,5	0,8	0,1	8,7
<i>Valvulineria inflata</i> (Orbigny)	0	0	0	0	0	0	0	4,1
<i>Valvulineria vilardeboana</i> (Orbigny)	0	0	0	0	0,2	0,3	0	0,7
<i>Virgulinea sp.</i>	0	0	0	0	0,1	0,1	0	0,1



**Figura 2**

**a. *Bulimina elongata* x 321; b. *Buliminella tenuata* x 201; c. *Cassidulina crassa* x 289; d. *Epistominella exigua* x 297 (lado espiral); e. *Cribrostomoides hancocki* x 207; f. *Cribrostomoides hancocki* x 2230 (detalle de la pared) g. *Nonionella stella* (lado umbilical) x 198; h. *Nonionella stella* (lado espiral) x 172; i. *Valvulineria bradyiana* (vista espiral) x 172; j. *Cancris auriculus* (detalle del lado espiral) x 195; k. *Cancris auriculus* (lado espiral) x 78; l. *Valvulineria bradyiana* (lado umbilical) x 172.**

*a. Bulimina elongata* x 321; *b. Buliminella tenuata* x 201; *c. Cassidulina crassa* x 289; *d. Epistominella exigua* x 297 (spiral side); *e. Cribrostomoides hancocki* x 207; *f. Cribrostomoides hancocki* x 2230 (detail of wall) *g. Nonionella stella* (umbilical side) x 198; *h. Nonionella stella* (spiral side) x 172; *i. Valvulineria bradyiana* (spiral side) x 172; *j. Cancris auriculus* (detail spiral side) x 195; *k. Cancris auriculus* (spiral side) x 78; *l. Valvulineria bradyiana* (umbilical side) x 172.



**Figura 3**

**Densidad (ind/g) de la fauna de foraminíferos más abundantes encontrados en las estaciones de muestreo en la bahía Mejillones del Sur (23° S). Sobre las barras se indica la profundidad (m) de cada una de las estaciones.**

Faunal density (ind/g) of the more abundant Foraminifera found in the stations sampled in Mejillones del Sur bay (23° S). The depth of the water column is indicated (m) upon the bar of each station.

## Discusión

El contenido de oxígeno de fondo registrado (Tabla 2) en la zona de estudio es mínimo (0,5-0,01ml l<sup>-1</sup>). La reducida ventilación de esta bahía ha sido ampliamente descrita en la literatura (Navea & Miranda 1980, Rodríguez *et al.* 1991, Morales *et al.* 1996, Escribano 1998, Escribano 2000) y ha sido atribuida principalmente a la presencia de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), que en la costa de Mejillones se ubica entre los 60 a 500 m de profundidad (Marín *et al.* 1993). Esta condición no sólo afecta el desarrollo de la macrofauna, sino también de la meiofauna, trayendo como consecuencia la ausencia de algunos organismos o bien, la adaptación al medio estresante de especies fisiológicamente especializadas, como foraminíferos,

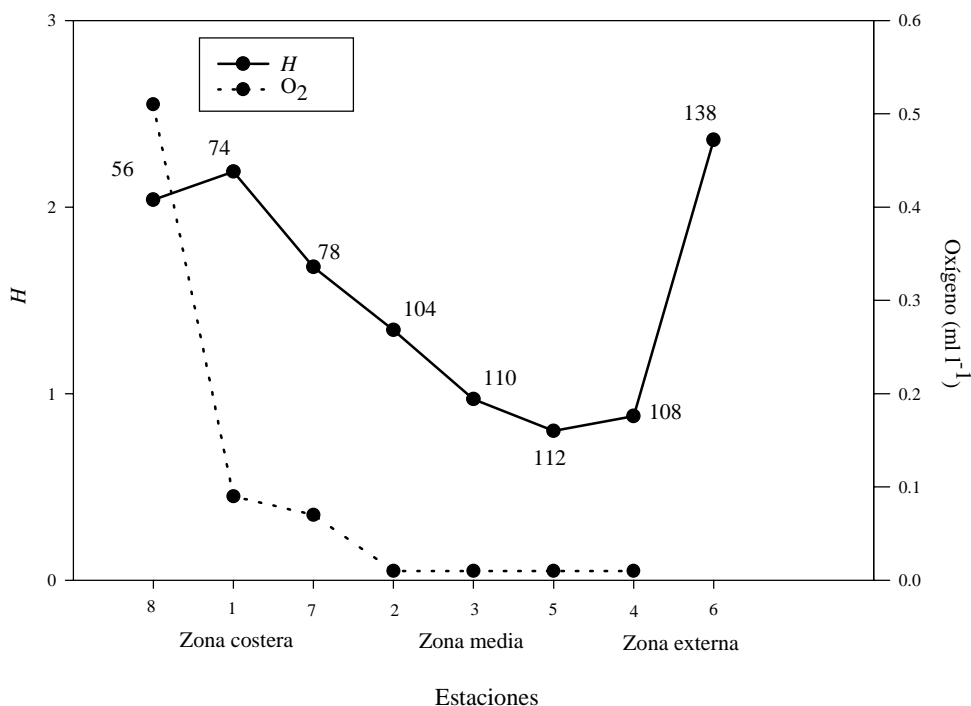
que constituyen en estos ambientes microhabitat altamente específicos (Barmawidjaja *et al.* 1992). De acuerdo a la clasificación de Bernhard & Sen Gupta (2000), se puede señalar que los foraminíferos bentónicos encontrados en Mejillones son típicos de aguas disóxicas-micróxicas. Esta interpretación es concordante con la presencia de *B. seminuda*, que muestra importantes incrementos de densidad en las estaciones 3, 5 y 4 cuyo contenido de oxígeno es de 0,01 ml l<sup>-1</sup>. Harman (1964) indica que la notable adaptación de esta especie a sustratos casi anóxicos le permite proliferar óptimamente en un medio limitante para el desarrollo de otras especies de foraminíferos. La abundancia de *B. seminuda* aumenta en relación con la profundidad (Fig. 3) mientras que la diversidad disminuye, resultados comparables con los encontrados

por Sen Gupta & Machain-Castillo (1993) en sedimentos micróxicos de la Zona Mínima de Oxígeno del Pacífico, en los cuales los valores de diversidad de los foraminíferos también son pequeños, presentando una alta dominancia de 1 a 2 especies que constituyen el 80% del material analizado. Por otra parte, las zonas más cercanas a la costa (8, 1 y 7) registraron un leve aumento en la oxigenación del fondo (0,07 a 0,51 ml l<sup>-1</sup>) lo que favorece la colonización de especies distintas a *B. seminuda* como *B. costata*, *B. elegantissima* y *N. stella* capaces de competir por su permanencia en medios disóxicos (Bernhard *et al.* 1997).

Los valores de diversidad de los foraminíferos se encontraron relacionados significativamente con la disponibilidad de oxígeno ( $r^2=0,92$ ,  $p < 0,01$ ). Desde los 56 a los 112 m de profundidad la diversidad disminuye a medida que el contenido de oxígeno se empobrece en el ambiente de fondo de esta bahía (Fig. 4).

Las particulares características que muestra la

estación 6, con respecto a las demás, en cuanto a diversidad y tamaño de los especímenes recuperados, se apartan de la tendencia de distribución encontrada en este estudio y la literatura (Bernhard 1992, Sen Gupta & Machain-Castillo 1993, Bernhard *et al.* 1997). Debido a problemas técnicos que impidieron el registro de datos de la columna de agua en esta estación, se recurrió a los trabajos de Escribano (1998, 2000) que señalan que, en este sector los valores de oxígeno de fondo también son reducidos (casi anóxicos), lo que explicaría la mayor abundancia de *B. seminuda* (50,5%). La alta diversidad y la presencia de *V. bradyana* y *C. auriculus*, reportadas preferentemente en zonas disóxicas (0,1 a 0,3 ml l<sup>-1</sup>) (Boltovskoy 1972, Sellier de Civrieux 1977), puede explicarse por las corrientes que circulan por el exterior de la bahía, que traerían conchillas sin protoplasma desde otros sectores más oxigenados que el interior de esta bahía.



**Figura 4**

**Relación entre la diversidad (*H*) de los foraminíferos bentónicos encontrados en Mejillones y el contenido de oxígeno registrado en el fondo de esta bahía. Sobre los puntos que señalan la diversidad se indica la profundidad de las estaciones (m).**

Relationship between the diversity (*H*) of the benthic foraminifera found in Mejillones and the oxygen content registered in the bottom-water of this bay. The numbers indicate the depth (m) of each station.



## Conclusiones

El presente trabajo confirma a *B. seminuda* como la especie que mejor se adapta a los medios de menor contenido de oxígeno (micróxicos), en los cuales la competencia por la permanencia en este tipo de sustratos también es reducida. *B. elegantissima* se distribuye en mayor abundancia relativa en las zonas disóxicas (0,5 ml l<sup>-1</sup>), mientras que *N. stella* y *B. costata* se encuentran en ambos ambientes proliferando independientemente del contenido de oxígeno de fondo.

La diversidad desde la zona costera y hasta los 112 m de profundidad, se relaciona directamente con la oxigenación del fondo. En medios disóxicos (0,07-0,51 ml l<sup>-1</sup>) existe mayor diversidad (1,7 a 2,2) que en medios micróxicos (0,01 ml l<sup>-1</sup>) en donde los valores índice disminuyen de 1,3 a 0,8. Esto indica que la distribución de la fauna de foraminíferos bentónicos es afectada por la baja concentración de oxígeno que registran el ambiente de fondo de la bahía Mejillones del Sur (23° S). El conocimiento de la distribución de la fauna actual de foraminíferos bentónicos constituye una herramienta útil para interpretar la información obtenida de registros sedimentarios de los cuales se podrá concluir sobre las condiciones oceanográficas y climáticas de los últimos miles de años.

## Agradecimientos

Investigación desarrollada en el marco del proyecto PALEOBAME (Paleoceanografía de la bahía Mejillones del Sur 23° S) convenio financiado en parte por la Dirección de Investigación de la Universidad de Antofagasta (Facultad de Recursos del Mar), Chile y el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), Francia.

El autor principal fue favorecido con una beca otorgada por el IRD para realizar una estadía de investigación en el Departamento de Geología y Oceanografía de la Universidad de Bordeaux I en Francia, dirigida por Frans Jorissen, Claude Pujol y Jean-Jacques Pichon a quienes se les agradece por los antecedentes aportados para la realización de este estudio. También se agradece a la Srta. Sandrine Caqueneau (IRD) que fotografió los foraminíferos al Microscopio Electrónico de Barrido y a Manuel Rojo (Universidad de Antofagasta) por la edición de las

- Escribano R. 1998.** Population dynamics of *Calanus chilensis* in Chilean eastern boundary Humboldt current. Fisheries Oceanography 7: 245-251.
- Escribano R. 2000.** Distribution of *Euphausia mucronata* at the upwelling area of Peninsula de Mejillones, Northern Chile: The influence of the oxygen minimum layer. Scientia Marina 64: 69-77.
- González H, G Daneri, D Figueroa, J Iriarte, N Lefevre, G Pizarro, R Quiñonez, M Sobarzo & A Troncoso. 1998.** Producción primaria y su destino en la trama trófica pelágica y océano profundo e intercambio océano-atmósfera de CO<sub>2</sub> en la zona norte de la corriente de Humboldt (23° S): Posibles efectos del evento El Niño, 1997-98, en Chile. Revista Chilena de Historia Natural 71: 429-458.
- Harman RA. 1964.** Distribution of Foraminifera in the Santa Barbara Basin, California. Micropaleontology 10: 81-96.
- Hromic T. 1998.** Foraminifera: Miliolina del Estrecho de Magallanes, Chile. Anales del Instituto de la Patagonia, serie Ciencias Naturales 22: 51-61.
- Hromic T. 1999.** Foraminíferos bentónicos de canales australes: canal Kirke, golfo Almirante Montt y seno Última Esperanza. XIIª región, Magallanes y Antártica chilena. Anales del Instituto de la Patagonia, serie Ciencias Naturales 27: 91-104.
- Linke P & G Lutze. 1993.** Microhabitat preferences of benthic foraminifera - a static concept or a dynamic adaptation to optimize food acquisition?. Marine Micropaleontology 20: 131-243.
- Marchant M. 1993.** Foraminíferos de bahía Scholl, Región Magallánica, Chile. (PROTOZOA: FORAMINIFERA). Gayana Zoología 57: 61-75.
- Marchant M, D Hebbeln & G Wefer. 1999.** High resolution planktic foraminiferal record of the last 13,300 years from the upwelling area off Chile. Marine Geology 161: 115-128.
- Marín V, L Rodríguez, L Vallejo, J Fuenteseca & E Oyarce. 1993.** Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de bahía de Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile). Revista Chilena de Historia Natural 66: 479-491.
- Marín V & G Olivares. 1999.** Estacionalidad de la productividad primaria en Bahía Mejillones del Sur (Chile): Una aproximación proceso-funcional. Revista Chilena de Historia Natural 72: 629-641.
- Morales C, J Blanco, M Braun, H Reyes & N Silva. 1996.** Chlorophyll-a, distribution and associated oceanographic condition during the winter and spring 1993. Deep Sea Research 43: 267-389.
- Murray J. 1991.** Ecology and palaeoecology of benthic Foraminifera, 397 p. Logan Scientific & Technical, Avon.
- Navea E & O Miranda. 1980.** Ciclo anual de las condiciones oceanográficas en Mejillones del Sur (Chile). Revista de Biología Marina 17: 97-133.
- Orbigny A D'. 1839.** Voyage dans l' Amérique Méridionale. Foraminifères, (Atlas 9, 1847), Paris, 5: 1-86.
- Ortlieb L, O Zúñiga, R Follegati, R Escribano, I Kong, L Rodríguez, Ph Mourguiart, J Valdés & P Iratchet. 1994.** Paleoc oceanografía de la bahía de Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile): Resultados preliminares para el último milenio. Estudios Oceanológicos 13: 45-55.
- Ortlieb L, R Escribano, R Follegati, O Zúñiga, I Kong, L Rodríguez, J Valdés, N Guzmán & P Iratchet. 2000.** Recording of ocean-climate changes during the last 2,000-years in a hypoxic marine environment off northern Chile (23° S). Revista Chilena de Historia Natural 73: 221-242.
- Páez M & O Zúñiga.** Foraminíferos recientes en el área del río Loa (21°25' S; 70°04' W). Estudios Oceanológicos 20 (en prensa).
- Resig J. 1981.** Biogeography of benthic Foraminifera of the northern Nazca Plate and adjacent continental margin. Geological Society of America. Memoir 154: 619-665.
- Rodríguez L, V Marín, M Fariás & E Oyarce. 1991.** Identification of an upwelling zone by remote sensing and in situ measurements Mejillones del Sur Bay (Antofagasta-Chile). Scientia Marina 55: 467-473.
- Rodríguez L & R Escribano. 1996.** Bahía de Antofagasta y bahía de Mejillones del Sur: Observación de la temperatura, penetración de la luz, biomasa y composición fitoplanctónica. Estudios Oceanológicos 15: 76-86.
- Sellier de Civrieux JM. 1977.** Foraminíferos indicadores de comunidades bentónicas recientes de Venezuela. Parte II: Ecología y distribución de los foraminíferos más frecuentes de la plataforma continental del Parque Nacional Mochima. En: Boletín del Instituto Oceanográfico. Universidad de Oriente, Venezuela, 16: 3-52.
- Sen Gupta BK & ML Machain-Castillo. 1993.** Benthic Foraminifera in oxygen-poor habitats. Marine Micropaleontology 20: 185-201.
- Vargas G. 1998.** Approches methodologiques en paleo-océanographie réalisées á partir des carottes de la Baie de Mejillones, Chili (23° S), 32 p. Tesis Diplôme d' études approfondies. Département de Géologie et Océanographie, Université de Bordeaux I.
- Zapata A & S Varela. 1975.** Foraminíferos litorales recientes de bahía Maullín (41°37' S; 73°40' W) Chile. Ciencia y Naturaleza 16: 14-24.
- Zapata J & R Alarcón. 1988.** Foraminíferos bentónicos del Estrecho de Magallanes (52°33' S; 69°54' W), Chile. Biota 4: 17-29.

- Zapata J & A Gutiérrez. 1995.** Foraminíferos litorales recientes de Tocopilla (22°06' S; 70°13' W), Chile. *Estudios Oceanológicos* 14: 49-59.
- Zapata J, C Zapata & A Gutiérrez. 1995.** Foraminíferos bentónicos recientes del Sur de Chile. *Gayana Zoología* 59: 23-40.
- Zapata J & H Moyano. 1996.** Distribución de los foraminíferos bentónicos recolectados por el AKEBONO MARU "72", en el Sur de Chile. *Gayana Zoología* 60: 89-98.
- Zapata J. 1999.** Foraminíferos bentónicos recientes de bahía Cumberland (33°41' S; 78°50' W), Archipiélago de Juan Fernández, Chile: Aspectos zoogeográficos. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción* 70: 21-35.
- Zapata J, M Marchant & J Olivares. 2000.** Presencia y antecedentes del ciclo reproductivo de *Tretomphalus bulloides* (Orbigny, 1839) (FORAMINIFERA: ROSALINIDAE) en islas oceánicas chilenas. *Gayana Zoología* 64: 115-121.

*Recibido en septiembre de 2001 y aceptado en noviembre de 2001*