



Universidad de Concepción

Dirección de Postgrado

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas -Programa de Magíster en Ciencias con
mención en Zoología

Foraminíferos bentónicos como bioindicadores de contaminación en la Bahía de Mejillones, norte de Chile



Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias con mención en
Zoología

LAURA TAVERA MARTÍNEZ

CONCEPCIÓN-CHILE

2019

Profesor Guía: Margarita Marchant San Martín

Dpto. de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas

Universidad de Concepción

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a la Dra. Margarita Marchant, por guiarme en todo el proceso de mi trabajo de grado, su apoyo, enseñanzas y aportes fueron de suma importancia para poder culminar con éxito.

A la Dra. Lucila Moreno, por su disposición a colaborar en todo momento con los registros fotográficos en el microscopio electrónico SU 3500 Hitachi de la Universidad de Concepción, sede Chillán e instruirme en el manejo de este equipo. Así mismo al proyecto Fondecip EQM 170124-CONICYT, por permitirme tomar dichos registros fotográficos.

También agradecer a la Dra. Pamela Hidalgo por brindarme todo el conocimiento oceanográfico de la Bahía de Mejillones, este fue de suma importancia para entender la dinámica que presenta esta zona.

Al proyecto FONDECYT 1130511 dirigido por el Dr. Rubén Escribano, ya que a partir de esto se lograron obtener los testigos de sedimento. Así mismo al profesor Jorge Valdés, por la obtención de las muestras con draga de sedimento.

A la Dra. Praxedes Muñoz de la Universidad Católica del Norte, sede Coquimbo, por la datación de los testigos de sedimento.

Finalmente, pero no menos importante a mis padres y novio, que fueron los pilares fundamentales para seguir adelante y lograr culminar con éxito. La paciencia y apoyo incondicional de ellos fue primordial para mi formación como Magíster. Depositaron toda su confianza en mi y ahora puedo decir que no los defraudé.

A todos mis compañeros del Doctorado en Sistemática y Biodiversidad, por estar dispuestos a ayudarme en todo momento, brindándome aportes valiosos y diferentes puntos de vista que permitieron enriquecer mi trabajo. Además del apoyo emocional que me brindaron hasta el final, especialmente Alexander Pari y Katheryn Pino.

INDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Contaminación marina.....	2
1.2 Foraminíferos bentónicos y su importancia	3
1.3 Estado del arte	4
1.4 Área de estudio	5
2 . PROBLEMA.....	6
3 . HIPÓTESIS	8
4 . OBJETIVOS	8
4.1 Objetivo General	8
4.2 Objetivos Específicos	8
5 . MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
5.1 Obtención de los datos.....	8
5.2 Análisis cualitativo	10
5.2.1 Diversidad taxonómica.....	10
5.2.2 Anormalidades	10
5.2.3 Morfogrupos.....	11
5.3 Análisis cuantitativo	12
5.3.1 Abundancia.....	12
5.3.2 Índice de Anormalidad en Foraminíferos (FAI).....	12
5.3.3 Porcentaje mínimo y máximo de anormalidad.....	13
5.3.4 Diversidad y riqueza	13
5.3.5 Similitud	14
5.4 Relación entre las variables bióticas y metales pesados	14
6 . RESULTADOS	15
6.1 Diversidad taxonómica	15
6.2 Morfogrupos	19
6.3 Abundancia y zonación de especies.....	20
6.4 Anormalidades.....	24
6.4.1 Índice de anormalidad en foraminíferos (FAI).....	24
6.4.2 Porcentaje mínimo (Pmin) y máximo de anormalidad (Pmax)	28
6.4.3 Tipos de anormalidades.....	28
6.5 Diversidad	32
6.6 Similitud.....	34

6.6.1 Análisis de Cluster	34
6.6.2 Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS).....	36
6.7. Relación entre las variables bióticas y metales pesados	38
7. DISCUSIÓN.....	42
Relación entre las variables bióticas y metales pesados	53
8. CONCLUSIONES	54
REFERENCIAS	56
ANEXOS.....	70



RESUMEN

La Bahía de Mejillones (entre $22^{\circ}58'32,55''S$ - $70^{\circ}19'18,72''O$; $23^{\circ}01'32,97''S$ - $70^{\circ}29'50,79''O$), presenta uno de los centros de surgencia más importantes en la zona norte de Chile, convirtiéndola en un centro de alta diversidad (hotspot) y productividad primaria. No obstante, a inicios del siglo XX la bahía ha experimentado un incremento en las actividades antrópicas, que han contribuido al incremento en las concentraciones de metales pesados. Por lo cual, pueden generar respuestas a nivel individual y comunitario en la biota bentónica. Los foraminíferos constituyen una parte importante del bentos y poseen ventajas que les permite ser considerados como excelentes bioindicadores de los cambios ambientales y contaminación costera. Debido a lo anterior, se analizó la comunidad de foraminíferos bentónicos a una escala temporal y espacial, además de identificar las anomalías en la morfología del caparazón de los mismos. Esto permitió evaluar la relación a nivel comunitario e individual con las concentraciones de metales pesados, indicando una respuesta frente a la contaminación en la Bahía.

Para tal fin, se analizaron 27 muestras de sedimento en total con una fracción mayor a $212\ \mu m$. De las cuales 11 fueron obtenidas a partir los testigos (escala temporal), 16 muestras fueron recolectadas por medio de una draga de sedimento a diferentes isobatas (escala espacial). Posteriormente, se realizaron análisis cualitativos (diversidad taxonómica, morfogrupos y tipos de anomalías en el caparazón) y cuantitativos (Índice de Anormalidad en Foraminíferos - FAI, porcentaje mínimo y máximo de anomalía, riqueza, diversidad, cluster UPGMA, porcentajes de similitud-SIMPER, escalamiento multidimensional (MDS) y de similitud- ANOSIM). Además, de evaluar la correlación entre la estructura comunitaria, y el FAI con las concentraciones de metales pesados, a partir de un Modelo Lineal Generalizado (GLM).

Los resultados indicaron condiciones de estrés ambiental, observándose una proporción de caparazones anormales dentro de los rangos descritos para zonas contaminadas, reflejándose un cambio en las condiciones ambientales de la bahía, a partir del año 2004. En donde se detectó un ambiente micróxico, mientras que los años anteriores señalaron disóxia. La abundancia de foraminíferos se relacionó de manera inversa con la concentración de metales pesados, afectando la supervivencia de las poblaciones, posiblemente por la alteración del funcionamiento celular. Por el contrario, el índice de anomalías en foraminíferos (FAI) se relacionó positivamente con la cantidad de metales pesados, específicamente con el Vanadio. Esto indicó que las concentraciones de metales pesados están afectando la estructura de la fauna bentónica en la bahía de Mejillones, generando cambios en las condiciones ambientales, como la intensificación en la hipoxia. Lo que permite destacar la utilidad de los foraminíferos como herramienta para el monitoreo ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contaminación marina

Las zonas costeras al estar en contacto con el continente, se encuentran sometidas a un constante estrés ambiental (Cesar, 2003), debido principalmente a la contaminación de origen antrópico, provenientes de actividades de industrialización, urbanización, turismo, agricultura y acuicultura. Las cuales generan una gran cantidad de desechos domésticos y aguas residuales, que contienen contaminantes orgánicos, metales pesados, nutrientes, aceites, patógenos (Williams, 1996; Islam & Tanaka, 2004) e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PHAs) (Suokhrie *et al.*, 2017). Estos agentes son depositados en los sedimentos marinos y pueden funcionar como fuente o sumidero, de sustancias que afectan las condiciones ambientales y las tramas tróficas marinas (Alagarsamy, 2006; Buccolieri *et al.*, 2006).

Estos agentes tóxicos causan efectos letales y no letales en organismos marinos, además de alteraciones negativas en las pesquerías comerciales (Islam & Tanaka, 2004). A su vez, tienden a acumularse en la fauna marina, dependiendo de la biodisponibilidad y fisiología del individuo (Meador *et al.*, 1995). Los metales pesados específicamente, evidencian cierta afinidad con los organismos unicelulares. Por lo que la absorción de estos agentes, se realiza por medio de la membrana celular y a través del proceso de difusión, que controla la velocidad de captación y unión de las proteínas dentro de la célula (Bryan, 1979). Adicionalmente, la inhibición enzimática es provocada por concentraciones elevadas de estos metales, lo que provoca mortandad en organismos sensibles (Kennish, 1992). A su vez, pueden generar efectos directos o indirectos en las comunidades bentónicas. Entre dichas perturbaciones se incluye la interrupción de eventos naturales e impactos en la redes tróficas, a causa de metales potencialmente tóxicos, además de deficiencias en los micronutrientes en los ecosistemas (Siegel, 2002; Carnahan, 2005).

Para evidenciar esta dinámica, se ha propuesto el uso de bioindicadores (Langston & Spence, 1995), abarcando no solamente la presencia/ausencia de ciertos grupos de individuos sino también cualquier respuesta biótica producida por estrés ambiental, evidenciando efectos a nivel molecular, bioquímico, fisiológico, poblacional, comunitario o ecosistémico (González Zuarth *et al.*, 2014). Esto genera una herramienta que integra eventos de estrés, reflejados por cambios cualitativos y cuantitativos en la estructura y funcionalidad de una determinada comunidad, identificando eventos que no pueden ser observados directamente (Linton & Warner, 2003). En el caso de los organismos bentónicos, se han usado como bioindicadores de contaminación a los nemátodos (Seiglie, 1975), además de los moluscos, ostrácodos y foraminíferos, como modelos biológicos para identificar

cambios ambientales producidos por metales pesados (Schafer *et al.*, 1975). No obstante los foraminíferos permiten una caracterización ambiental más detallada y completa, generando efectos en la distribución y deformidades en el caparazón de los mismos (Sharifi *et al.*, 2001; Alve, 1995).

1.2 Foraminíferos bentónicos y su importancia

El Phylum Foraminifera es el grupo de protozoos más abundantes del ambiente marino y corresponden al mayor componente de la fauna bentónica (Gooday *et al.*, 2012). Los foraminíferos bentónicos pueden desplazarse bien sea libremente sobre el fondo marino o también pueden fijarse sobre rocas y conchas, mediante secreciones calcáreas o filamentos que emergen del protoplasma (pseudópodos) (Betancur & Martínez, 2003). De manera, que su distribución incluye amplios rangos batimétricos (5-5000 m) (Gooday, 1986; Gooday *et al.*, 2000; Bernhard *et al.*, 2008).

Los foraminíferos desempeñan un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos de compuestos orgánicos e inorgánicos (Haynes, 1981; Yanko *et al.*, 1998). Muchos de ellos presentan un caparazón de material calcáreo, lo que contribuye a una excelente preservación y un registro del estrés ambiental a lo largo del tiempo (Frontalini & Coccioni, 2008), siendo uno de los grupos que presentan mayor sensibilidad frente al deterioro del ambiente costero (Capotondi *et al.*, 2015). En los últimos 30 y 40 años se han empleado como indicadores (*proxies*), siendo los primeros trabajos desarrollados por Zalesny (1959), Resig (1960) y Watkins (1961), enfocados en los efectos de la polución en foraminíferos bentónicos (Samir & El-Din, 2001).

Dichos organismos poseen ciertas características que los convierten en excelentes bioindicadores de cambios ambientales y contaminación costera, incluyendo un amplio rango de distribución, ciclos de vida cortos, requerimientos ecológicos específicos microhábitat que brinda información de las condiciones ambientales en un periodo de tiempo determinado (Alve & Nagy, 1986) respuesta rápida frente a cambios en el ambiente, diversidad alta y poca movilidad (Alve, 1991, 1995; Yanko *et al.*, 1994; Debenay *et al.*, 2001; Murray & Alve, 2002; Geslin *et al.*, 2002; Coccioni *et al.*, 2003; Carnahan, 2005; Debenay *et al.*, 2005). Adicionalmente, pueden ser fácilmente recolectados en grandes cantidades, lo que contribuye a un análisis estadístico robusto y a su vez, pueden mantenerse vivos en condiciones de laboratorio, permitiendo identificar las respuestas de los mismos frente algún contaminante específico o estrés ambiental (Munsel *et al.*, 2010; Capotondi *et al.*, 2015;).

1.3 Estado del arte

Han sido varias las investigaciones desarrolladas en zonas con algún tipo de estrés (e.g. Debenay *et al.*, 2001; Geslin *et al.*, 2002; Carnahan, 2005), donde se han registrado respuestas en las asociaciones de foraminíferos bentónicos frente a condiciones ecológicas adversas, tales como cambios en la abundancia y diversidad de las comunidades, observándose una predominancia de especies oportunistas como *Epistominella exigua*, *Bolivina seminuda*, *Bolivina costata* y *Virgulinitella* sp., frente al incremento de materia orgánica dado por pulsos de fitodetritos (Gooday, 2003; Murray, 2006). También pueden reflejarse extinciones locales y presencia de anomalías en los caparazones (Alve, 1991, Yanko *et al.*, 1994; Alve, 1995; Geslin *et al.*, 1998a). Dichas alteraciones morfológicas han sido reportadas previamente (e.g. Boltovskoy, 1957; Seiglie, 1964; Cann & Deckker, 1981; Caralp, 1989; Alve, 1991; Yanko *et al.*, 1994, 1998), las cuales no son causadas únicamente por factores ecológicos sino también por factores físicos, generando daños en los caparazones por hidrodinámica (Vilela & Koutsoukos, 1992; Geslin *et al.*, 1998b) y depredación (Aktürk, 1976). Estos efectos en la morfología han sido encontrados mayormente en foraminíferos calcáreos, observándose cambios en el tamaño, forma y disposición de las cámaras, teniendo como resultado una deformidad o regeneración del caparazón (Melis & Covelli, 2013). Este es un mecanismo que refleja condiciones de estrés ambiental, como es el caso de salinidades extremas (hiposalinidad, hipersalinidad o variación drástica en la salinidad), temperatura, carencia o exceso de alimento, bajo contenido de oxígeno disuelto, polución (Boltovskoy *et al.*, 1991) y actividades antropogénicas (Coccioni, 2000; Ebrahim, 2000; Samir, 2000; Geslin *et al.*, 2000).

Las investigaciones anteriormente mencionadas, han implementado diferentes métodos en cada una de las etapas del trabajo, en donde la fracción de las muestras de sedimento a estudiar no es estándar (e.g. Yanko *et al.*, 1994; Yanko *et al.*, 1998; Samir & El-Din, 2001). La evaluación de la estructura comunitaria ha estado representada por diversos índices como el de Shannon-Weinner (H'), Pielou (Yanko *et al.*, 1994, 1998), dominancia y de α –Fisher (Samir & El-Din, 2001). El análisis de similitud comunitario ha estado reflejado mediante cluster UPGMA (Samir & El-Din, 2001), de modo Q (Carnahan, 2005; Capotondi *et al.*, 2015), análisis SIMPER y de escalamiento multidimensional (MDS) (Carnahan, 2005). La influencia de los parámetros fisicoquímicos en la estructura de la comunidad de foraminíferos, ha sido evaluada por correlaciones de Pearson con metales pesados (e.g. Carnahan, 2005), salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, clorofila α y carbono orgánico (e.g. Yanko *et al.*, 1998), además de un Análisis de Componentes Principales (PCA) (e.g. Capotondi *et al.*, 2015).

Así mismo, cuantitativamente la presencia de metales pesados en los caparazones normales y anormales, ha sido reportada por el porcentaje de foraminíferos vivos deformes (e.g. Yanko *et al.*, 1998), el Índice de Anormalidad en Foraminíferos (FAI)

(e.g. Frontalini & Coccioni, 2008 y Melis & Covelli, 2013), caparazones anormales sin cicatrices y regenerados con cicatrices. Porcentaje mínimo (Pmin) y máximo (Pmax) de anormalidad (Debenay *et al.*, 2001 y Geslin *et al.*, 2002).

1.4 Área de estudio

En el norte de Chile, se encuentra la Bahía de Mejillones a 60 km de Antofagasta. Se caracteriza por presentar uno de los centros de surgencia más productivos de la zona conocida como Punta Angamos (Páez *et al.*, 2001; Valdés, 2004; Valdés *et al.*, 2008), generado por la presencia de vientos hacia el Ecuador durante la mayor parte del año (Letelier *et al.*, 2012). Dicha área es aledaña al desierto de Atacama, siendo una de las regiones más áridas del mundo, por lo que la incidencia de aportes continentales se limita únicamente al transporte atmosférico de partículas litogénicas (Vargas *et al.*, 2004). Por tal razón la surgencia costera influye fuertemente en la composición química de las aguas superficiales de la Bahía (Valdés *et al.*, 2008). Además, es considerada una zona de alta diversidad (hotspot) y productividad biológica debido a su estabilidad térmica (Marín & Olivares, 1999; Marín *et al.*, 2003), arrojando valores anuales de 1.070 g C/m² (Marín *et al.*, 1993). No obstante, los sedimentos de la bahía evidencian una carencia de oxígeno a partir de los 50 m de profundidad, presentándose una Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) (Navea & Miranda, 1980, Escribano, 1998, Valdés, 1998). Lo cual limita notoriamente la macrofauna bentónica (Zúñiga, 1974; Zúñiga *et al.*, 1983) y contribuye a la formación de depósitos de sedimentos diatomáceos, con altas cantidades de materia orgánica y poca bioturbación. Lo que permite una reconstrucción de las condiciones paleo-oceano-climático del último milenio (Ortlieb *et al.*, 2000; Valdés *et al.*, 2000; Valdés & Ortlieb, 2001; Valdés *et al.*, 2003, Valdés, 2004).

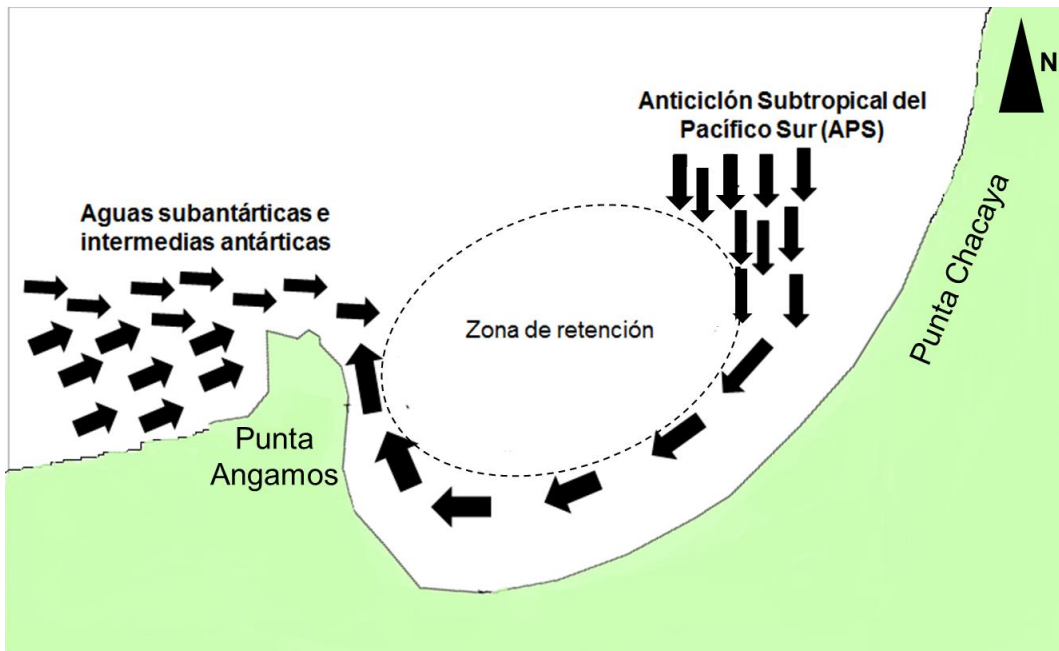


Figura 1. Patrón de corrientes de la Bahía de Mejillones. (Imagen propia).

El patrón de corrientes de esta zona obedece al Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (APS) (Strub *et al.*, 1998), interactuando masas de aguas subantárticas e intermedias antárticas (Sievers & Silva, 1982; Silva, 1983). Las cuales generan remolinos a mesoescala, filamentos anticiclónicos y ciclónicos que desplazan las aguas de surgencia en dirección a la zona de transición costera (ZTC). Por lo que se observa un cambio a nivel superficial de la temperatura y clorofila (Letelier *et al.*, 2012). Esta variación espacial y temporal en la circulación costera, genera al interior de la bahía una zona de retención de aguas o sombras de surgencia en las que se registran concentraciones de clorofila elevadas (Letelier *et al.*, 2012, Rojas & Landaeta, 2014, Figura 1).

2 . PROBLEMA

A principios del siglo XX, la actividad industrial incrementó en la bahía de Mejillones principalmente en el ámbito minero y pesquero. Actualmente, estas actividades están mayormente enfocadas en la acuicultura, pesquerías, urbanización y construcción de terminales portuarios para la exportación de minerales. Como es el caso de Puerto Angamos construido en 2002, el cual ha producido alteraciones en la estructura de las comunidades bentónicas (Allan *et al.*, 2008). Así mismo, estos terminales operan en función de la carga y descarga de combustibles, depósitos y manejo de graneles líquidos y plantas de procesamiento de Molibdeno y ácido

sulfúrico (Universidad de Chile, 2012). Así mismo, ha ido incrementando notoriamente la cantidad de centrales termoeléctricas en el área, destacándose la termoeléctrica de Mejillones ejecutada en 1996 y 1999 (Universidad de Chile, 2012), Atacama en 1998 (ENDESA, 2014), Hornitos y Andina ambas en funcionamiento a partir del 2011 (E-CL, 2010). Pese a ser una zona altamente intervenida, son escasos los trabajos realizados entorno a los organismos invertebrados como bioindicadores de condiciones adversas en la bahía. En donde se destaca únicamente el estudio de Allan *et al.* (2008), en el que evalúan el efecto de la diversidad de las comunidades macrobentónicas generados por el dragado para la construcción de Puerto Angamos, entre los 10 y 30 m de profundidad. Además del trabajo *ex situ* realizado por Guiñez *et al.* (2015), empleando al crustáceo *Emerita analoga* como acumulador de metales pesados en la zona intermareal de la Bahía. Por lo tanto, existe un vacío en conocer si las concentraciones de metales pesados encontrados en la bahía producto de la contaminación, generan alteraciones a nivel del organismo (*e.g* anomalías en el caparazón) y de la comunidad (riqueza y abundancia). Sobre todo en la zona del talud continental y a diferentes profundidades, ya que la poca información ha sido generada en la línea de costa e intermareal. Lo que permitirá evaluar si dichas alteraciones en los individuos son comparables con otras áreas costeras altamente contaminadas por metales pesados, como se ha reportado al sur de Inglaterra (Sharifi *et al.*, 1991), fiordos de Noruega (Alve, 1991), Israel (Yanko *et al.*, 1994) y costa norte del mar Adriático (Melis & Covelli, 2003).

Además, existe una incerteza de la calidad ambiental en los sedimentos de la Bahía de Mejillones, mencionándose en los monitoreos de gestión ambiental para el 2010 (Saimic, 2010), 2012 (Universidad de Chile, 2012) y 2013 (Universidad Católica del Norte, 2013), que las concentraciones de metales pesados e hidrocarburos aromáticos se encuentran dentro de los rangos normales, según la normativa vigente. Mientras que Valdés & Sifeddine (2009) sugieren que los sedimentos de la Bahía reflejan las primeras evidencias de perturbación antrópica. Por tanto, es necesario generar reconstrucciones ambientales, a partir de la datación de los sedimentos en donde se detecte una variación en los parámetros abióticos, a partir del inicio de la actividad industrial en la zona. Lo que indica que la intervención antrópica genera un impacto tal que altera las condiciones ambientales en la zona. Debido a esto los foraminíferos proporcionan un registro temporal y espacial del estado ambiental de un área determinada. Dado que presentan características biológicas (ciclos de reproducción cortos, poca movilidad y excelente preservación) y ecológicas (microhábitat específico, amplia distribución del phylum y elevada diversidad), que los convierte en modelos muy útiles para generar un diagnóstico ambiental. Además de la facilidad para recolectarlos en grandes cantidades en una pequeña fracción de sedimento.

3 . HIPÓTESIS

Lo anteriormente expuesto permite evaluar las siguientes hipótesis:

1. Los sitios con mayor concentración de metales pesados en la Bahía de Mejillones, evidencian mayor índice de anormalidad en los caparazones de los foraminíferos bentónicos, especies oportunistas, así como también una baja abundancia y riqueza de especies.
2. A partir del siglo XX se evidencia una menor riqueza, especies oportunistas y anormalidades en los caparazones de foraminíferos bentónicos, como producto de la contaminación en la Bahía de Mejillones en años recientes.

4 . OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar la comunidad de foraminíferos bentónicos a partir del siglo XX como bioindicadores potenciales de contaminación en la Bahía de Mejillones, Norte de Chile.

4.2 Objetivos Específicos

Analizar la diversidad taxonómica y zonación de la comunidad de foraminíferos bentónicos, con el fin de comprender sus parámetros comunitarios y distribución espacio-temporal en la Bahía de Mejillones.

Identificar a una escala temporal y espacial, las anormalidades morfológicas en los caparazones de foraminíferos bentónicos, como respuesta al daño causado por la contaminación en la Bahía de Mejillones.

Conocer la relación entre la riqueza, abundancia de especies y alteraciones morfológicas de los caparazones de foraminíferos bentónicos, con respecto a las concentraciones de metales pesados en los sedimentos de la Bahía de Mejillones.

5 . MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Obtención de los datos

Se obtuvieron 28 muestras de la Bahía de Mejillones con un tamaño de 212 μm , de las cuales 11 de estas provinieron de dos testigos (ZA y Z1A), correspondientes a los primeros 8 cm de la columna del sedimento. Los cuales se dataron mediante

^{210}Pb (Tabla I) por la Dra. Praxedes Muñoz, de la Universidad Católica del Norte, sede Coquimbo.

Tabla I. Edades de los sedimentos en cada estrato a partir de dataciones de plomo.

Estrato (cm)	Edad (año)
0-1	2012
1-2	2008
2-3	2004
3-4	1994
4-5	1983
5-6	1949
6-7	1900
7-8	1887

Mientras que las muestras restantes fueron extraídas a partir de una draga de sedimento, considerando las isobatas de 10 m, 50 m, 70-75 m y 100-110 m (Figura 2). Se tuvo en cuenta únicamente la fracción de $212\ \mu\text{m}$, debido a que los foraminíferos en estadios tempranos de desarrollo suelen ser encontrados en fracciones entre $63\ \mu\text{m}$ y $150\ \mu\text{m}$, por lo que pueden ser confundidos con anomalías en sus caparazones.

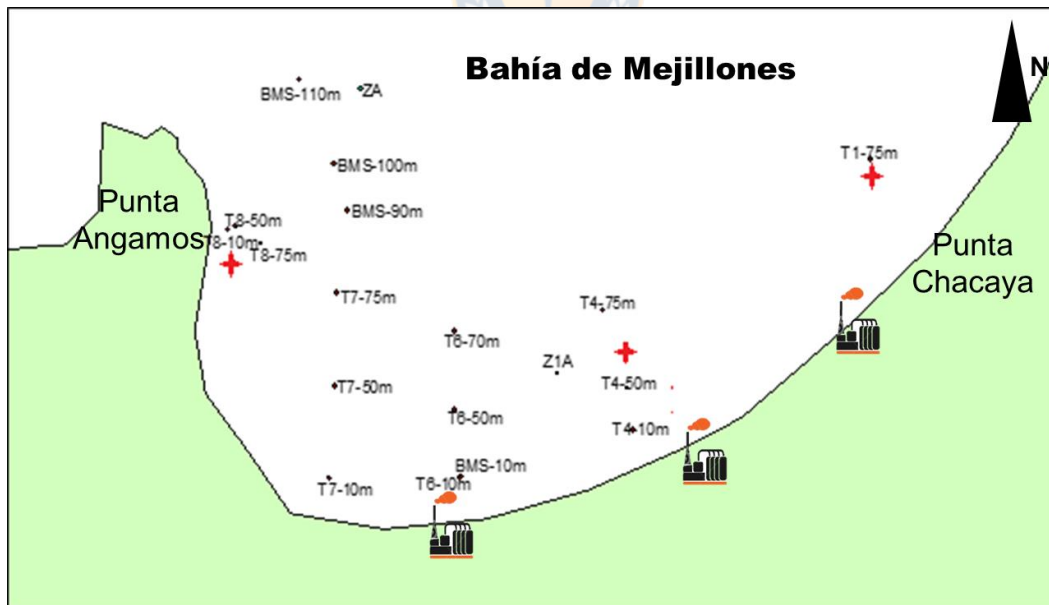


Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo (escala espacial), testigos de sedimento (escala temporal) y actividad industrial en la Bahía de Mejillones, norte de Chile. ★ Indican estaciones control. (Imagen propia)

Con el fin de establecer un punto de referencia y comparar las variables bióticas (caparazones anómalos, abundancia y riqueza), entre isóbatas, se eligieron las estaciones control. Para tal fin, se usó como criterio las concentraciones de metales pesados (cadmio, molibdeno, manganeso, níquel, zinc, aluminio y vanadio) reportadas por Valdés *et al.* (2005), las cuales correspondieron a dichas muestras recolectadas por dragas de sedimento. De esta manera, se escogieron los sitios con menor concentración de metales pesados.

A su vez, se escogieron estaciones control a una escala temporal, teniendo en cuenta los estratos mayores al año 1984 (entre los 3 cm y 8 cm). Lo que permite comparar con los sedimentos recientes o a partir del año 1994; teniendo en cuenta que a comienzos de los años noventa inició el desarrollo industrial en la bahía (Allan *et al.*, 2008).

5.2 Análisis cualitativo

5.2.1 Diversidad taxonómica

Se caracterizó la diversidad taxonómica, utilizando guías y claves taxonómicas como las de Loeblich & Tappan (1988), Holbourn *et al.* (2013), Acosta-Herrera (2004) y trabajos realizados para la costa chilena como los de Boltovskoy (1954); Zapata *et al.* (1995), Pujol-Rodríguez (1977) y Figueroa *et al.* (2005), observando los organismos en una lupa o estereoscopio (Figura 3). A su vez, en un microscopio óptico del Laboratorio de Foraminíferos de la Universidad de Concepción se examinaron los mismos con el fin de identificarlos a un nivel más específico y poder observar más detenidamente sus estructuras. Simultáneamente se obtuvieron registros fotográficos de cada una de las especies y las más raras, se almacenaron en placas de portaforaminíferos.

5.2.2 Anormalidades

En un estereoscopio se identificó la presencia de anormalidad en los caparazones y posteriormente, con un microscopio óptico se clasificaron los tipos de anormalidad de cada especie, según lo descrito por Alve (1991), Yanko *et al.* (1994) y Geslin *et al.* (2002) (Tabla II). Finalmente, se tomaron registros fotográficos con el SEM SU 3500 Hitachi de la Universidad de Concepción, sede Chillán y se almacenaron en placas de portaforaminíferos (Figura 3).

Tabla II. Tipos de anormalidades en caparazones de foraminíferos bentónicos reportados por autores y consideradas para el presente estudio.

Tipo de anomalía	Autor
Abertura doble	Alve (1991); Yanko <i>et al.</i> (1994)
Reducción del tamaño de una o más cámaras	Alve (1991); Geslin <i>et al.</i> (2002)
Protuberancias en una o más cámaras	Alve (1991); Yanko <i>et al.</i> (1994); Geslin <i>et al.</i> (2002)
Enrollamiento o arreglo de cámaras distorsionadas	Alve (1991); Yanko <i>et al.</i> (1994)
Agrandamiento de la apertura	Alve (1991)
Forma aberrante o compleja de las cámaras	Alve (1991); Yanko <i>et al.</i> (1994); Geslin <i>et al.</i> (2002)
Testas dobles	Alve (1991); Yanko <i>et al.</i> (1994); Geslin <i>et al.</i> (2002)
Testas triples	Geslin <i>et al.</i> (2002)
Testas extremadamente comprimidas	Yanko <i>et al.</i> (1994)
Cámaras adicionales	Yanko <i>et al.</i> (1994); Geslin <i>et al.</i> (2002)
Marcas de regeneración o cicatrices	Geslin <i>et al.</i> (2002)
Descalcificación de la testa	Geslin <i>et al.</i> (2002)

5.2.3 Morfogrupos

Se analizaron los morfogrupos en cada estrato/estación, dado que los foraminíferos pueden ocupar diferentes tipos de hábitat y presentar distintas estrategias alimenticias, dependiendo de la morfología de sus caparazones permitiéndolos agrupar según la forma, de acuerdo a lo descrito por Scott *et al.* (2004) (Figura 3). De modo que los cambios en la abundancia relativa de cada forma, reflejaron cambios en el ambiente (Jones & Charnock, 1985; Corliss, 1988; Murray *et al.*, 2011).

Morfogrupos:

Planispiral: enrollamiento del caparazón en un solo plano.

Trocospiral: cámaras evolutas a un lado del caparazón e involutas en el lado opuesto.

Uniserial: arreglo de las cámaras en una sola columna.

Biserial: arreglo de las cámaras en dos columnas de manera lineal.

Triserial: arreglo de cámaras en tres columnas, observándose tres cámaras por vuelta.

Miliolina o Quinqueloculina: caparazón con enrollamiento de las cámaras de 72°, observando cuatro cámaras por un lado y tres en el otro.

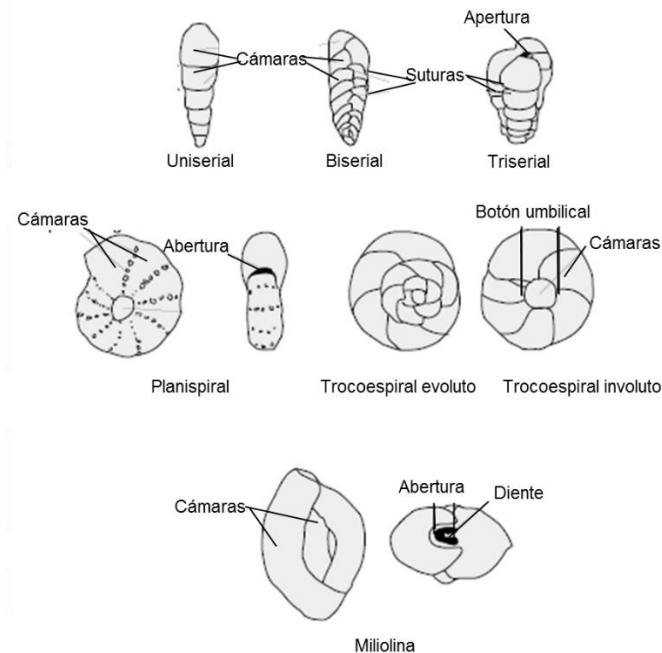


Figura 3. Morfogrupos según el arreglo de las cámaras (Modificado de Scott *et al.*, 2004).

5.3 Análisis cuantitativo

5.3.1 Abundancia

Se estimó la abundancia relativa para cada estación y/o estrato, subdividiendo la muestra con un cuarteador o spliter, con el fin de realizar el conteo de los ejemplares de una manera más eficiente (Figura 4). Posteriormente se cuantificó el número de individuos por cada una de las especies encontradas y se calculó la abundancia relativa en términos de individuos/cm³. Las especies que contribuyeron a una abundancia total mayor del 70%, correspondieron a las especies dominantes para cada muestra y/o estrato.

5.3.2 Índice de Anormalidad en Foraminíferos (FAI)

A partir del conteo de anomalías en los caparazones se estimó el porcentaje total de foraminíferos anormales por cada muestra (Frontalini & Coccioni, 2008; Melis & Covelli, 2013). Posteriormente, por medio de una representación gráfica se visualizaron los porcentajes de anomalía en los diferentes puntos de muestreo, reflejando su distribución en la Bahía.

5.3.3 Porcentaje mínimo y máximo de anomalidad

Se calculó el porcentaje mínimo (Pmin) y máximo de anomalidad (Pmax) según lo mencionado por Geslin *et al.* (2002) y Debenay *et al.* (2001), ya que en ocasiones, la distinción entre caparazones normales y anormales es un poco confusa. Por lo que el porcentaje mínimo indicó los caparazones fuertemente anómalos y un porcentaje máximo, que hizo referencia al total de testas anormales, incluyendo las observadas con un menor grado de deformidad Geslin *et al.* (2002). Los porcentajes de anomalidad menores o iguales a 1 no fueron considerados como efecto del estrés ambiental, ya que según Alve (1991) y Stouff *et al.* (1999) corroboraron estos valores cercanos a 1 en condiciones normales y de no estrés.

5.3.4 Diversidad y riqueza

La riqueza y diversidad de especies por su parte, se obtuvieron mediante el número de taxa encontradas para cada muestra de sedimento. El índice de Shannon Weiner (H') se calculó como medida de heterogeneidad, considerando el número de especies y la distribución de los individuos entre las mismas. Por último se estimó la Dominancia de Simpson (D), expresándose de manera inversa al de Shannon-Weinner.

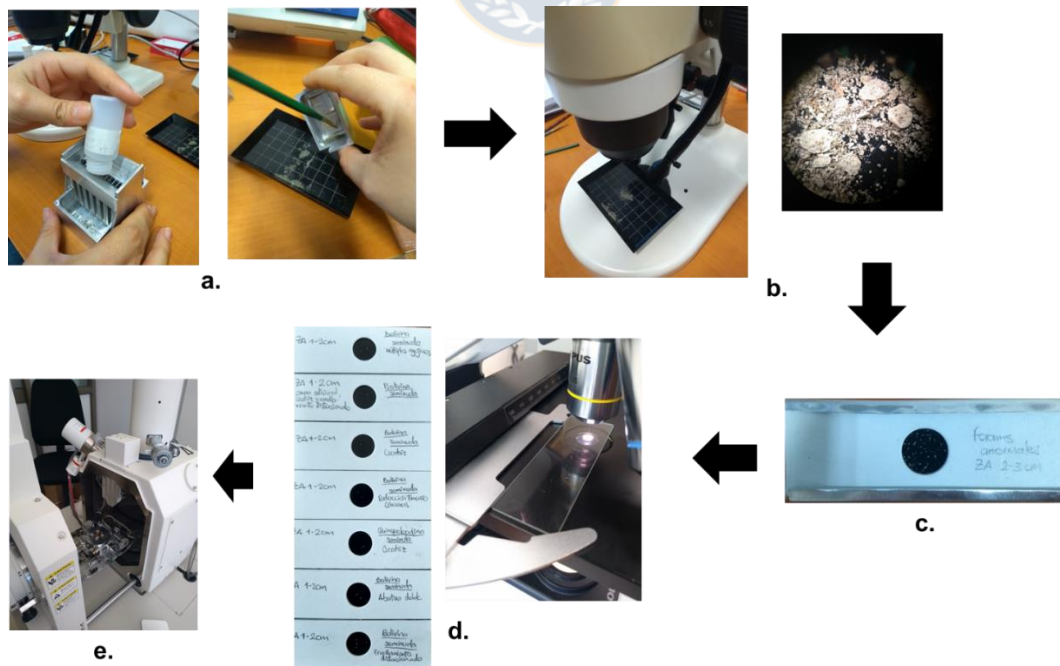


Figura 4. Procesamiento de las muestras en Laboratorio de Foraminíferos, UdeC: a) Subdivisión de la muestra, b) Identificación y conteo, c) Separación de

caparazones anómalos, d) Identificación y separación de los tipos de anomalía por especie y e) Toma de registros fotográficos en SEM.

5.3.5 Similitud

Se realizó un análisis de cluster basado en la similitud del índice de Bray-Curtis, el cual compara las abundancias entre especies y construye una matriz de distancia. Además, se encuentra fuertemente influido por las especies dominantes y resta importancia a las especies raras (Chao *et al.*, 2006). Por consiguiente, se obtuvieron los porcentajes de similitud (SIMPER), identificando las especies que contribuyeron en mayor medida a la formación de los grupos formados en el cluster. A su vez, se efectuó un Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS), permitiendo representar espacialmente los grupos formados por el cluster. De modo que la distancia entre cada agrupación reflejó mayor o menor similitud, observándose diferencias entre las distintas asociaciones de foraminíferos. Así mismo, se consideró el valor del coeficiente de estrés que oscila entre 0 y 1, midiendo el grado de acierto del gráfico de MDS (<0,05: excelente, <0,1: bueno, <0,2 potencialmente útil) (Carnahan, 2005). Complementariamente, con el fin de soportar estadísticamente los resultados obtenidos a partir del MDS, se desarrolló un análisis de similitudes (ANOSIM), determinando si existen diferencias significativas entre las estaciones con respecto a la composición de especies con un valor $p > 0,05$.

5.4 Relación entre las variables bióticas y metales pesados

Se obtuvieron los promedios de las concentraciones de metales pesados a partir de los rangos de Cadmio, Zinc, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Vanadio y Aluminio, reportados por Valdés *et al.* (2005), junto con la desviación estándar y el coeficiente de variación (Tabla III), pertenecientes a las muestras de sedimento recolectadas con draga y analizadas a diferentes isobatas (10 m, 50 m, 70-75 m y 90-110 m). Posteriormente, se realizó una correlación de esta variable ambiental con los valores del FAI, riqueza y abundancia, a partir de un Modelo Lineal Generalizado (GLM). El cual, se enfoca en una regresión versátil que puede aplicarse tanto para datos normales como no normales. En donde la varianza, considera diferentes tipos de distribución de los datos de la variable respuesta (Bonat & Jorgensen, 2016).

Tabla III. Concentraciones promedio de los metales pesados, extraídos a partir del trabajo descrito por Valdéz *et al.* (2005) para la Bahía de Mejillones. SD = desviación estándar y C.V.(%) = coeficiente de variación.

Estación	T6-10m	T4-10m	T8-10m	T7-10m	T4-50m	T6-50m	T7-50m	T8 50m	T4-75m	T1-75m	T6-70m	T7-75m	T8-75m
Cd	5,95	5,95	11,95	11,95	11,95	23,95	17,95	17,95	29,95	17,95	29,95	23,95	23,95
SD	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
C.V.(%)	29,35	29,35	14,61	14,61	14,61	7,29	9,73	9,73	5,83	9,73	5,83	7,29	7,29
Mo	108,95	54,95	18,95	72,95	54,95	90,95	72,95	54,95	54,95	18,95	54,95	72,95	54,95
SD	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21
C.V.(%)	4,78	9,48	27,50	7,14	9,48	5,73	7,14	9,48	9,48	27,50	9,48	7,14	9,48
Zn	24,95	-	24,95	24,95	14,95	34,95	34,95	34,95	24,95	14,95	34,95	34,95	24,95
SD	2,90	-	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
C.V.(%)	11,63	-	11,63	11,63	19,41	8,30	8,30	8,30	11,63	19,41	8,30	8,30	11,63
V	34,45	20,45	20,45	34,45	34,45	48,45	48,45	62,45	62,45	-	76,45	62,45	48,45
SD	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	-	3,77	3,77	3,77
C.V.(%)	50,57	18,42	18,42	10,94	10,94	7,78	7,78	6,03	6,03	-	4,93	6,03	7,78
Mn	100,95	-	100,95	118,95	82,95	100,95	118,95	118,95	100,95	82,95	82,95	100,95	82,95
SD	5,21	-	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21	5,21
C.V.(%)	5,16	-	5,16	4,38	6,28	5,16	4,38	4,38	5,16	6,28	6,28	5,16	6,28
Ni	7,45	-	12,45	22,45	12,45	22,45	17,45	22,45	27,45	12,45	27,45	17,45	27,45
SD	1,46	-	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
C.V.(%)	19,57	-	11,71	6,49	11,71	6,49	8,35	6,49	5,31	11,71	5,31	8,35	5,31
Al	3860,45	-	3161,45	3860,45	3161,45	4559,95	3860,45	3860,45	3860,45	3161,45	3161,45	3161,45	3161,45
SD	201,80	-	201,80	201,80	201,80	202,09	201,80	201,80	201,80	201,80	201,80	201,80	201,80
C.V.(%)	5,23	-	6,38	5,23	6,38	4,43	5,23	5,23	5,23	6,38	6,38	6,38	6,38

6 . RESULTADOS




6.1 Diversidad taxonómica

Escala espacial

Se registraron 39 especies distribuidas en 18 familias y 6 órdenes. Rotaliida correspondió al orden con mayor cantidad de familias y especies, con 13 y 23 respectivamente. Mientras que Astrorhizida, Miliolida y Textulariia estuvieron representados por 1 sola especie. El género *Bolivina* abarcó la mayor cantidad de especies (7), seguido de *Valvulinera* que incluyó a 4 especies (Tabla IV).

Tabla IV. Composición taxonómica de la comunidad de foraminíferos bentónicos a nivel espacial (estaciones).

Orden	Familia	Género	Especie
Astrorhizida	Stegnamminidae	<i>Hemisphaerammina</i>	<i>Hemisphaerammina</i> sp. Loeblich & Tappan, 1957
Lituolida	Trochamminidae	<i>Deuterammina</i>	<i>Deuterammina</i> <i>rotaliformis</i> (Heron-Allen & Earland, 1911)

		<i>Rotaliammina</i>	<i>Rotaliammina squamiformis</i> (Cushman & McCulloch, 1939)	
		<i>Trochammina</i>	<i>Trochammina</i> sp. Parker & Jones, 1859.	
Miliolida	Hauerinidae	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus, 1758)	
Robertinida	Epistominidae	<i>Epistominella</i>	<i>Epistominella exigua</i> (Brady, 1884)	
		<i>Hoeglundina</i>	<i>Hoeglundina elegans</i> (d'Orbigny, 1826)	
	Anomalinidae	<i>Hanzawaia</i>	<i>Hanzawaia boueana</i> (d'Orbigny, 1846)	
	Bolivinitidae		<i>Bolivina seminuda</i> Cushman, 1911	
			<i>Bolivina ordinaria</i> Phleger & Parker, 1952	
			<i>Bolivina costata</i> d'Orbigny, 1839	
			<i>Bolivina plicata</i> d'Orbigny, 1839	
			<i>Bolivina striatula</i> Cushman, 1922	
			<i>Bolivina earlandi</i> Parr, 1950	
			<i>Bolivina doniezi</i> Cushman & Wickenden, 1929	
		<i>Fursenkoina</i>	<i>Fursenkoina</i> sp. Loeblich & Tappan, 1961	
Rotaliida	Buliminellidae	<i>Buliminella</i>	<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny, 1839)	
	Buliminidae	<i>Bulimina</i>	<i>Bulimina patagónica</i> d'Orbigny, 1839	
	Cancrisidae	<i>Valvulineria</i>	<i>Valvulineria scintillians</i> Coryell & Mossman, 1942	
			<i>Valvulineria inflata</i> (d'Orbigny, 1839)	
			<i>Valvulineria olssoni</i> Redmond, 1953	
				<i>Valvulineria bradyana</i> (Fornasini, 1900)
	Cassidulinidae	<i>Cassidulina</i>	<i>Cassidulina crassa</i> d'Orbigny, 1839	
			<i>Cassidulina laevigata</i> d'Orbigny, 1826	
Cibicididae		<i>Cibicides</i>	<i>Cibicides aknerianus</i> (d'Orbigny, 1846)	
			<i>Cibicides variabilis</i> (d'Orbigny, 1826)	

		<i>Cibicidoides</i>	<i>Cibicidoides wuellerstorfi</i> (Schwager, 1866)
		<i>Cibicidinella</i>	<i>Cibicidella variabilis</i> (d'Orbigny, 1826)
Discorbidae		<i>Discorbis</i>	<i>Discorbis</i> sp. Lamarck, 1804
Haynesinidae		<i>Haynesina</i>	<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob, 1798)
Nonionidae		<i>Nonionoides</i>	<i>Nonionoides grateloupi</i> (d'Orbigny, 1826)
		<i>Nonionella</i>	<i>Nonionella stella</i> Cushman & Moyer, 1930 <i>Nonionella auris</i> (d'Orbigny, 1839)
Rosalinidae		<i>Rosalina</i>	<i>Rosalina cora</i> d'Orbigny, 1839 <i>Rosalina floridana</i> (Cushman, 1922)
Trichohyalidae		<i>Buccella</i>	<i>Buccella frígida</i> (Cushman, 1922)
			<i>Buccella peruviana</i> (d'Orbigny, 1839)
Virgulinelidae		<i>Virgulinea</i>	<i>Virgulinea fragilis</i> Grindell & Collen, 1976
Textularia	Textulariidae	<i>Textularia</i>	<i>Textularia gramen</i> d'Orbigny, 1846

Escala temporal

Se reportaron 31 especies en total, representadas en 15 familias y 5 órdenes. La mayoría de taxa encontrados forman parte del orden Rotaliida (25 especies y 10 familias). A diferencia de Lituolida, Miliolida y Robertinida, quienes se evidenciaron en una familia y un solo género. *Bolivina* y *Cassidulina* abarcaron un mayor número de especies con 5 y 4 respectivamente, seguido de *Nonionella* con 2 especies (Tabla V).

Tabla V. Composición taxonómica de la comunidad de foraminíferos bentónicos a nivel temporal (testigos de sedimento).

Orden	Familia	Género	Especie
Lagenida	Chrysalogoniidae †	<i>Lotostomoides</i>	<i>Fissurina</i> sp. Reuss, 1850
	Ellipsolagenidae	<i>Fissurina</i>	<i>Lotostomoides calomorpha</i> (Reuss, 1866)
Lituolida	Trochamminidae	<i>Rotaliammina</i>	<i>Rotaliammina squamiformis</i> (Cushman & McCulloch, 1939)

		<i>Trochammina</i>	<i>Trochammina plana</i> Egger, 1893
Miliolida	Hauerinidae	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i> (Linnaeus, 1758)
Robertinida	Epistominidae	<i>Epistominella</i>	<i>Epistominella exigua</i> (Brady, 1884)
			<i>Bolivina costata</i> d'Orbigny, 1839
			<i>Bolivina ordinaria</i> Phleger & Parker, 1952
		<i>Bolivina</i>	<i>Bolivina plicata</i> d'Orbigny, 1839
	Bolivinitidae		<i>Bolivina seminuda</i> Cushman, 1911
			<i>Bolivina variabilis</i> (Williamson, 1858)
		<i>Fursenkoina</i>	<i>Fursenkoina</i> sp. Loeblich & Tappan, 1961
		<i>Suggrunda</i>	<i>Suggrunda porosa</i> Hoffmeister & Berry, 1937
	Buliminellidae	<i>Buliminella</i>	<i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny, 1839)
	Buliminidae	<i>Bulimina</i>	<i>Bulimina patagónica</i> d'Orbigny, 1839
			<i>Valvulinera inflata</i> (d'Orbigny, 1839)
Rotaliida	Cancrisidae	<i>Valvulinera</i>	<i>Valvulinera</i> sp. Cushman, 1926
			<i>Cassidulina laevigata</i> d'Orbigny, 1826
			<i>Cassidulina carinata</i> Silvestri, 1896
	Cassidulinidae	<i>Cassidulina</i>	<i>Cassidulina crassa</i> d'Orbigny, 1839
			<i>Cassidulina</i> sp. d'Orbigny, 1826
	Cibicididae	<i>Cibicidinella</i>	<i>Cibicidinella variabilis</i> (d'Orbigny, 1839)
			<i>Nonionella stella</i> Cushman & Moyer, 1930
		<i>Nonionella</i>	<i>Nonionella auris</i> (d'Orbigny, 1839)
	Nonionidae	<i>Nonionoides</i>	<i>Nonionoides grateloupi</i> (d'Orbigny, 1826)
		<i>Pseudononion</i>	<i>Pseudononion japonicum</i> Asano, 1936
		<i>Biarritzina</i>	<i>Biarritzina</i> sp. Loeblich & Tappan, 1964
	Rosalinidae	<i>Rosalina</i>	<i>Rosalina cora</i> d'Orbigny, 1839

		<i>Rosalina floridana</i> (Cushman, 1922)
Trichohyalidae	<i>Buccella</i>	<i>Buccella peruviana</i> (d'Orbigny, 1839)
Virgulinelidae	<i>Virgulinea</i>	<i>Virgulinea fragilis</i> Grindell & Collen, 1976

6.2 Morfogrupos

La forma del caparazón predominante tanto a nivel espacial como temporal correspondió a la trocoespiral (35% espacial y 54% temporal). Los caparazones uniseriales/biseriales estuvieron representados en un 32% de las especies a nivel espacial. Mientras que la forma biserial se reflejó en el 26% a escala temporal. Se observó un 25% (Figura 5 a) y 15% (Figura 5 b) de especies con formas planispirales. Además de caparazones en forma Miliolina y esférica en ambas escalas con bajas proporciones (2% y 3%) (Figura 5).

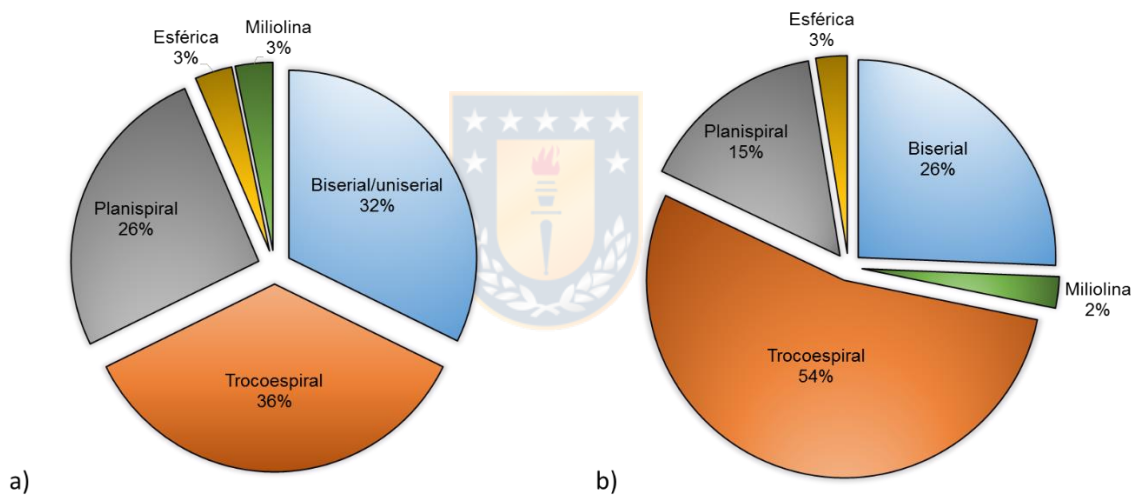


Figura 5. Morfogrupos encontrados en las muestras a nivel espacial (a) y temporal (b).

6.3 Abundancia y zonación de especies

Bolivinitidae correspondió a la familia más abundante en ambas escalas, siendo dominante en mayor proporción a nivel temporal (58%). Buliminellidae fue la segunda familia con mayor número de individuos, registrándose en un 29% y 18% a escala espacial y temporal, respectivamente. Las familias Cassidulinidae y Trochamminidae estuvieron representadas en menor abundancia a nivel espacial (3% y 6%, respectivamente). Similar lo reportado temporalmente, en donde Cassidulinidae arrojó una abundancia del 4% y Epistominidae con 6% (Figura 6).

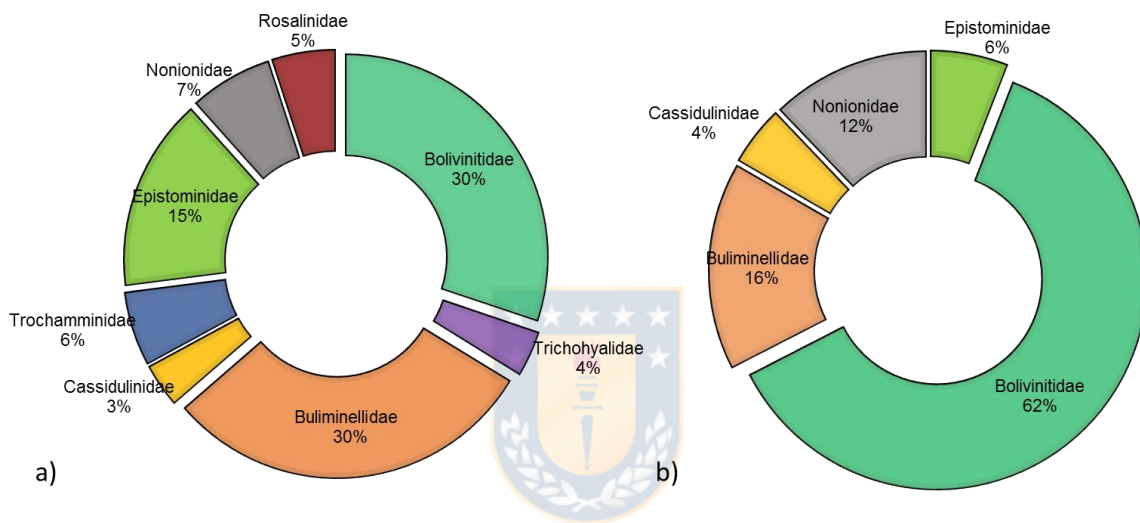


Figura 6. Abundancia (%) de las familias de foraminíferos encontradas. a) escala espacial y b) escala temporal.

Escala espacial

Las especies dominantes en la isobata de 10 m, correspondieron a *B. elegantissima*, *B. seminuda*, *R. cora*, *R. squamiformis*, *E. exigua*, *B. peruviana*, *C. crassa*, *N. stella*, *N. auris*, *H. depressula*, *Q. seminula* y *B. doniezi*. Quienes contribuyeron entre un 79% y 92% de la abundancia total en cada estación. En T4, el 38% de individuos estuvo reflejada por *B. elegantissima*, mientras que en T6, *R. cora* se registró con un 31%. En la estación T7 se evidenció la mayor abundancia por parte de *B. elegantissima* (23%), a diferencia de T8, en donde se reportó una dominancia del 62% de la especie *H. depressula*. Finalmente, la estación BMS registró a *R. squamiformis* como la más abundante (41%) (Figura 6).

Con respecto a la isobata de 50 m, las especies dominantes contribuyeron entre un 81% y 95% de la abundancia total. Siendo fuertemente predominantes *B. seminuda*, *B. elegantissima*, *E. exigua*, *B. peruviana*, *C. crassa* y *N. stella*. Mientras que *R. floridana* y *C. laevigata* se observaron en mayor proporción únicamente en la

estación T8 FDI (16% y 12%, respectivamente). La dominancia de *B. elegantissima* por su parte, estuvo representada entre el 50 y 60% de la abundancia total en tres de las cuatro estaciones (T4, T6 y T7) (Figura 7).

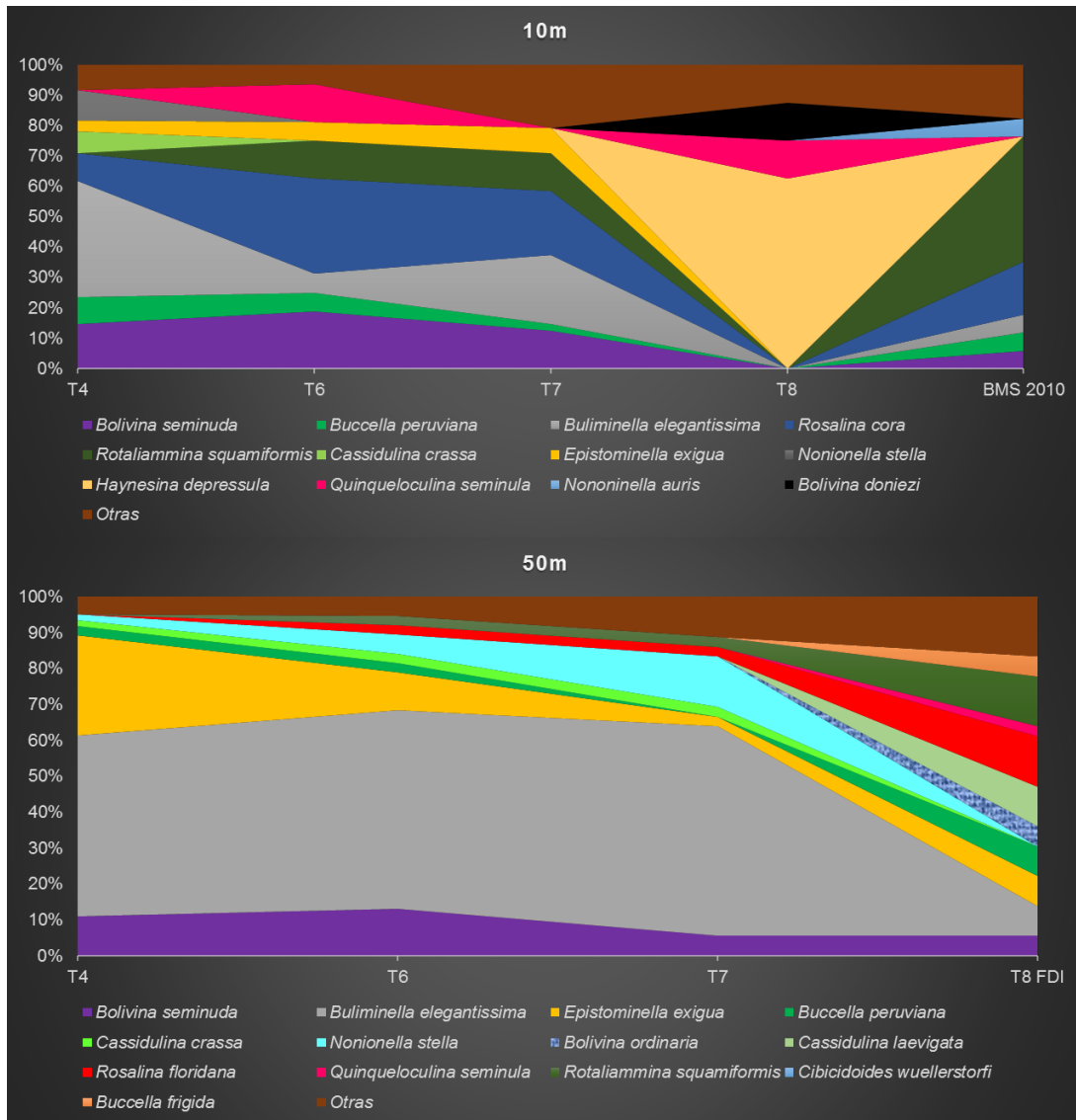


Figura 7. Abundancia (%) de las especies predominantes en las muestras de la isobata de 10 m y 50 m.

Con relación a la abundancia en la isobata de 70 m, *B. elegantissima* y *B. seminuda* reflejaron el 29% y 24% de la abundancia total en la estación T1. Mientras que en T4 el 35% de los individuos correspondió a *B. elegantissima*. Diferente a las estaciones anteriormente descritas, T6 y T7 registraron una dominancia por parte de *N. stella* del 26% y 28%, respectivamente, seguido de las abundancias de *B. seminuda*, y *Fursenkoina* sp. Mientras que la estación T8 mostró una proporción del 21% en *B. elegantissima* (Figura 7). Finalmente, la isobata de 90 m-110 m registró

una dominancia del 27% de *Trochammina* sp. para la estación BMS 2010- 90 m. En contraste con el punto BMS 2010-100 m, en donde *B. seminuda* está representada por el 30% del número de individuos. Esta última especie mencionada, reflejó una fuerte dominancia del 73% en BMS 2010-110m, Seguido de un 5% correspondiente a *E. exigua* (Figura 8).

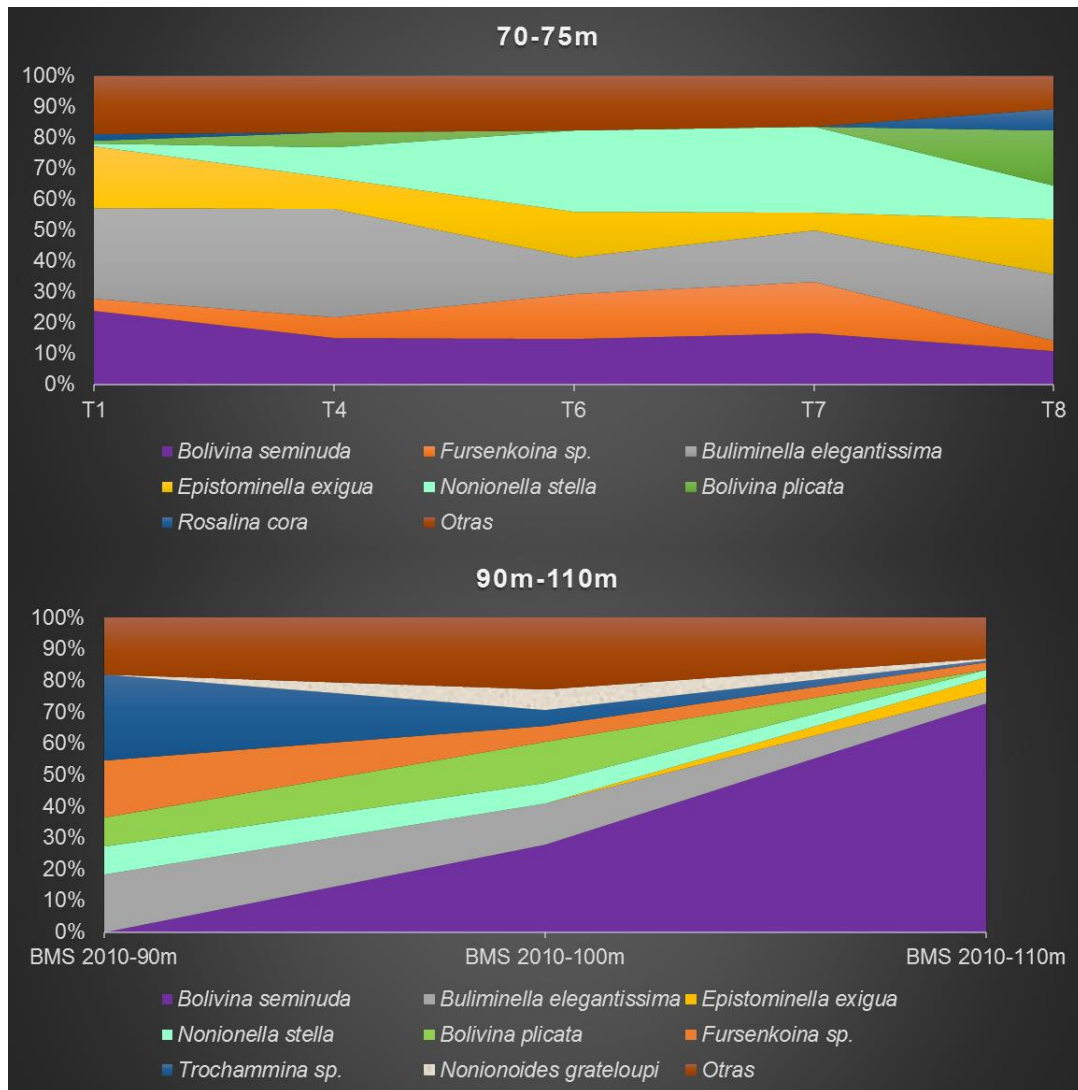


Figura 8. Abundancia (%) de las especies predominantes en las muestras de la isobata de 70-70 m y 90-110 m.

Escala temporal

Con respecto a la abundancia de foraminíferos en los testigos de sedimento, el primer centímetro de la columna Z1A evidenció una fuerte dominancia de *B. seminuda* de 64%, seguido de *N. stella* con un 24%. Mientras que en los centímetros 2 y 3, la abundancia de *Fursenkoina* sp. incrementó a 26% y 22% respectivamente. Seguido de *B. seminuda*, que reflejó con una proporción del 23% y 20%. Esta misma tendencia se observó entre los 4 y 8 cm de la columna del sedimento, además de *N. stella* que representó entre el 10 y 21% de la abundancia total (Figura 9).

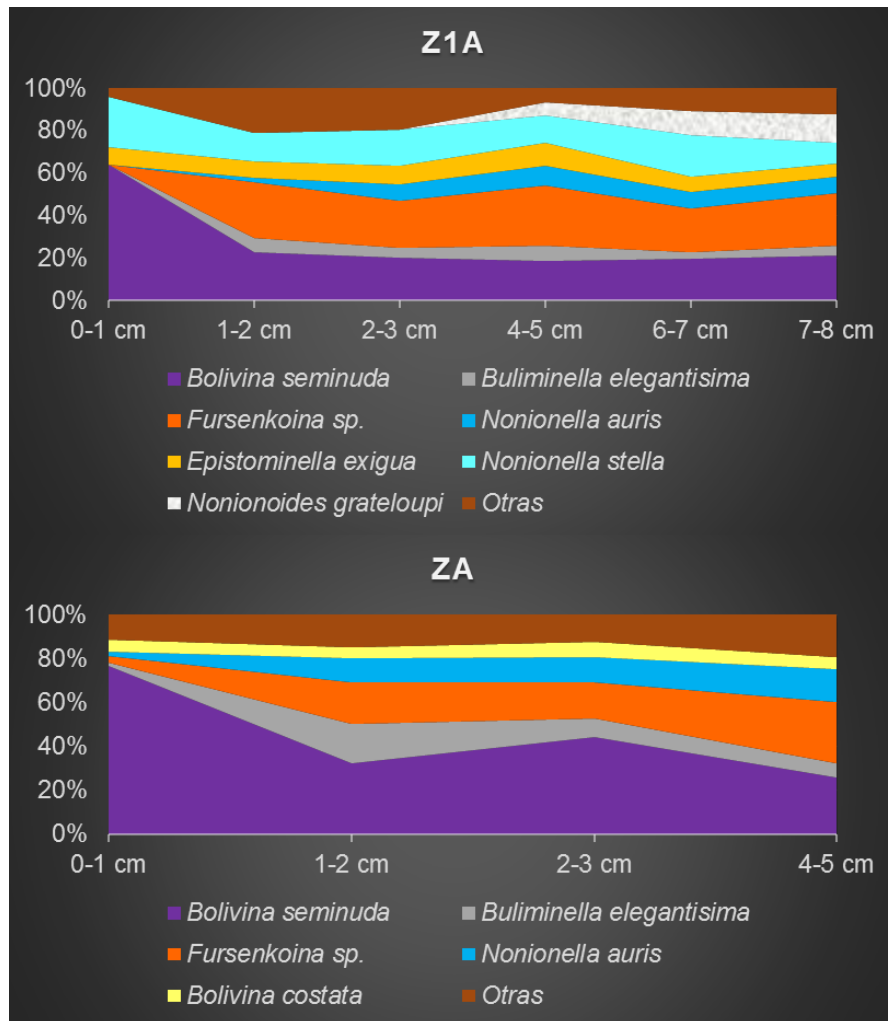


Figura 9. Abundancia (%) de las especies predominantes del testigo Z1A y ZA.

Por otra parte, en el testigo ZA se observó una mayor dominancia de *B. seminuda* con un 77%, en el estrato más superficial. En el centímetro 2, la abundancia de *B. seminuda* disminuyó a un 32% y la proporción de *B. elegantissima* y *Fursenkoina* sp., aumentó a 18% y 19%, respectivamente. En el estrato de 2-3 cm, el 44% de la abundancia total estuvo representado por *B. seminuda*. En contraste con lo evidenciado entre los 4 y 5 cm, donde la abundancia de *Fursenkoina* sp. y *B. seminuda* fue muy similar (del 28% y 26%, respectivamente) (Figura 9).

6.4 Anormalidades

6.4.1 Índice de anomalidad en foraminíferos (FAI)

En general, el FAI mostró valores muy variables en las estaciones de muestreo. En la isobata de 10 m el valor máximo de anomalidad fue de 6,25, correspondiente a la estación T6. Mientras que en T8 este índice fue de 0. En la isobata de 50 m, la estación T8 FDI evidenció el índice más alto con 16. Por otra parte, entre los 70-75 m de profundidad se reflejó un índice de anomalidad de 5% perteneciente a la estación T7. Similar a lo reflejado entre los 90-110 m, en donde los valores fueron de 4 y 5 para las estaciones de 90 m y 100 m, respectivamente (Figura 10a).

Con respecto a la escala temporal, se registraron índices de anomalidad mayores en el testigo Z1A en comparación con ZA, sobre todo en los 2 primeros centímetros del testigo. Siendo de 11% para el estrato de 0-1cm y de 4% entre 1-2 cm. Los valores más bajos fueron registrados para entre el centímetro 1 y 2 del testigo ZA (0,22) y de 0,25 para el estrato de 2-3 cm de Z1A (Figura 10b).

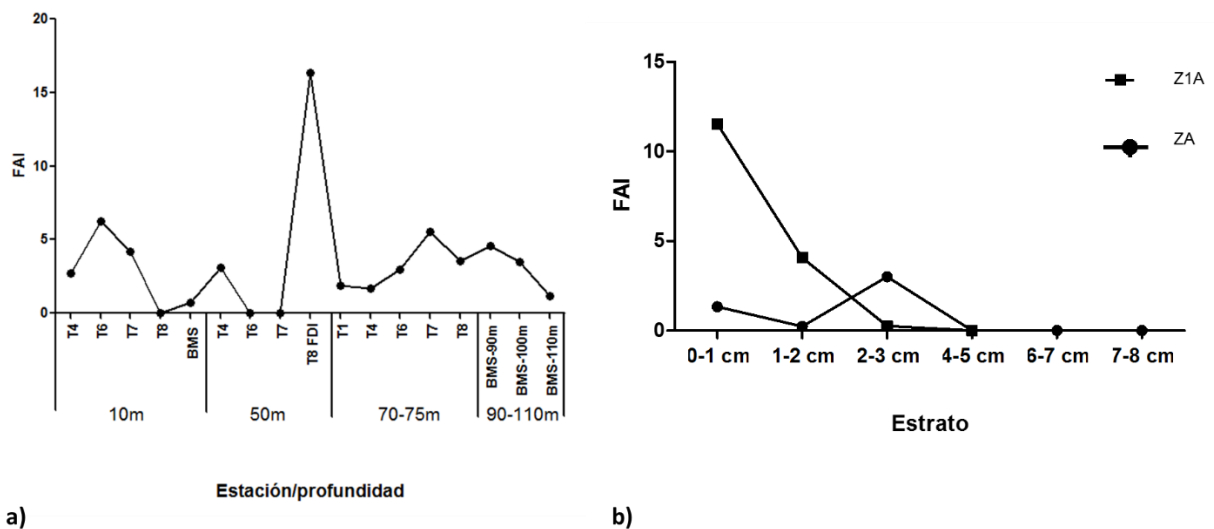


Figura 10. Valores del FAI (%) estimados para las muestras espaciales (a) y temporales (b).

Escala espacial

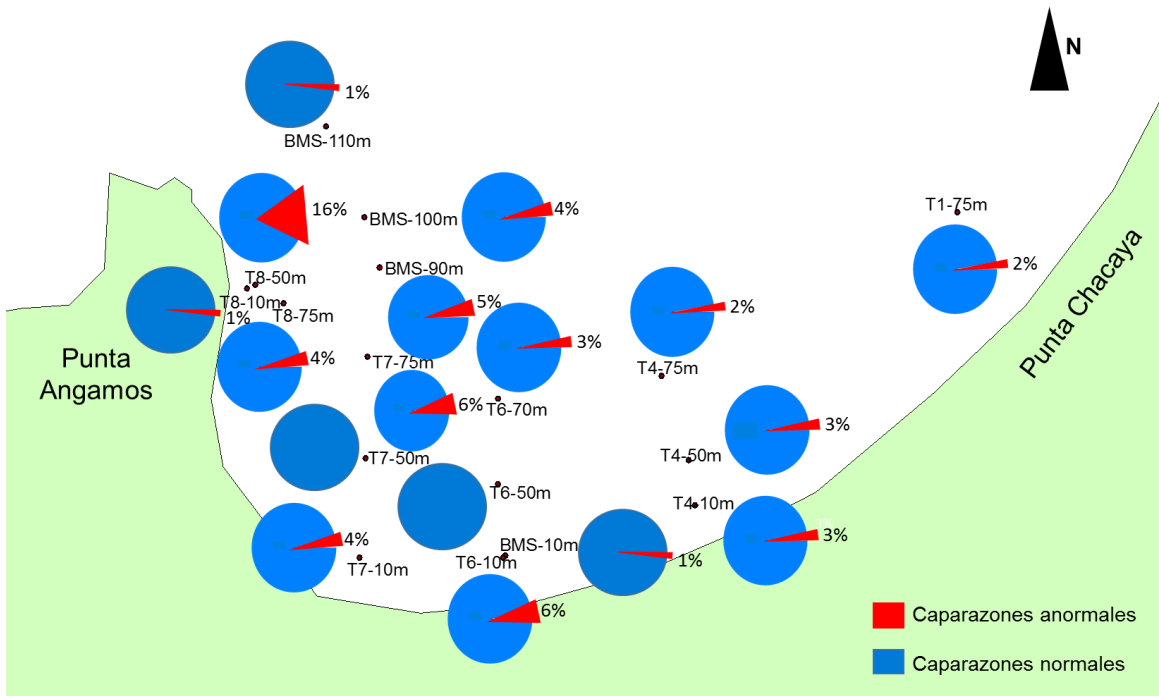


Figura 11. Proporción de caparazones anormales y normales (%) en cada estación de muestreo.

En cuanto a la distribución espacial de los caparazones normales y anormales, se evidenció una mayor tendencia a registrarse individuos anómalos (entre el 4% y 16%), frente a la zona de Punta Angamos. Mientras que en las estaciones próximas al área de Punta Chacaya, se estimaron menores porcentajes de caparazones anómalos (entre 2% y 3%). Sin embargo, las estaciones ubicadas en los puntos más extremos de la bahía, mostraron valores bajos de anomalía (T1-75 m y BMS-110 m) (Figura 11).

Con respecto a las especies que registraron una mayor cantidad de anomalías en el caparazón, se encontró a *B. elegantissima* con la mayor proporción de caparazones anómalos, representando el 29% de los caparazones anómalos en total. *E. exigua* de manera similar, se registró con un valor relativamente alto con un 19%. Además de un 16% de anomalías reportadas, correspondientes a *B. seminuda*. A diferencia de lo anterior, *H. depressula*, *Discorbis* sp. y *V. fragilis* mostraron una baja proporción de anomalías (1%) (Figura 12).

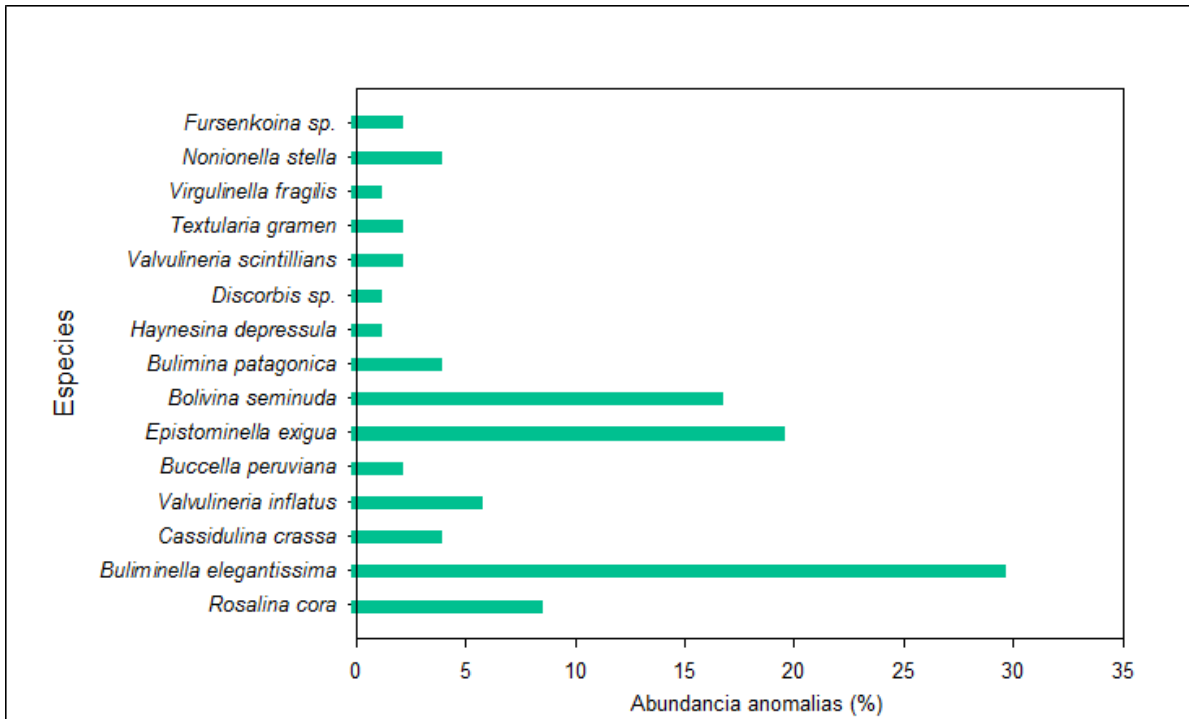


Figura 12. Abundancia de anomalías en cada especie registrada en las estaciones de muestreo.



Escala Temporal

Se registraron valores de anomalía en los caparazones de foraminíferos en los sedimentos más superficiales (tres primeros centímetros). Sin embargo los porcentajes variaron considerablemente entre ambos testigos, reflejándose mayores proporciones en el testigo Z1A (12%) en comparación al ZA (3%). Además, en los estratos más profundos (entre 4 y 8cm), hubo una ausencia de caparazones anómalos en los dos testigos de sedimento (Figura 13).

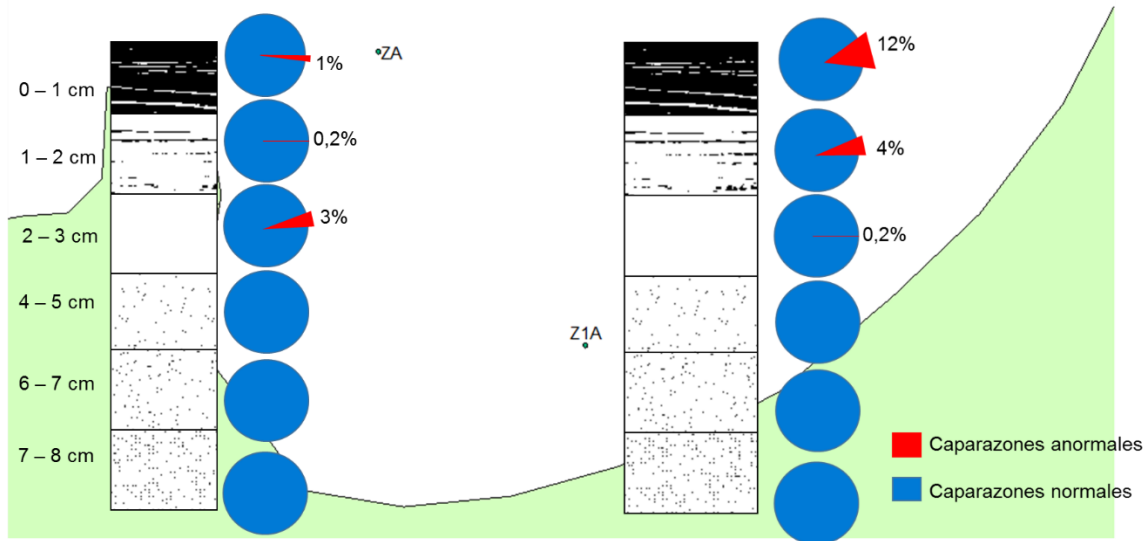


Figura 13. Proporción de caparazones anormales y normales (%) en cada estrato de los testigos ZA y Z1A.

El mayor número de anomalías estuvo reflejado por *B. seminuda*, correspondiendo al 78% del total de caparazones anómalos (Figura 13 y 15). La segunda especie con mayor proporción de anomalía fue *B. plicata* con el 4%, seguido de *C. laevigata* con el 3%. Mientras que *B. striatula*, *C. variabilis*, arrojaron los porcentajes más bajos (0,56% cada una) (Figura 14).

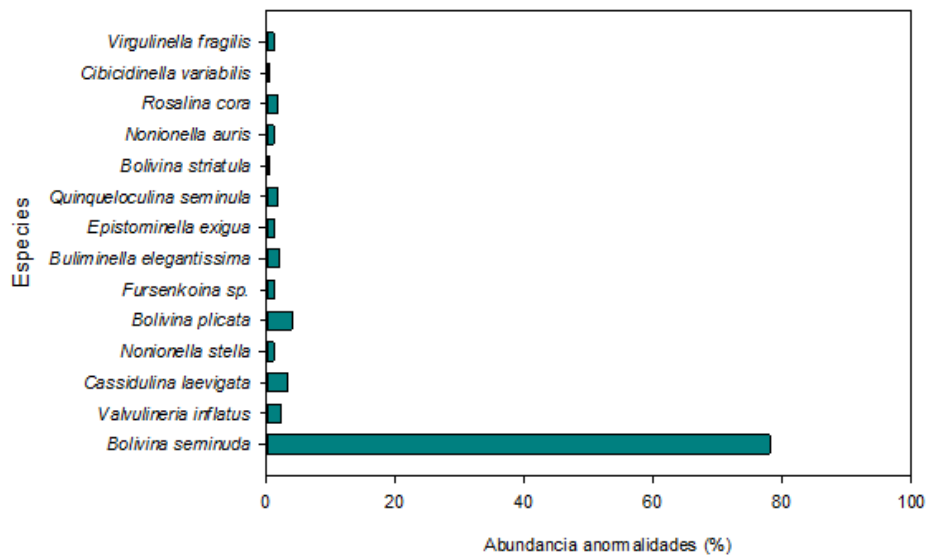


Figura 14. Abundancia de anomalías en cada especie registrada en los estratos de los testigos de sedimento.

6.4.2 Porcentaje mínimo (Pmin) y máximo de anomalía (Pmax)

Los valores máximos de anomalía (Pmax) se evidenciaron en la isobata de 50 m (T8 FDI) y en el primer centímetro del testigo Z1A, similar a lo reportado en la estación BMS 2010-90 m. Por otro lado, los valores mínimos de anomalía más bajos fueron registrados en las estaciones BMS 2010-10 m, T1-70-75 m y BMS 2010-110 m con valores de 1. Mientras que en los testigos de sedimento el Pmin más bajos se estimaron en el estrato de 1-2 cm ZA y en el de 2-3 cm Z1A, arrojando valores de 0,2 (Tabla VI).

Tabla VI. Valores mínimos (Pmin) y máximos (Pmax) de anomalía en foraminíferos para cada escala. (*) Valores menores o iguales a 1 no considerados como valores de estrés.

Estación	Escala espacial															Escala temporal							
	10m			50m				70-75m				90-110m				ZA	Z1A	ZA	Z1A	ZA	Z1A		
	T6	T4	BMS 2010	T8	T7	T4	T6	T7	T8 FDI	T4	T1	T6	T7	T8	BMS 2010-110m	BMS 2010-90m	BMS 2010-100m	0-1cm	0-1cm	1-2cm	1-2cm	2-3cm	2-3cm
Pmin	6	0	1*	0	2	2	0	0	6	2	1*	3	5	4	1*	9	2	1*	4	0,2*	3	2	0,2*
Pmax	6	3	1*	0	4	3	0	0	12	2	2	3	5	4	1*	9	2	1*	11	0,2*	4	3	0,2*

6.4.3 Tipos de anomalías

Se observó una variación en la proporción de cada tipo de anomalía entre las muestras a escala espacial y temporal. En donde la descalcificación de los caparazones fue la anomalía mayormente evidenciada a nivel espacial (36%), opuesto a lo encontrado a nivel temporal, reportándose solo en un 2%. El enrollamiento distorsionado fue igualmente común tanto espacial como temporalmente, registrando valores de 24% y 39% respectivamente. La reducción en el tamaño de las cámaras se observó en una mayor proporción de caparazones a una escala temporal (19%), en comparación a la escala espacial (5%). Así mismo, la presencia de aberturas doble fue mayor en los testigos de sedimentos que en las estaciones de muestreo. Mientras que tanto las proporciones de cicatrices como de cámaras adicionales fue prácticamente igual en ambas escalas (Figura 15).

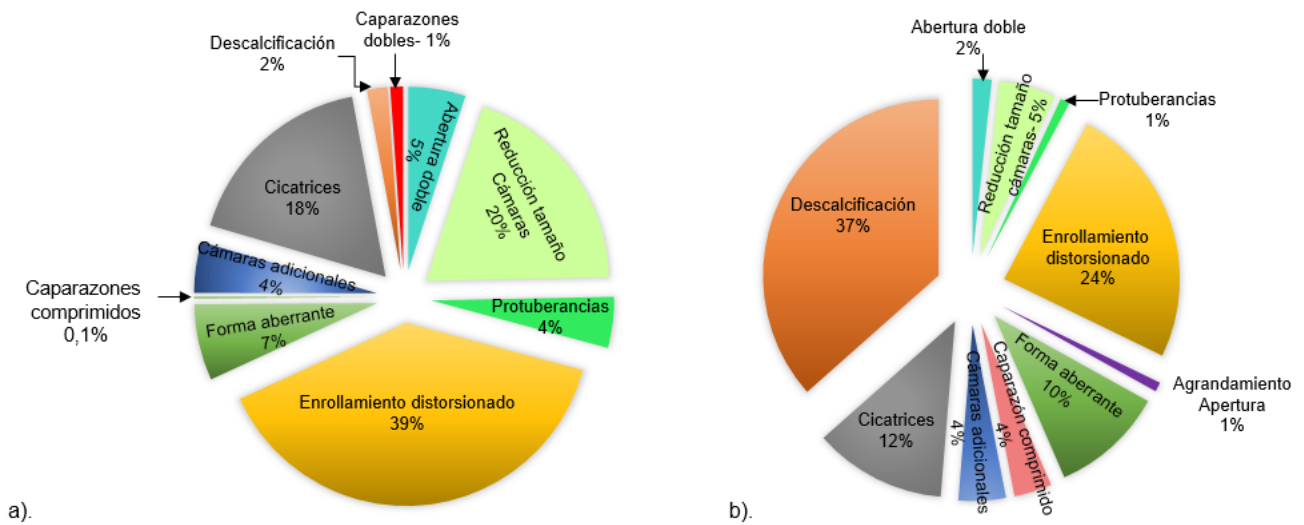


Figura 15. Tipos de anomalías en foraminíferos registrados en muestras temporales (a) y espaciales (b).

B. seminuda fue la especie que presentó la gran mayoría de tipos de anomalías, registrándose cicatrices, reducción del tamaño de las cámaras, descalcificación, aberturas dobles y cámaras adicionales (Figura 16). Otras especies como *B. elegantissima*, *B. plicata*, *E. exigua*, *Q. seminula* y *T. gramen* registraron cicatrices. Además de descalcificación en *B. elegantissima*, *V. fragilis*, *R. cora*, *C. crassa* y *E. exigua*, enrollamiento distorsionado en *N. stella*, *E. exigua*, *B. peruviana* y *B. patagónica*. Los caparazones aberrantes por su parte, estuvieron evidenciado en *R. cora*, *V. inflatus*, *B. peruviana* y *Discorbis* sp. Las protuberancias fueron encontradas en especies como *R. cora* y *E. exigua*, agrandamiento de la abertura en *H. depressula*. Las cámaras adicionales se registraron en *N. gratelopupi*, *V. inflatus*, y *R. cora* (Figura 17a y b).

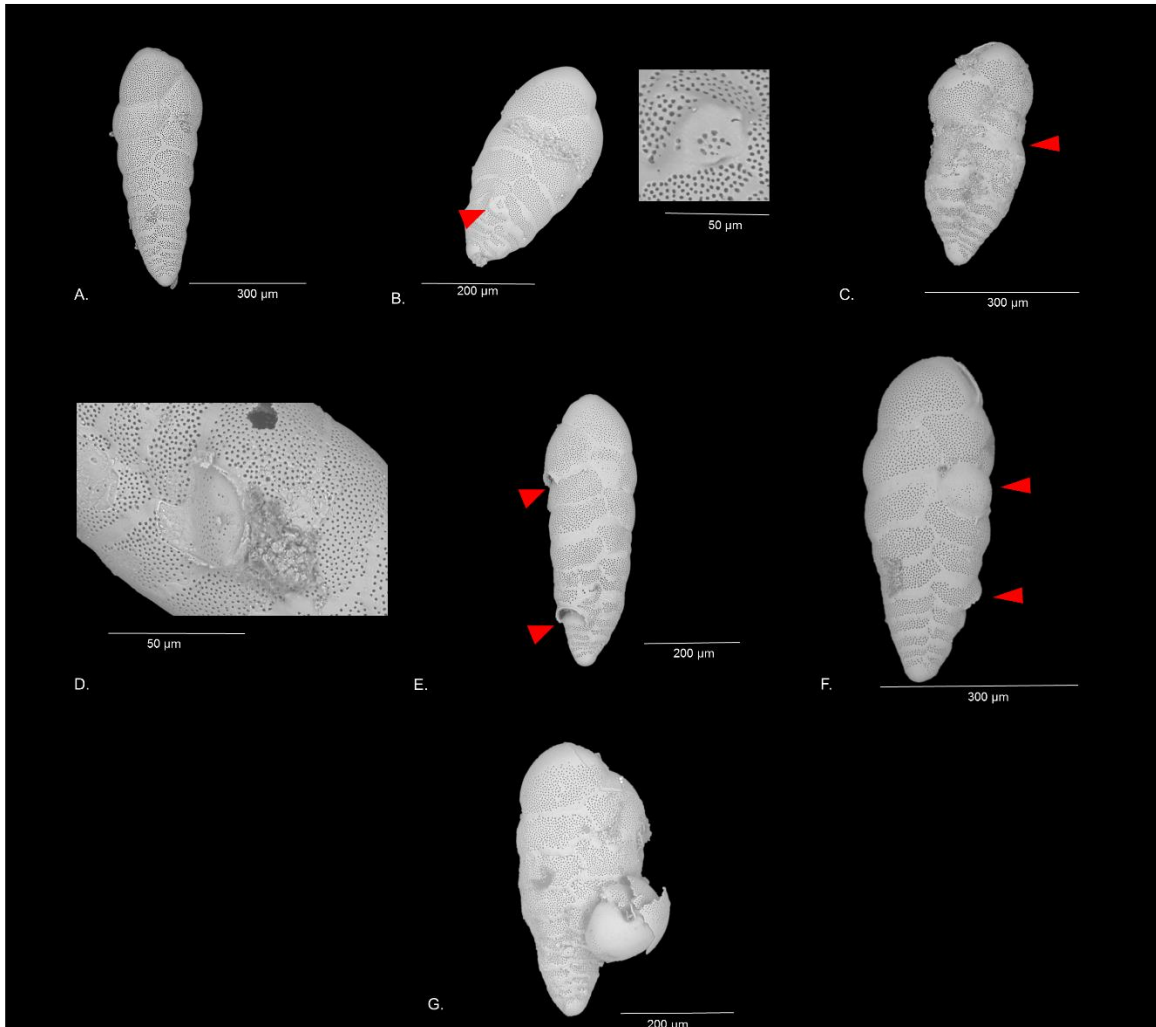


Figura 16. A) Caparazón de *B. seminuda* sin anomalía. Tipos de anomalías registradas en el caparazón de *B. seminuda*: B) Cicatriz, C) Reducción del tamaño de las cámaras, D) Descalcificación, E) Abertura doble, F) y G) Cámara adicional. (Imagen tomada por Lucila Moreno, 2018).

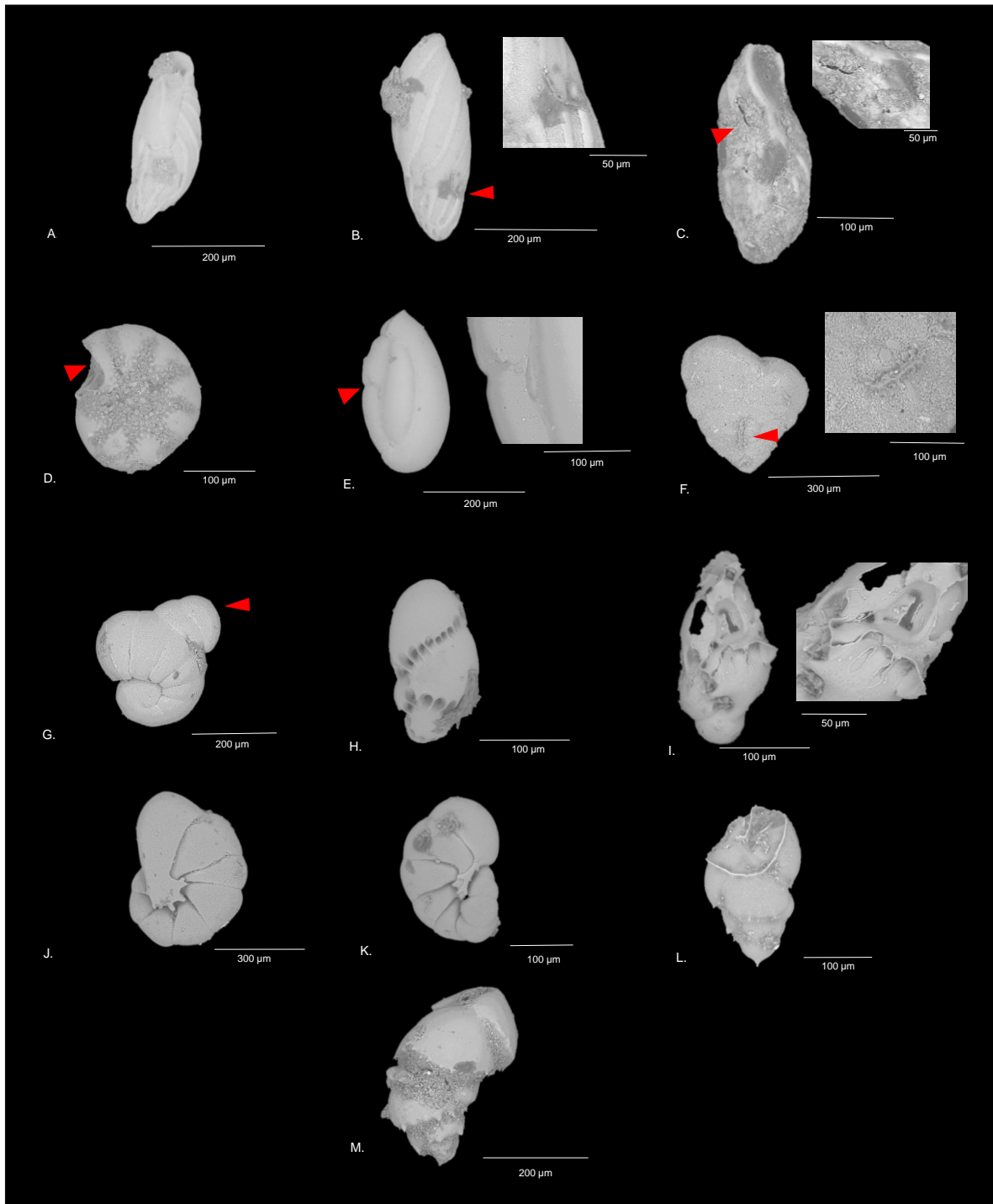


Figura 17a. A) Caparazón sin anomalía de *B. elegantissima*, B) Cicatriz en *B. elegantissima*, C) Descalcificación en *B. elegantissima*, D) Agrandamiento de abertura en *H. depressula*, E) Cicatriz en *Q. seminula*, F) Cicatriz en *T. gramen*, G) Cámaras adicionales en *N. grateloupi*, H) Caparazón sin anomalía de *V.*

fragilis, I) Descalcificación de *V. fragilis*, J). Caparazón sin anomalía de *N. stella*, K) Enrollamiento distorsionado en *N. stella*, L) Caparazón sin anomalía de *B. patagonica*, M) Enrollamiento distorsionado de *B. patagonica*. (Imagen tomada por Lucila Moreno, 2018).

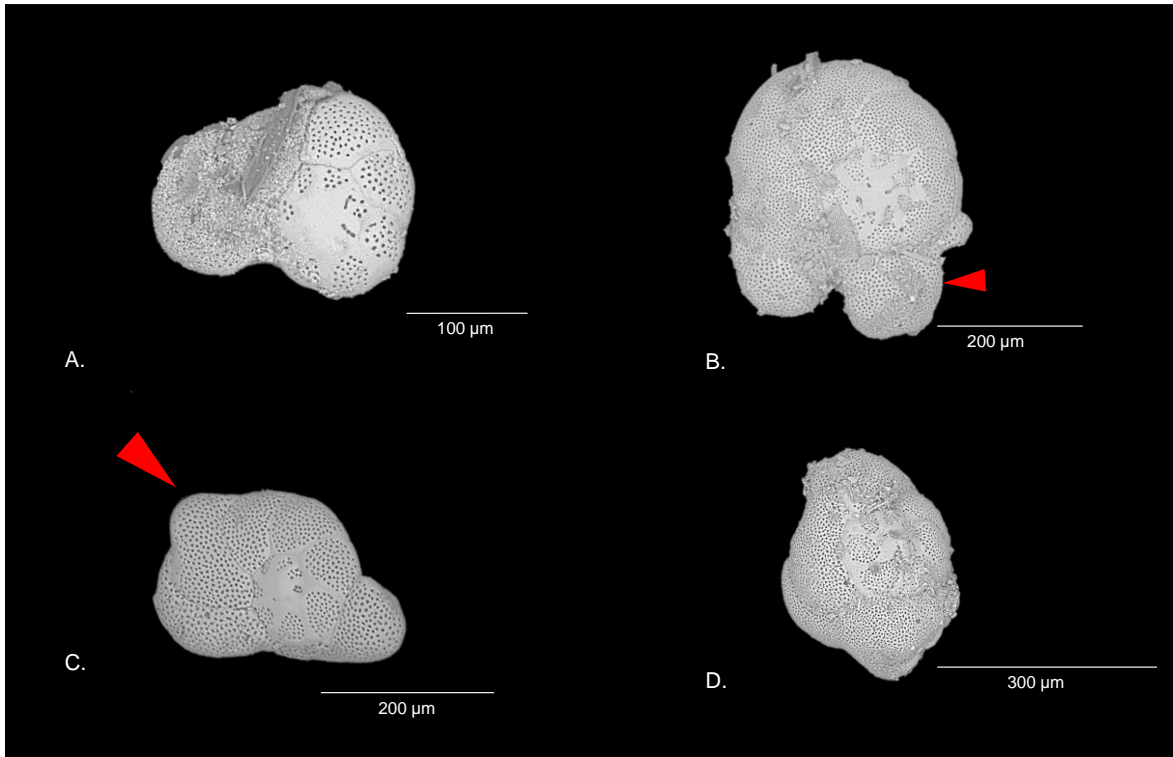


Figura 17b. A) Caparazón sin anomalía de *R. cora*. Tipos de anomalías registradas en el caparazón de *R. cora*: B) Cámaras adicionales, C) Protuberancias y D) Forma aberrante. (Imagen tomada por Lucila Moreno, 2018).

6.5 Diversidad

Escala espacial

La mayor diversidad de Shannon-Weiner (H') estuvo representada por las estaciones T8-50 m, BMS 2010-100 m, T8-75 m y T7-10 m, con valores entre 2,08 y 2,60). A diferencia de los sitios T8-10 m, BMS-110 m y T7-50 m, donde se reportó la menor diversidad. La dominancia estuvo mayormente evidenciada en las estaciones BMS 2010-110 m y T8-10 m con valores de 0,54 y 0,44, respectivamente, mientras que T8-75 m y T7-10 m arrojaron una menor dominancia. La mayor riqueza de especies se observó en BMS 2010-110 m (17), T8-50 m, T4-50 m y T1-75 m cada con 16 especies (Tabla VII).

Tabla VII. Riqueza de especies (S), Índice de Shannon-Wiener (H') y Simpson (D) para cada estación, ubicadas en las diferentes isobatas.

Estación	Isobata	S	H'	D
T4	10 m	11	1,94	0,20
T6		8	1,89	0,18
T7		11	2,08	0,15
T8		4	1,07	0,44
BMS 2010		9	1,84	0,22
T8	50 m	16	2,60	0,09
T4		16	1,43	0,35
T7		9	1,42	0,39
T6		9	1,48	0,36
T8	75 m	10	2,09	0,14
T4	75 m	11	2,01	0,18
T6	70 m	7	1,87	0,17
T7	75 m	7	1,82	0,18
T1	75 m	16	1,99	0,19
BMS 2010	90 m	7	1,85	0,17
BMS 2010	100 m	11	2,09	0,16
BMS 2010	110 m	17	1,25	0,54

Escala temporal

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Weiner (H') fueron elevados entre los 4 y 8 cm de profundidad, siendo de 2,13 y 2,15, mientras que la dominancia fue menor comparada con los demás estratos. Opuesto a lo encontrado en el centímetro más superficial de ambos testigos, en donde se evidenciaron valores más bajos (1,01 y 1,09) y una mayor dominancia (0,60 y 0,44). La mayor riqueza correspondió a 19 y 20 especies, representada entre el estrato de 1 a 5 cm del testigo ZA y entre 4-5 cm de Z1A (Tabla VIII).

Tabla VIII. Riqueza de especies (S), Índice de Shannon-Wiener (H') y Simpson (D) para cada estrato de los testigos de sedimento.

Testigo	Estrato	S	H'	D
ZA	0-1 cm	15	1,01	0,60
	1-2 cm	20	1,88	0,19
	2-3 cm	19	1,81	0,25
	4-5 cm	19	1,95	0,19
Z1A	0-1 cm	5	1,09	0,44
	1-2 cm	13	1,92	0,19
	2-3 cm	14	1,96	0,18
	4-5 cm	20	2,13	0,16
	6-7 cm	17	2,15	0,15
	7-8 cm	13	2,13	0,15

6.6 Similitud

6.6.1 Análisis de Cluster

Escala espacial

A partir de los valores del índice de Bray Curtis, se formaron 4 agrupamientos con mayor similitud entre estaciones. En donde se estimó una semejanza del 60% entre la mayoría de puntos de la isobata de 10 m y T8-50 m, conformando el primer grupo, en donde las especies *B. elegantissima* y *R. cora*, contribuyeron en mayor proporción a la formación de dicho grupo (contribución del 13,86 y 8,08%, respectivamente).

La segunda agrupación estuvo representada por las estaciones BMS 2010-90 m, BMS 2010-100 m, 76-70m y T7-75 m, arrojando una similitud del 50% y un valor aún más elevado entre los dos puntos de la isobata de 70-75 m (85%). *B. seminuda* y *E. exigua*, contribuyeron en mayor medida a la formación de este grupo, con un 20% y 10%, respectivamente.

De manera similar, el tercer grupo, reflejó un 57% de similitud entre dos puntos de la isobata de 50 m y dos de 70-75 m, formándose además dos subgrupos con un 70 y 75% de semejanza. *B. elegantissima* y *E. exigua* por su parte, aportaron el 13,39% y 10,47%, respectivamente a la creación de dicho grupo. Finalmente, el cuarto grupo estuvo formado por una estación de cada isobata, evidenciando una similitud del 45% y un subgrupo entre T4-10 m y T1-75 m, arrojando una similitud del 68%. En donde *B. seminuda* aportó al 13% y *E. exigua* al 10% a la formación del grupo (Figura 18).

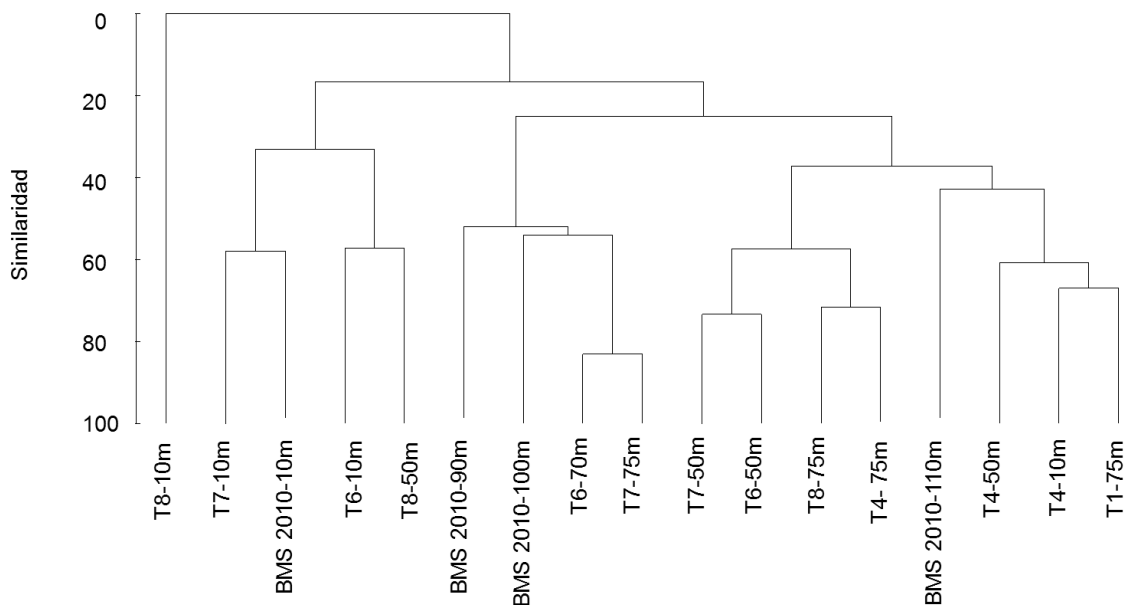


Figura 18. Cluster de similitud con respecto a las abundancias de las especies de foraminíferos registradas en las 17 estaciones (escala espacial).

Escala temporal

La similitud de Bray Curtis reflejada en el cluster evidenció la formación de tres grupos, el primero conformado por los primeros 3 centímetros del testigo ZA, con una similitud del 65% y un valor aún más elevado en el subgrupo de 1-2 cm y 2-3 cm ZA (77%). Además de ser *B. seminuda* y *B. elegantissima* las que contribuyeron mayormente a la formación de este grupo con un 53% y 18%, respectivamente. El segundo grupo, estuvo representado desde el primer hasta el tercer centímetro del testigo Z1A, registrándose una similitud del 84%, en el que *B. seminuda* y *B. elegantissima* aportaron en mayor medida a la formación de este grupo (34,57% y 18,31, respectivamente). Por último, en el cuarto grupo se encontró a los últimos 4 centímetros del testigo Z1A y el estrato 4-5 cm de ZA, con una similitud del 66%. Los estratos de Z1A conformaron un subgrupo con una semejanza del 75% (Figura 19), en donde *N. stella* aportó en un 27,31% y *B. elegantissima* con 26,16%.

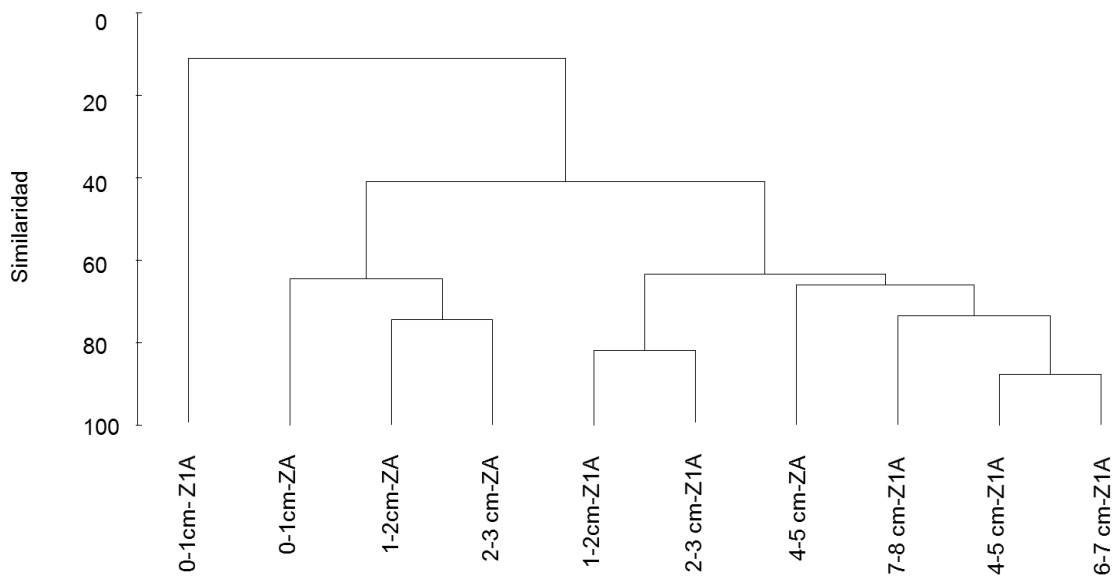


Figura 19. Cluster de similitud con respecto a las abundancias de las especies de foraminíferos registradas en los estratos de cada testigo de sedimento (escala temporal).



6.6.2 Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS)

Escala espacial

Al ubicar espacialmente los valores de similitud, se observó que no hay una diferenciación aparente de grupos, por lo que las estaciones se evidencian mezcladas entre sí. A excepción de T8-10 m, la cual se ubicó distante de las demás estaciones (Figura 20), corroborando el bajo porcentaje de similitud observado en el cluster (Figura 18). El ANOSIM arrojó un valor de R igual a 0,01 y un valor p de 0,38, por lo que indico que no existen diferencias significativas entre y dentro de los grupos.

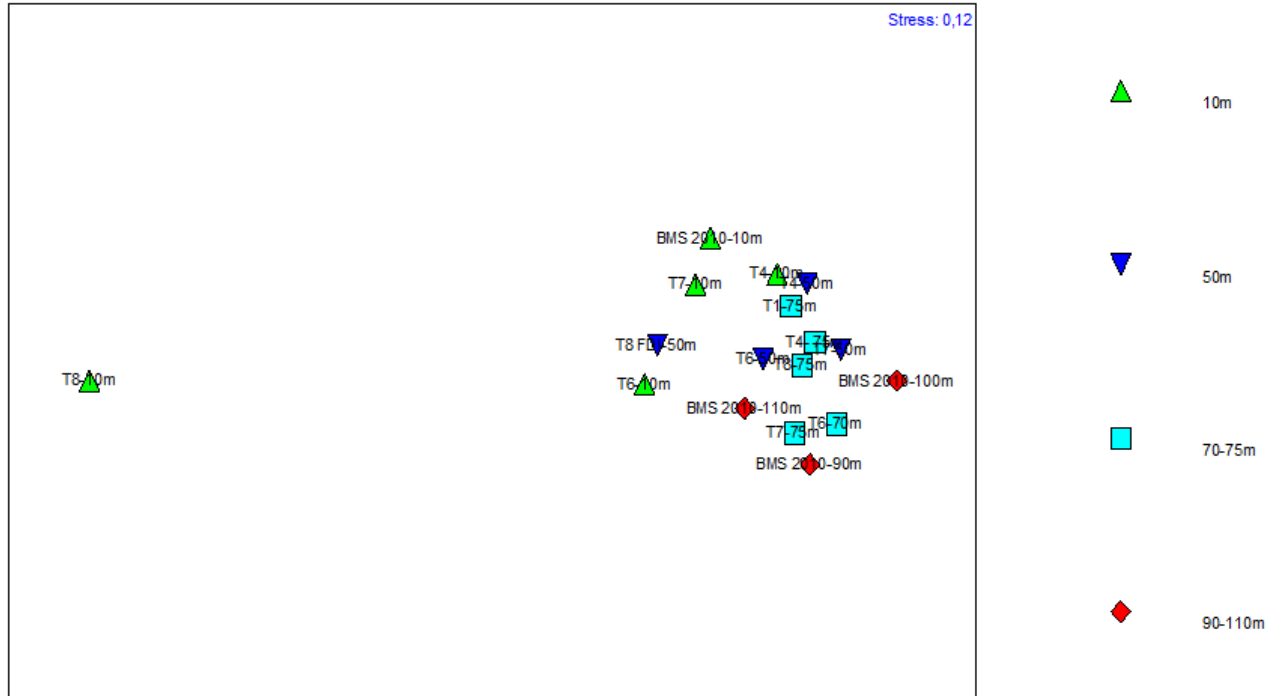


Figura 20. Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) con respecto a la abundancia reportada en cada isobata (escala espacial).

Escala temporal

La similitud reflejada espacialmente en el gráfico MDS, mostró que no hay diferenciación alguna entre estratos ni testigos, por lo que todos los estratos se encuentran hacinados entre sí, excepto el estrato más superficial del testigo Z1A. El cual se observó aislado de las demás muestras (Figura 21), lo que confirma el alto porcentaje de disimilitud de este estrato con los restantes (Figura 19). El ANOSIM evidenció un valor R de -0,06 y un valor p de 0,62, lo que corroboró que no hay diferencias significativas entre y dentro de los grupos.

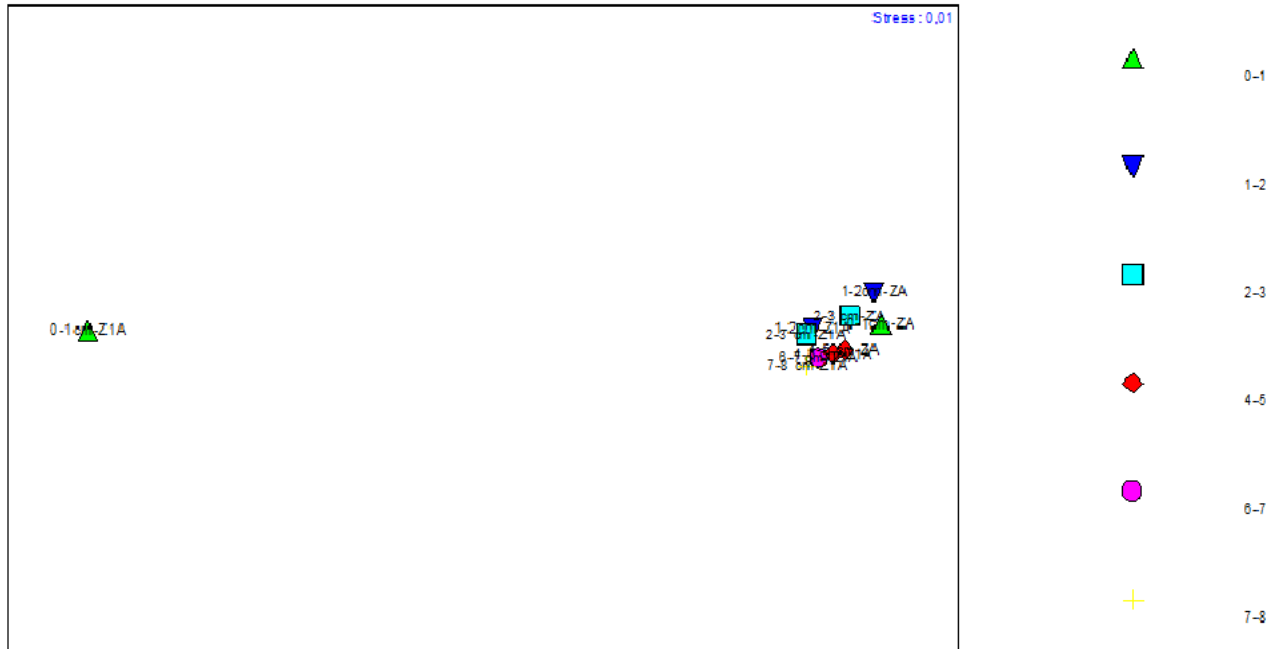


Figura 21. Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) con respecto a los estratos de cada testigo (escala temporal).

6.7. Relación entre las variables bióticas y metales pesados

De acuerdo con la estimación del GLM, se logró evidenciar que existe una correlación positiva entre el Índice de Anormalidad de Foraminíferos (FAI) y las concentraciones de Molibdeno, Vanadio, Zinc y Manganeso. Mientras que con el Cadmio presentó un correlación levemente negativa y una no correlación con el Níquel y Aluminio. Sin embargo, el p-valor arrojó una correlación significancia únicamente con el Vanadio, donde p fue menor a 0,05 (Figura 22).

Con respecto a la correlación entre la abundancia y las concentraciones de metales pasados, se observó negativa en todos los casos, arrojando significancia con el Cadmio, Molibdeno, Vanadio, Zinc y Níquel con un valor de p menor a 0,05. En contraste con lo reportado con el Aluminio y Manganeso, que parecieron no tener un correlación significativa (Figura 23).

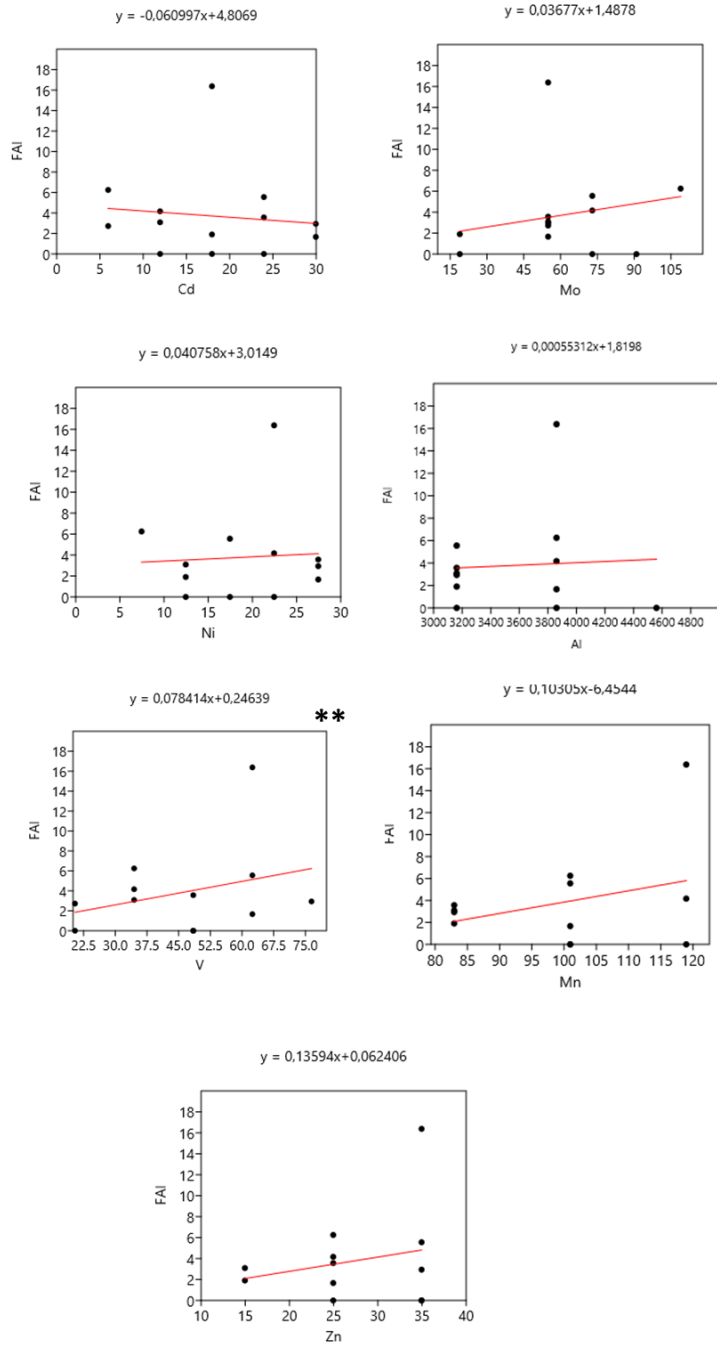


Figura 22. Correlación entre las concentraciones de metales pesados e índice de Anormalidad de Foraminíferos bentónicos (FAI) de la Bahía de Mejillones, a partir del Modelo Lineal Generalizado. ** indican las correlaciones significativas ($p < 0,05$).

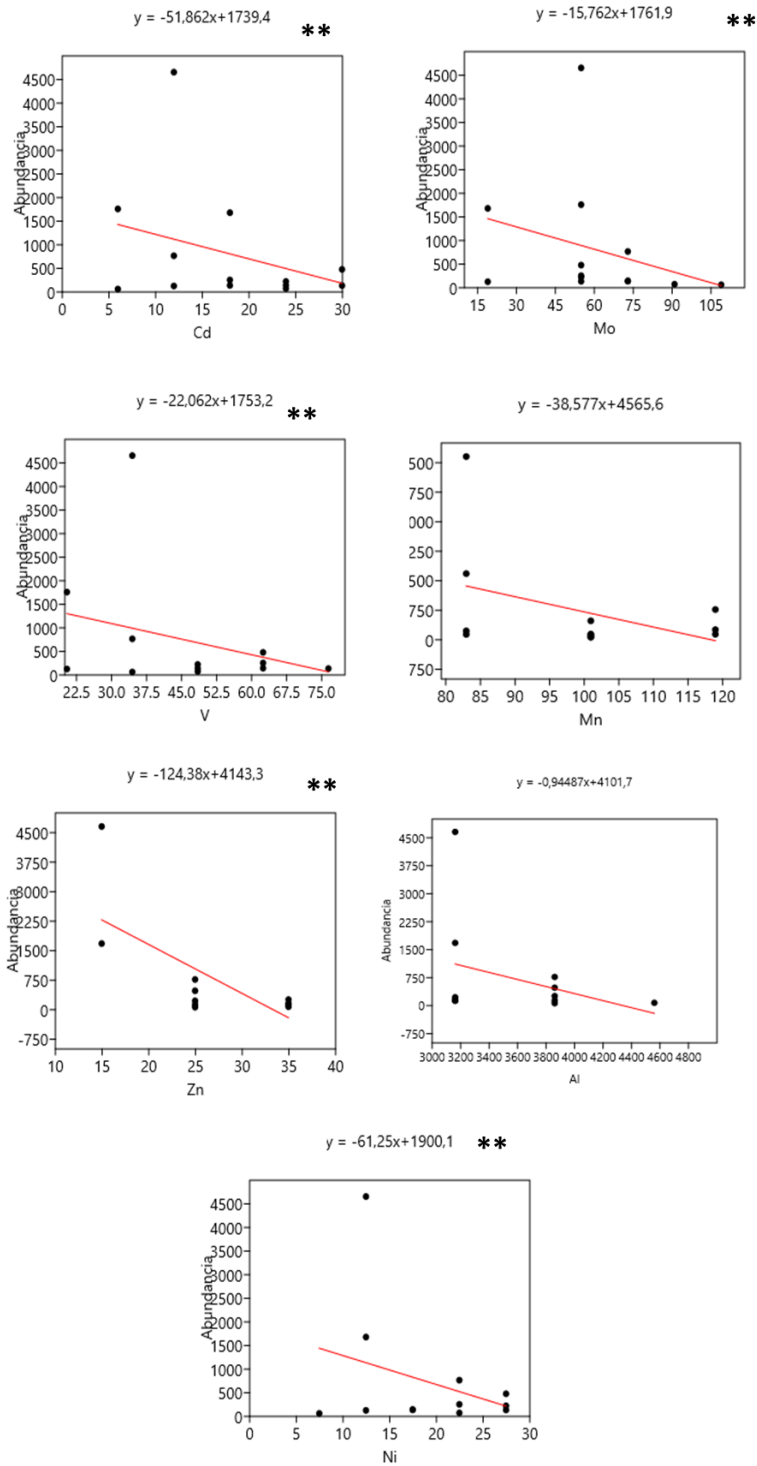


Figura 23. Correlación entre las concentraciones de metales pesados y la abundancia de foraminíferos bentónicos de la Bahía de Mejillones, a partir del Modelo Lineal Generalizado. ** indican las correlaciones significativas ($p < 0,05$).

Finalmente, se observó una correlación entre la riqueza y las concentraciones de molibdeno y zinc, la cual fue negativa pero no significativa, ya que el valor p fue mayor a 0,05. Con respecto a los demás metales pesados, no se observó correlación alguna (Figura 24).

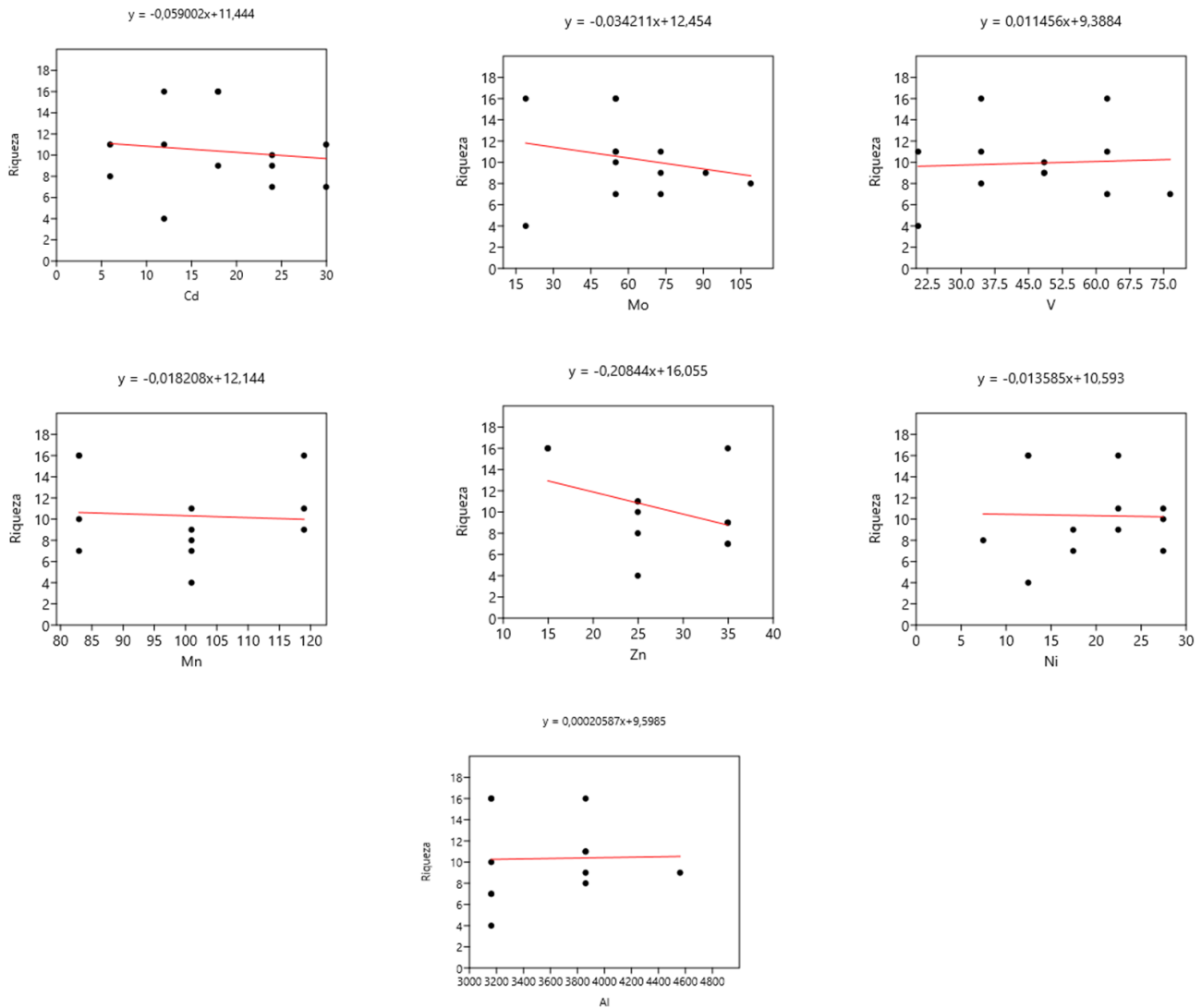


Figura 24. Correlación entre las concentraciones de metales pesados y la riqueza de foraminíferos bentónicos de la Bahía de Mejillones, a partir del Modelo Lineal Generalizado. ** indican las correlaciones significativas ($p < 0,05$).

7. DISCUSIÓN

Diversidad taxonómica

Ordenes (escala espacial y temporal).

El orden más abundante y diverso correspondió a Rotaliida (79 % de la abundancia a escala espacial y 93 % a escala temporal), el cual se caracteriza por presentar una testa de calcita bilamelar y perforada, con arreglos trocospirales bajos o altos, planispirales, anulares o irregulares (Sen-Gupta, 2003). La elevada diversidad de formas trocoides les confiere la ventaja de poder adherirse a diversos tipos de sustratos, habitando en la mayoría de ambientes marinos y sobre todo en áreas costeras, permitiendo que se encuentren en zonas neríticas, tanto en litorales como al finalizar la zona fótica (Haynes, 1981; Boix-Martínez, 2007). Este grupo abarca la mayor cantidad de géneros y su rápida evolución, causó una sustitución de géneros y especies en muy poco tiempo, convirtiéndolos en buen registro de biozonación (Boix-Martínez, 2007). De manera consecutiva, el orden Robertinina abarcó el 14 % y 6 % de la abundancia total, a escala espacial y temporal respectivamente. Se caracteriza por evidenciar caparazones hialinos imperforados con divisiones internas en las cámaras (Loeblich & Tappan, 1988).

Los foraminíferos del orden Miliolida, se evidenciaron en ambas escalas con igual proporción de individuos. Son de apariencia porcelanida no perforada, su baja presencia en la Bahía, se debe a que están distribuidos en su mayoría en aguas costeras cálidas y en arrecifes de coral (Sen-Gupta, 2003).

El orden Lituolida por su parte, estuvo representado por el 6 % de la abundancia a nivel espacial y 0,3 % a escala temporal. Presenta un enrollamiento planispiral, en algunas ocasiones trocospiral y estreptoespiral, su abertura es terminal (Sen-Gupta, 2003) y la pared del caparazón es aglutinada con suturas arqueadas (Mikhalevich, 2004). Habita en depósitos de sedimento, pueden ser infaunales y a menudo se encuentran en zonas costeras con turbulencia (Haynes, 1981). Por otro lado, el

Por otro lado, los ordenes Textularia y Astorhizida estuvieron presentes sólo a nivel espacial, ambos con una baja abundancia (0,05 %). El primer orden mencionado presenta un caparazón trocoide, triserial o biserial e un estado inicial y en una etapa más avanzada de desarrollo, puede evidenciar una forma uniserial. Mientras que Astorhizida, evidencia un caparazón irregular, esferoidal o tubular, con enrollamiento o ramificaciones. La pared es aglutinada y la abertura es simple (Acosta-Herrera, 2004). Finalmente, el orden Lagenida se registró únicamente a escala temporal y en baja proporción (0,008 %). Se caracteriza por incluir foraminíferos con caparazones hialinos con paredes monolamelares y perforadas. Pueden presentar una o varias cámaras dispuestas de manera serial o planispiral (Sen-Gupta, 2003), y con ejes perpendiculares de apariencia cristalina (Loeblich & Tappan, 1988).

Morfogrupos

Escala espacial y temporal

Caparazones trocoespirales, uniseriales y biseriales

Estas formas se encuentran agrupadas dentro de una morfología angular-asimétrica (Khare *et al.*, 2017). Las especies con formas trocoides fueron las más abundantes tanto a nivel temporal como espacial, además de registrarse caparazones biseriales y uniserial con una abundancia relativamente elevada (Figura 5). Dichos morfos evidencian una preferencia por los sustratos limosos eutrofizados, producto de una poca circulación de corrientes (Bernasconi & Cusminsky, 2005; Bernasconi *et al.*, 2009). Además de una salinidad alta, bajas concentraciones de oxígeno (Buzas *et al.*, 1993; Nigam *et al.*, 2007; Caulle *et al.*, 2014) y bajas temperaturas, indicando una relación inversa con las descargas de aguas continentales (Manasa *et al.*, 2016). Lo anterior coincide con ciertas condiciones de la Bahía de Mejillones, ya que en esta se encuentra una Zona Mínima de Oxígeno (ZMO) y no existen aportes de aguas provenientes de ríos, por lo que explicaría la presencia de este morfogrupo.

Caparazones planispirales, esféricos y miliolinos

Estos morfos estuvieron presentes en el 31% y 19% de la abundancia de foraminíferos a nivel espacial y temporal, respectivamente, conformando una morfología redondeada - simétrica. Según Khare *et al.* (2017) y Manasa *et al.* (2016), la presencia de estos morfogrupos indican condiciones de turbulencia y perturbación, producto de efluentes de aguas continentales. Además de reflejar ambientes de alta energía y con una alta tasa de sedimentación (Saraswat *et al.*, 2018). Su morfología les confiere ventajas para desplazarse más fácilmente en sedimentos en constante remoción. Por lo que les permite recuperar la posición y orientación del caparazón de manera más fácil, posterior a la perturbación del sedimento (Manasa *et al.*, 2016). Este tipo de morfología fue menos abundante en comparación con los caparazones angulares-asimétricos, ya que por lo general prefieren ambientes oxigenados (Saraswat *et al.*, 2018). Por tanto, las bajas concentraciones de oxígeno en la Bahía de Mejillones estarían explicando las bajas proporciones de estos morfogrupos.

La predominancia de hábitos epifaunales representado por las especies trocoespirales, planispirales y miliolinas, indicaron un ambiente típico costero (Corliss & Fois, 1990; Chan *et al.*, 2017), en el que las formas trocoides son herbívoras, detritívoras y omnívoras (Nagy *et al.*, 2010). A su vez, se encontraron especies infaunales reflejado por los caparazones uni y biseriales, con hábitos detritívoros, (Nagy *et al.*, 2010) asociados a alto contenido de materia orgánica en el sedimento (Corliss & Chen, 1988; Rosoff & Corliss, 1992) y tolerantes a las bajas concentraciones de oxígeno en el sedimento (Khunt *et al.*, 2013, Saraswat *et al.*, 2018).

Sí bien la Bahía de Mejillones refleja las condiciones propias de una ZMO, a partir de la dominancia de formas trocoides, uni y biseriales, es claro que también se detectan condiciones de turbulencia, causado por ciertas descargas continentales, que reflejan la presencia de especies planispirales, esféricas y miliolinas. Lo que puede indicar leves alteraciones en la calidad del agua como la disminución de la salinidad.

Abundancia y zonación de especies

Familias (escala espacial y temporal).

La elevada abundancia de Bolivinitidae tanto a nivel espacial como temporal (Figura 6a y b), fue debido al mayor número de especies que abarcó con respecto a las demás familias. La cual estuvo representada por 4.466 ejemplares distribuidos en 8 especies en la escala espacial (*B. seminuda*, *B. ordinaria*, *B. costata*, *B. plicata*, *B. striatula*, *B. earlandi*, *B. doniezi* y *Fursenkoina* sp.) y 54.324 individuos, pertenecientes a 7 especies en la escala temporal (*B. seminuda*, *B. costata*, *B. ordinaria*, *B. plicata*, *B. variabilis*, *Fursenkoina* sp. y *S. porosa*). Siendo *B. seminuda* la más abundante en ambas escalas. La presencia de estos especímenes reflejan condiciones típicas de Zonas Mínimas de Oxígeno, en donde se encuentran adaptadas a sobrevivir en concentraciones bajas de oxígeno (Boltovkoy, 1972). Por lo que la dominancia de dicha familia coincide con lo descrito en otras Zonas Mínimas de Oxígeno como el Golfo de California y el Mar Árabe (Sen-Gupta & Machain-Castillo, 1993). A su vez, también podrían estar indicando ambientes de elevada productividad debido a surgencias estacionales y aguas Subsuperficiales Ecuatoriales (Figueroa *et al.*, 2005), así como también una alta acumulación de materia orgánica, considerándolas especies oportunistas (Sen-Gupta & Machain-Castillo, 1993).

Por otra parte, la abundancia elevada de Buliminellidae en ambas escalas (Figura 6a y b) estuvo representada únicamente por *B. elegantísima*, con 4.438 individuos a nivel espacial y 13.992 a nivel temporal. Su predominancia puede indicar ambientes disóxicos (Murray, 2006), hipóxicos e incremento en los pulsos de materia orgánica producto de la contaminación marina (Sen-Gupta & Machain-Castillo, 1993) y condiciones adversas (Boltovskoy, 1965).

De manera similar pero únicamente a escala espacial, Epistominidae reflejó una abundancia elevada, en donde *E. exigua* fue la única especie que perteneció a esta familia. El aumento en la proporción de individuos está dada por los depósitos de detritos y concentraciones bajas de oxígeno (Tyszka, 1994), siendo propias de hábitat eutrofizados, considerándose especies oportunistas (Sagasti & Ballent, 2002; Smolén, 2012).

Nonionidae se evidenció con mayor abundancia a una escala temporal (Figura 6b), debido a la frecuencia de especies como *N. stella*, *N. auris*, *N. grateloupi* y *P. japonicus*, arrojando un total de 10.729 ejemplares. En los primeros 2 centímetros del testigo ZA, se registró un incremento drástico en *N. auris* y *N. stella*, contribuyendo en gran medida a la abundancia total de la familia. Esto podría coincidir con lo descrito por Polovodova-Asteman & Schönfeld (2015), atribuyéndole a episodios temporales de surgencia un aumento ocasional de *N. stella*, posterior a un severo evento de hipoxia. Por lo general, el género *Nonionella* realiza procesos de desnitrificación, empleando el nitrato obtenido por reposición en el agua intersticial o por algunas ocasiones en las que el agua se oxigena, para acumularlo en su célula (Risgaard-Petersen *et al.*, 2006; Cardich-Salazar, 2012).

Escala espacial

Isobata de 10 m

B. elegantissima y *R. cora* correspondieron a las especies más dominantes (Figura 7a). La primera especie mencionada es oportunista, por lo que su predominancia en el sedimento estaría indicando condiciones de estrés ambiental (Malumián & Caramés, 1995). Por tanto, evidencia un comportamiento infaunal y detritívoro, que les permite adaptarse a condiciones adversas, frente a elevadas concentraciones de materia orgánica, y ambientes disódicos (Malumián & Caramés, 1995). Específicamente en la estación T8, la mayoría de especies se encontraron ausentes (Figura 7a) y *H. depressula* reflejó un incremento del 62,5%, la cual estuvo ausente en las estaciones restantes (Anexo E). Esto pudo ser debido a un incremento en la salinidad del sedimento, ya que se ha reportado anteriormente (e.g. Vanicek *et al.*, 2000) asociaciones de foraminíferos con alta dominancia de esta especie bajo condiciones elevadas de salinidad (entre los 35 ‰ y 38 ‰), siendo a su vez tolerante a la hipoxia. La presencia de *Q. seminula* en este mismo punto de muestreo pudo estar reflejando un cambio drástico en la salinidad, relacionándolo con lo mencionado por Gómez *et al.* (2005) y Cusminsky *et al.* (2005), quienes destacan a esta especie como tolerante frente a fuertes fluctuaciones ambientales.

Isobata de 50 m

La mayor dominancia en esta isobata estuvo representada por *B. elegantissima* (Figura 7b), contribuyendo entre el 50% y 60% de la abundancia en cada sitio. Lo anterior estaría indicando una leve oxigenación del medio, en donde las condiciones disódicas favorecen el aumento de esta especie (Malumián & Caramés, 1995; Páez *et al.*, 2001). Por tanto, *B. seminuda* no se registró con una dominancia tan marcada (Anexo F), ya que prolifera en mayor medida en aguas micróxicas (Páez *et al.*, 2001). La estación T8 FDI, presentó una disminución en la dominancia de especies, observándose una abundancia más uniforme e incluso, la

aparición de especies que no estuvieron presentes o que se registraron en bajas proporciones en las demás estaciones de la isobata, como *B. ordinaria*, *C. laevigata*, *R. floridana*, *Q. seminula*, *R. squamiformis* y *B. frigida*, confirmando una oxigenación aún mayor en esta zona. *E. exigua* por su parte, después de *B. elegantissima* fue la especie más dominante, sobre todo en la estación T4. Esto estaría indicando una gran disponibilidad de fitodetrito, dado que esta especie aumenta ante la presencia de alimento (Gooday, 1988; Murray, 2006) y fuertes pulsos de materia orgánica (Mackensen *et al.*, 1993; Murray, 2006), por lo que se considera una especie oportunista.

Isobata de 70-75 m

B. elegantissima y *B. seminuda* correspondieron a las especies con mayor dominancia en esta isobata (Figura 8a), evidenciándose una relación inversa en la abundancia entre ambas especies, sobre todo en la estación T4, T6 y T8. Por lo que estaría indicando fluctuaciones en las concentraciones de oxígeno (micróxia y disóxía). Específicamente en los puntos T6 y T7, la abundancia de *N. stella* y *Fursenkoina* sp. incrementa notoriamente (Anexo G). Lo cual puede estar relacionado en el caso de *Fursenkoina* sp., al alto contenido de azufre en el sedimento y de nitrógeno orgánico, tal como reportó Sellier de Civrieux & Bonilla-Ruiz (1971), mencionando concentraciones de 0,520‰ y 0,287% respectivamente. Por otro lado, el incremento de *N. stella* está dado por el contenido de nitratos en el agua, a partir del cual realizan procesos de desnitrificación en su célula, gracias al secuestro de cloroplastos provenientes de diatomeas (Grzymiski *et al.*, 2002; Bernhard *et al.* 2012), favoreciéndose por eventos de eutrofización (Cardich-Salazar, 2012).

Isobata de 90-110 m

Se infiere que a los 90 m las condiciones fueron disóxicas, en donde *B. elegantissima* y *Trochammia* sp. predominaron en la zona, además de *B. plicata*, *Fursenkoina* sp. y *N. greteloupi* que aumentaron en número (Figura 8b, Anexo H). En el caso de *Trochammia* sp., fue mayor debido a un incremento en el fitodetrito, ya que es una especie que presenta hábitos detritívoros y bacterívoros (Reolid *et al.*, 2014), la cual se relaciona con valores elevados de carbono orgánico total y a su vez, con condiciones hipóxicas (Reolid *et al.*, 2014). Además de tolerar fluctuaciones en la salinidad (Nagy *et al.*, 2010). Por otro lado, en las isobatas de 100 y 110 m, el oxígeno disminuyó aún más, evidenciándose un ambiente micróxico, en donde *B. seminuda* se vio mayormente beneficiada, llegando a una dominancia de hasta el 73% en los 110 m. Por lo que coincide con lo mencionado por Paez *et al.* (2001), destacando la adaptación de esta especie a los sustratos prácticamente anóxicos (0,01 ml/l) y la limitación de otras especies para proliferar bajo estas condiciones.

Escala temporal

Testigos ZA y Z1A

La alta dominancia de *B. seminuda* en ambos testigos, está asociado a las bajas concentraciones de oxígeno en la zona (Bernhard & Sen Gupta 1999; Sen Gupta & Machain-Castillo, 1993) y especialmente en el estrato más superficial, en donde su abundancia alcanzó un máximo del 77% para ZA y 64% en Z1A (Figura 9, Anexo I). Dicha predominancia estaría indicando condiciones de micróxia ($0,01 \text{ ml O}_2 \text{ L}^{-1}$), tal como menciona Páez *et al.* (2001). Además, de reflejar una falta de afluentes de masas de agua oceánica fría y templada (Ortlieb *et al.*, 2001) y un aumento en la materia orgánica (Cardich-Salazar, 2012). Por otro lado, las disminuciones en la predominancia de esta especie (desde los 4-5 cm hasta los 7-8 cm en ambos testigos) (Figura 9a y b), puede estar reflejando un cambio en las concentraciones de oxígeno, en el que podrían evidenciarse niveles un poco más altos de oxígeno Ortlieb *et al.* (2001).

Lo anterior coincide con el incremento de la abundancia de *B. elegantissima* en estratos inferiores, en donde se ha reportado una preferencia de esta especie por condiciones disóxicas ($0,07 \text{ ml O}_2 \text{ L}^{-1}$) (e.g. Páez *et al.*, 2001). Esto es debido a sus hábitos infaunales, que les permite habitar estratos con poca luz desplazándose hacia los niveles más profundos Kitazato (1981). A su vez, es una especie que anteriormente ha sido descrita y común en la Bahía de Mejillones (e.g. Paez *et al.*, 2001; Ortlieb *et al.*, 2001 y Cardich-Salazar, 2012). De manera similar, *Fursenkoina* sp., habita por lo general sustratos disóxicos, y con elevados contenidos de materia orgánica, relacionada a productividad en la zona (Murray, 2006), por tanto se observa relativamente dominante a partir del primer centímetro de la columna de sedimento.

Por otro lado, se observó a *N. auris* con una abundancia relativamente alta, sobre todo a partir del centímetro 2 (Figura 9a y b, Anexo I), siendo característica de la Bahía de Mejillones, habitando zonas anóxicas y con materia orgánica fresca. Al mismo tiempo, se relaciona con las altas concentraciones de ácido sulfhídrico (Cardich-Salazar, 2012) y es capaz de realizar procesos de desnitrificación (Risgaard-Petersen *et al.*, 2006). Por lo que el aumento en su abundancia entre los 2 y 5 cm del testigo ZA, podrían estar indicando un incremento en la disponibilidad de alimento o materia orgánica. Debido a que ZA se ubica más cercano a la costa, encontrándose más expuesta a la intervención antrópica, indicando señales de contaminación (Murray, 1991).

Lo anterior indicó que la presencia de los foraminíferos bentónicos se encuentra fuertemente limitada por la cantidad de oxígeno disponible en el sustrato, ya que a pesar de encontrarse materia orgánica para su consumo en el estrato más superficial, las condiciones micróxicas estarían inhibiendo la proliferación de la mayoría de especies, inclusive de *E. exigua*, *N. auris* y *Fursenkoina* sp., las cuales son indicadores de materia orgánica y eutrofización. Mientras que en condiciones

disóxicas y con gran cantidad de materia orgánica, se observó un incremento en la abundancia de las especies, a excepción de *B. seminuda*.

Anormalidades

Escala espacial

Los valores del FAI más elevados se registraron en estaciones lejanas a las centrales termoeléctricas y terminales portuarios (Figura 11), por lo que el patrón de corrientes desempeña un papel fundamental en la distribución de anomalías en los caparazones. En donde la interacción de masas de aguas subantárticas, antárticas y el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (APS), generan un tipo de remolinos ciclónicos y anticiclónicos al interior de la bahía (Strub *et al.*, 1998; Sievers & Silva, 1982; Silva, 1983). Esto puede generar un desplazamiento de las masas de aguas en dirección a Punta Angamos y una acumulación de las concentraciones de metales pesados en los sedimentos al suroeste de la Bahía. De modo que los sitios con mayores porcentajes de caparazones anormales (T6-10 m, T7-10 m, T8-50 m, T7-75 m y BMS-90 m), se localizaron lejanos de los tres puntos control con menores concentraciones de metales pesados (Figura 2).

Por tanto, se observa una relación aparente entre la cantidad de este tipo de contaminantes con la proporción de caparazones anormales, registrándose valores elevados de Mo, Zn, Al y V en las estaciones con mayor FAI. Resultados similares han sido encontrados en estudios como el de Yanko *et al.* (1998), quienes reportaron una relación positiva entre las concentraciones de metales pesados y los caparazones anormales. Así mismo, los valores del FAI obtenidos para este estudio, pueden ser comparados con los descritos para otras zonas contaminadas, en donde los porcentajes de foraminíferos con caparazones anormales han variado considerablemente, registrándose valores entre el 10 y 20% en estuarios de Inglaterra (Sharifi *et al.*, 1991), 3 y 7% en fiordos de Noruega (Alve, 1991), de 2 a 3% en las costas de Israel (Yanko *et al.*, 1994) y de 3,5% a 19,1% en costas del mar Adriático (Melis & Covelli, 2013). Por lo que las proporciones de individuos anormales registradas para la Bahía de Mejillones de son similares con otras áreas contaminadas.

En general para toda la bahía, El Pmin de anomalía osciló entre el 2% y 9% mientras que el Pmáx arrojó valores entre 2% y 12%. Los porcentajes menores o iguales al 1%, tal como se reportan en las estaciones BMS-10 m, T1-75 m y BMS-110 m (Tabla VI), no fueron considerados como deformidad propiamente, ya que estos mismos valores han sido reportados bajo condiciones normales y sin ningún tipo de estrés (*e.g.* Alve, 1991 y Stouff *et al.*, 1999), por tanto la anomalía no es significativa y no se le atribuye a una respuesta frente a las concentraciones de metales pesados. Lo anterior es corroborado por las bajas cantidades de estos contaminantes encontrados en dichas estaciones.

Los valores más elevados de P_{min} y P_{máx}, se localizaron en el extremo de Punta Angamos y al igual que el FAI, el patrón de corrientes estaría transportando los sedimentos hasta este punto, generando una acumulación mayor de metales pesados. Por tanto, estos valores se encuentran dentro de los rangos descritos anteriormente en ambientes bajo estrés ambiental; en el que Geslin *et al.* (2002), mencionan un P_{min} del 2% al 21% y un P_{máx} entre 2% y 27%. Similar a lo descrito por Debenay *et al.* (2001), que reportan valores entre el 2% y 19% para el P_{min} y de 4% a 25% en el P_{máx}.

Escala temporal

Los primeros 3 centímetros de la columna de sedimento pertenecientes entre el año 2004 y 2012, evidenciaron caparazones anormales, siendo el estrato de 0-1 cm Z1A el que presentó un mayor FAI (12%) (Figura 10 y 11). Mientras que en los últimos 4 centímetros de los testigos, correspondientes entre los años de 1877 a 1994, no se mostró la presencia de foraminíferos anormales. Esto indicó la generación de una respuesta por parte de los foraminíferos, frente a condiciones de estrés a partir del año 2004. Lo que coincidió con el periodo en el que se desarrolló la actividad portuaria e industria de centrales termoeléctricas en la bahía, construidos y en funcionamiento a partir del año de 1998 en el caso de la termoeléctrica de Atacama (ENDESA, 2014). Un año después, se construyó la termoeléctrica de Mejillones (Universidad de Chile, 2012), en 2002 Puerto Angamos (Allan *et al.*, 2008) y posteriormente, las centrales termoeléctricas de Hornitos y Andina, a partir del año 2011 (ECL, 2010). Por tanto, es posible que las anomalías registradas correspondan a un efecto antropogénico en la comunidad bentónica.

Al comparar los valores del FAI en ambos testigos de sedimento, se evidenció un mayor porcentaje de caparazones anormales en Z1A que en ZA (Figura 10 y 11). Ya que al ubicarse en la zona de retención, las masas de aguas subantárticas, antárticas y el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur (APS) no inciden al interior de ella. Por tanto, no se ejerce un desplazamiento del sedimento y los caparazones anormales se acumulan frente los puertos y centrales termoeléctricas.

Los valores del P_{min} oscilaron entre 2 % y 4 %, mientras que el P_{máx} varió entre el 3 % y 11 %, donde el estrato más superficial del testigo Z1A arrojó las mayores proporciones tanto del P_{min} como del P_{máx} (Tabla VI). Dichos resultados se encuentran dentro de los rangos descritos para ambos porcentajes en áreas contaminadas, como estuarios y lagunas costeras. En los que se han reportado un P_{min} entre el 2% y 21% (Debenay *et al.*, 2001; Geslin *et al.*, 2002) y un P_{máx} de 2% al 27% (Geslin *et al.*, 2002) y entre un 4% y 25% (Debenay *et al.*, 2001). Lo contrario se vio registrado entre los 2 - 3 cm de Z1A y primeros dos centímetros de ZA, que presentaron anomalías menores e iguales a 1 %. Por lo que no fueron

considerados como efectos del estrés ambiental, según lo descrito por Alve (1991) y Stouff *et al.* (1999).

En cuanto a la distribución de anomalías en las especies de foraminíferos, *B. seminuda* se registró con una elevada proporción en ambas escalas, sobre todo a nivel temporal, en donde el 78 % de las anomalías fueron encontradas en esta especie (Figura 12). Esta proporción abarcó 9 tipos de anomalía en *B. seminuda* (Reducción del tamaño de las cámaras, protuberancias, enrollamiento distorsionado, forma aberrante, caparazones comprimidos, caparazones dobles, cámaras adicionales, cicatrices y descalcificación) (Figura 16). Por otra parte, *B. elegantissima* evidenció el mayor contenido de anomalías en la escala espacial, con un 29% (Figura 14). El cual estuvo representado por descalcificación y cicatrices (Figura 17a). Además, el 19% de las deformidades en esta misma escala se observaron en *E. exigua* y estuvieron representadas por 6 tipos de anomalía (reducción del tamaño de las cámaras, protuberancias, enrollamiento distorsionado, forma aberrante, cicatrices y descalcificación). Únicamente a nivel espacial se registró el agrandamiento de la apertura (Figura 15b) en *H. depressula* y caparazón comprimido en *B. seminuda*. Mientras que los caparazones dobles fueron evidenciados sólo en *B. seminuda* a escala temporal (Figura 17).

Las condiciones de hipoxia a las que se encuentran adaptadas las especies propias de la bahía de Mejillones y especialmente *B. seminuda*, *B. elegantissima* y *E. exigua*, dificultan el proceso de mineralización para la formación del caparazón de carbonato de calcio, generando paredes más delgadas y poco ornamentadas (Sen-Gupta & Machain-Castillo, 1993; Yanko *et al.*, 1998). Por lo que posiblemente genera una mayor susceptibilidad al ingreso de metales pesados en la célula, ya que estos al provenir del agua de mar, pueden incorporarse como iones benignos en la membrana celular para su transporte intracelular (Yanko *et al.*, 1998). Estos iones de metales pesados afectan estructuras y procesos involucrados en la formación del caparazón, como el deterioro en las proteínas del citoesqueleto y la calcificación, específicamente en el proceso de la formación de cristales de calcio. En donde al adicionarse estos iones de metales pesados se produce una deformación de la estructura cristalina del carbonato de calcio, generando la anomalía (Yanko & Kronfeld, 1992, 1993; Yanko *et al.*, 1998). Lo anterior ha sido comprobado experimentalmente en *Ammonia beccarii* (Sharifi, 1991) y ciliados (Anderheide *et al.*, 1977).

Diversidad

Escala espacial

Al igual que los valores del FAI, los mayores índices de (H') se evidenciaron en las estaciones ubicadas al suroeste de la bahía, debido al centro surgencia de Punta Angamos, el cual es uno de los puntos con mayor productividad en la zona norte de Chile (Valdés, 2004; Páez *et al.*, 2001; Valdés *et al.*, 2008). Esto permite que en la parte sur de la Bahía se forme un gran depósito de productividad primaria, la cual se ha estimado con un valor de $138 \text{ mg C m}^3 \text{ h}^{-1}$ (Rodríguez *et al.*, 1986) y una productividad anual de 1.070 g C m^2 (Marín *et al.*, 1993). Lo que genera una fertilización del medio, que favorece la disponibilidad de alimento para ser consumido por los foraminíferos. Por tanto, en las estaciones T7-10 m, T8-50 m, T8-75 m y BMS-100 m se registra un incremento de especies como *R. cora*, *E. exigua*, *R. squamiformis*, *C. laevigata*, *R. floridana* y *B. frigida*, entre otras, disminuyendo la dominancia de *B. elegantissima* y *B. seminuda*. Esto posiblemente indica que a pesar de encontrarse gran cantidad de materia orgánica, no se generan condiciones de microxia que puedan restringir la diversidad de especies. Lo anterior apunta a que la acumulación de metales pesados, no afecta la distribución de especies de foraminíferos, ya que en los puntos de mayor diversidad, se evidencian concentraciones elevadas de Mo, V, Mn y Al, además de evidenciarse una baja diversidad en las estaciones control (Tabla VII).

Escala temporal

Los índices de H' más bajos fueron registrados en el estrato más superficial de ambos testigos, debido a una marcada predominancia por parte de *B. seminuda* (64% en Z1A y 77% en ZA), reflejando valores elevados de dominancia de Simpson (Tabla VIII). En donde las condiciones micrómicas disminuyen la riqueza de especies y favorecen la ocurrencia de *B. seminuda* (Páez *et al.*, 2001; Sen-Gupta & Machain-Castillo, 1993). En contraste con lo anterior, entre los 4 y 8 cm del testigo Z1A se registraron los mayores valores de diversidad (Tabla VIII), en donde la dominancia de *B. seminuda* disminuyó y especies como *B. elegantissima*, *Fursenkoina* sp., *N. auris*, *E. exigua* y *N. grateloupi* aumentaron (Figura 8). Por lo que indica un cambio en las concentraciones de oxígeno, en donde las condiciones de disoxia incrementan la diversidad en la bahía (Páez *et al.*, 2001). Si bien las condiciones de hipoxia son propias de la bahía de Mejillones, es claro que existen cambios a través del tiempo, en donde los estratos datados para años más recientes (de 0 a 1cm y 1 a 2 cm) evidencian una intensificación de la hipoxia, lo cual podría estar relacionado con el impacto antrópico costero.

Similitud

Escala espacial

El cluster de abundancias al igual que el análisis MDS, no mostraron una estructuración o diferenciación de cada isóbata (Figura 18 y 20). La mayor similitud estuvo reflejada entre las estaciones T6 y T7 de 70-75 m, mientras que la abundancia registrada en T8-10 m fue la más disímil con respecto a las demás. Sin embargo, las abundancias de cada estación se agruparon con base en las concentraciones de metales pesados, evidenciándose un mayor número de individuos en las estaciones con menor concentración de estos contaminantes y viceversa. Esto permitió la agrupación de las estaciones con mayor número de individuos (1.680 para T1-75 m y 4.656 individuos en T4-50 m, Anexo A y C) y bajas concentraciones de metales pesados. Mientras que las estaciones T7-50 m, T6-50 m, T6-70 m y T7-75 m correspondieron a las menos abundantes (140, 74, 136 y 144 individuos, respectivamente, Anexo A y C) y con concentraciones elevadas de 4 y 5 metales pesados (Cd, Mo, Zn, V y Mn). Esto permitió inferir que la abundancia de foraminíferos en la bahía no reflejó un patrón dependiente de la batimetría, sino de las concentraciones de metales pesados.

Escala temporal

Se observó en el cluster un aparente agrupamiento y similitud de las abundancias entre los estratos superficiales (entre 0 y 3 cm) y profundos (entre 4 y 8 cm) (Figura 19). Sin embargo el análisis MDS no reflejó la formación de grupos entre estratos superficiales y profundos (Figura 21). La similitud arrojada en el cluster, está dada por las abundancias de *B. seminuda*, *Fursenkoina* sp., *B. elegantissima*, las cuales no variaron considerablemente en el número de individuos (Anexo B y D), a lo largo de los estratos profundos, registrándose una abundancia mínima de 224 individuos y una máxima de 744 en *B. seminuda* y de 48 a 296 ejemplares de *Fursenkoina* sp. Además de un rango entre los 264 y 744 en *B. elegantissima* (Anexo D). Por lo que se pueden inferir una mayor estabilidad en las condiciones ambientales entre los años de 1887 y 1994. Mientras que en los centímetros más superficiales, la abundancia de estas especies ha fluctuado en mayor medida, encontrándose a *B. seminuda* con una abundancia entre 16 y 17960 individuos, *Fursenkoina* sp. entre los 42 y 8.576 ejemplares y *B. elegantísima* de 200 a 8.832 individuos (Anexo D). De manera que lo anterior estaría indicando mayores fluctuaciones en las condiciones ambientales entre los años 2004 y 2012.

Relación entre las variables bióticas y metales pesados

Escala espacial

Índice de anomalía en foraminíferos (FAI)

La correlación positiva entre las concentraciones de metales pesados y el FAI, coincide con lo mencionado por Yanko (1994), Yanko & Kravchuk (1996), Yanko *et al.* (1998) y Frontalini *et al.* (2009). Específicamente con el Cd, Zn, Mn y Ni el FAI ha arrojado una correlación positiva y significativa en estudios previos (*e.g.* Samir & El-Din, 2001, Yanko *et al.*, 1998; Polodova & Schoenfeld, 2008 y Frontalini *et al.*, 2009), lo cual discrepa de estos resultados (Figura 22). Por tanto, las correlaciones no significativas en este estudio, están relacionadas posiblemente a que las concentraciones evidenciadas en la bahía de Mejillones son “bajas”, comparado con estudios donde sí se registra una significancia en la correlación con el FAI. En los que se han reportado valores máximos de Zn iguales a 123 mg kg⁻¹ (Samir, & El-Din, 2001) y 284 mg kg⁻¹ (Capotondi *et al.*, 2015), además del Cd que se registró con valores de 49,5 mg kg⁻¹ (Samir & El-Din, 2001) y 280 mg kg⁻¹ (Schintu *et al.*, 2015). Mientras que la bahía de Mejillones presenta un valor máximo de 35 mg kg⁻¹ para el Zn y de 30 35 mg kg⁻¹ para el Cd, indicando que las concentraciones no son lo suficientemente elevadas para reflejar una relación significativa con las anomalías. Por otro lado, la descalcificación y cicatrices están mayormente relacionadas con valores ácidos del pH y la hidrodinámica respectivamente, que con las concentraciones de metales pesados (Stouff *et al.*, 1999 y Geslin *et al.*, 2002). Por tanto, el FAI puede verse afectado también por otros factores ambientales.

Por otra parte, el Vanadio se ha incluido en varios estudios (*e.g.* Yanko *et al.*, 1998; Capotondi *et al.*, 2015; Schintu *et al.*, 2015) pero no se ha destacado la correlación que presenta con las anomalías. Contrario a lo evidenciado en estos resultados, este metal resultó ser de gran relevancia, ya que fue el único que presentó una correlación positiva significativa (Figura 22). Lo anterior se relaciona a la afinidad de este metal por los ambientes redox generados en zonas anóxicas, en donde se producen sumideros de este compuesto. La gran disponibilidad de este metal, causa su incorporación en el caparazón de los foraminíferos (Hastings & Emerson, 1996), interfiriendo en el proceso de calcificación.

Abundancia

La correlación negativa y significativa con la mayoría de metales pesados (Figura 23) es corroborado por Sen- Gupta (2003); Elberling *et al.* (2003) y Ferraro *et al.* (2006), mencionando la disminución en la abundancia ante la presencia de metales pesados. Debido a que afectan varios procesos metabólicos necesarios para la sobrevivencia de los organismos, como la respiración (Sen-Gupta, 2003), el sistema de defensa (Yanko *et al.*, 1994). Así como también la restricción de la simbiosis con microalgas necesaria para la obtención de energía, disminución de actividad pseudopodial (Le-Cadre *et al.*, 2003; Sen-Gupta, 2003), la síntesis de proteínas y reproducción (Ganote & Van der Heide, 1987; Baserga, 1985). Por tanto, la abundancia incluso de especies oportunistas frente a la gran cantidad de materia orgánica como *B. seminuda*, *B. elegantissima* y *E. exigua*, disminuye considerablemente.

Riqueza

La evidencia de no correlación con la riqueza y los metales pesados (Figura 24), indicaron que existen otras variables ambientales que están amortiguando los efectos adversos de dichos compuestos en otros parámetros comunitarios, como la abundancia. A tal punto, que no se evidencia una pérdida considerable de la riqueza de especies. Por tanto, la fertilización de la zona costera debido a la surgencia de Punta Angamos (Valdés, 2004; Páez *et al.*, 2001; Valdés *et al.*, 2008), contribuye a que el número de especies sea constante y las especies no desaparezcan, permitiendo contrarrestar el estrés ambiental. Esto indicó que la concentración de metales pesados no altera la distribución de especies, cuando se presentan eventos de surgencia costera.

8. CONCLUSIONES

A escala espacial, la proporción de caparazones anormales se encuentra dentro de los rangos descritos para zonas contaminadas, evidenciándose los mayores valores al suroeste de la bahía de Mejillones.

La zona suroeste de la bahía mostró una mayor diversidad de especies, por lo que las concentraciones de metales pesados, no influyeron en la distribución de las mismas, debido a que la surgencia de Punta Angamos favorece su presencia.

La abundancia de foraminíferos se encuentra inversamente relacionada con la concentración de metales pesados, afectando la supervivencia de las poblaciones mediante la alteración del funcionamiento celular.

La zonación espacial de foraminíferos bentónicos evidenció un cambio drástico en la composición y abundancia de especies, en zonas cercanas a Punta Angamos (T8 10m, T8 50 m y T8 75 m). En donde se registró una mayor riqueza de especies y menor dominancia por parte de *B. elegantissima* y *B. seminuda*, a los 50 m y 75

m de profundidad. Mientras que a los 10 m, *H. depressula* se reporta con una gran dominancia y ausencia de la mayoría de especies.

El porcentaje de anomalías registró una relación positiva con la cantidad de metal pesado y significativa específicamente con el Vanadio. Debido a su elevada disponibilidad en los depósitos de ambientes anóxicos.

A escala temporal, a partir del año 2004 se registró la presencia de caparazones anormales, reportándose un porcentaje aún mayor en el año 2012. Lo que indicó un impacto antropogénico en las condiciones ambientales de la bahía.

La mayor diversidad de especies se evidenció en los últimos 4 estratos de la columna de sedimento, reflejando una menor dominancia de *B. seminuda*. Mientras que los centímetros más superficiales (0 cm y 4 cm) arrojaron una diversidad menor y una marcada dominancia de *B. seminuda*.

Lo anterior indicó que entre los años 2004 y 2012 se detectaron cambios en las condiciones ambientales, indicando ambientes micróticos a partir de la fuerte dominancia de *B. seminuda*. Mientras que en años anteriores, la bahía presentaba ambientes disóticos, evidenciado por el incremento de *B. elegantissima* y la presencia de *N. stella*, *E. exigua*, *Fursenkoina* sp.

Para ambas escalas, las especies *B. seminuda*, *B. elegantissima* y *E. exigua* presentaron una mayor susceptibilidad frente a la contaminación marina de la Bahía de Mejillones, evidenciando un mayor número de anomalías en sus caparazones. De manera que pueden ser considerados como indicadores de impactos antropogénicos.

Los resultados señalaron la relevancia de estudiar las comunidades de foraminíferos bentónicos, como una herramienta útil en el desarrollo de monitoreos y estudios de impacto ambiental.

Por lo tanto, las concentraciones de metales pesados presentes en la bahía se relacionan con el incremento en los índices de anomalía, junto con la disminución de la abundancia total. Además de identificarse un cambio temporal en las condiciones ambientales a partir del inicio de la actividad industrial, corroborando el efecto antropogénico sobre la fauna bentónica. En la cual anteriormente no se había generado un diagnóstico completo de la comunidad (a nivel de individuo y de comunidad) a nivel espacial y temporal, en zonas asociadas al talud continental.

REFERENCIAS

- Acosta-Herrera, N. C. 2004. Compendio de foraminíferos de Colombia. Colección monografías. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 143 pp.
- Aktürk, S. E. 1976. Traumatic variation in the *Globorotalia menardii* d'Orbigny group in late Quaternary sediments from the Caribbean. *Journal Foraminifera Research*, 6: 186-192.
- Alagarsamy, R. 2006. Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediments of the Madovi estuary, west coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67: 333-339.
- Allan, S., Ramírez, C. & Vásquez, J. A. 2008. Effects of dredging on subtidal macrobenthic community structure in Mejillones Bay, Chile. *International Journal Environment and Health*, 2(1): 64-81.
- Alve, E. 1991. Benthic foraminifera reflecting heavy metal pollution in Sørkjord, Western Norway. *Journal of Foraminiferal Research*, 34:1641-1652.
- Alve, E. 1995. Benthic foraminifera response to estuarine pollution. A review. *Journal of Foraminiferal Research*, 25: 190-203.
- Alve, E. & Nagy, J. 1986. Estuarine foraminiferal distribution in Sandebukta, a branch of the Oslo fjord. *Journal of Foraminiferal Research*, 16: 261-283.
- Anderheide, K. J., Frankel, J. & Willams, N. E., 1977, Formation and positioning of surface-related structures in protozoa. *Microbiological Review*, 44: 252–302.
- Baserga, R. 1985. *The Biology of Cell Reproduction*. Harvard University Press, Cambridge. 251 p.
- Bernasconi, E. & Cusminsky, G., 2005, Distribución de *Nonionella auris* (d'Orbigny) Orden Foraminiferida en el Golfo San Matías, Provincia de Río Negro, Argentina. *Ameghiniana*, 42: 167–174.
- Bernasconi, E., Cusminsky, G. & Gómez, E., 2009. Foraminíferos bentónicos del holoceno del golfo Nuevo, Argentina: inferencias paleoclimáticas. *Revista Española de Micropaleontología*, 41: 21–34.
- Bernhard, J. M. & Sen-gupta, B. K. 1999. Foraminifera of oxygen-depleted environments.) *Modern Foraminifera In: (Eds. Sen Gupta, B.K) pp. 201-216. Kluwer Academic Publishers.*
- Bernhard, J., Sen Gupta, B. & Baguley, J. 2008. Benthic foraminifera living in Gulf of Mexico bathyal and abyssal sediments: Community analysis and comparison

to metazoan meiofaunal biomass and density. *Deep-Sea Research II*, 55: 2617–2626.

Bernhard, J.M., Casciotti, K.L., McIlvin, M.R., Beudoin, D.J., Visscher, P.T. & Edgcomb, V.P. 2012. Potential importance of physiologically diverse benthic foraminifera in sedimentary nitrate storage and respiration. *Journal of Geophysical Research*, 117: G03002, 14 pp.

Betancur, M. J. & Martínez, I. 2003. Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos de fondo de la cuenca de Panamá (Pacífico colombiano), como indicadores de productividad y oxigenación. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 32: 93-123.

Boix-Martínez, C. 2007. Foraminíferos rotálidos del Cretácico Superior de la Cuenca Pirenaica. Tesis Doctorado. Departament de Geologia. Unitat de Paleontologia. Universitat Autònoma de Barcelona. 139 pp.

Boltovskoy, E. 1954. Foraminíferos del Golfo de San Jorge. Instituto Nacional de investigación de las ciencias naturales y Museo argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia”, Tomo III (3): 1 - 246.

Boltovskoy, E. 1957. Las anomalías en los caparazones de foraminíferos y el ‘Índice de regeneramiento’. *Ameghiniana*, 1: 80-84.

Boltovskoy, E. 1965. Los Foraminíferos Recientes (Biología, métodos de estudio, aplicación oceanográfica). EUDEBA, buenos Aires: 510 pp.

Boltovskoy, E. 1972. Nota sobre los valores mínimos de oxigenación que pueden soportar los foraminíferos bentónicos. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*, XLIV: 135-143.

Boltovskoy, E., Scott, D. B. & Medioli, F. S. 1991. Morphological variations of benthic foraminiferal test in response to changes in ecological parameters: a review. *Journal of Paleontology*, 65: 175-185.

Bonat, W. H. & Jorgensen, B. 2016. Multivariate covariance generalized linear models. *Applied Statistics*, 65(5): 649–675.

Bryan, G. W., Waldichuk, M., Pentreath, R. J. & Darracott, A. 1979. Bioaccumulation of Marine Pollutants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 286 (1015): 483-505.

Buccolieri, A., Buccolieri G., Cardellicchio, N., Dell Atti, A., Di Leo, A. & Maci, A. 2006. Heavy metals in the marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, southern Italy). *Marine Chemistry*, 99: 227-235.

- Buzas, M. A., Culver, S. J. & Jorissen, F. J. 1993. A statistical evaluation of the microhabitats of living (stained) infaunal benthic foraminifera; *Marine Micropaleontology*, 20: 311–320.
- Cann, J. H. & Deckker, P. D. 1981. Fossil Quaternary and living foraminifera from athalassic (non-marine) saline lakes, Southern Australia. *Journal Paleontology*, 55: 660-670.
- Capotondi, L., Bergami, C., Orsini, G., Ravaioli, M., Colantoni, P. & Galeotti, S. 2015. Benthic foraminifera for environmental monitoring: a case study in the central Adriatic continental shelf. *Environmental Science Pollution Research*, 22: 6034–6049.
- Caralp, M. H. 1989. Size and morphology of the benthic foraminifer *Melonis barleeanum* relationships with marine oceanic matter. *Journal Foraminifera Research*, 19: 235-245.
- Cardich-Salazar, J. 2012. Especies de foraminíferos bentónicos indicadoras del estado de óxido-reducción del sedimento superficial en el margen continental central del Perú. Tesis de Magister. Universidad Peruana Cayetano Heredia. 157 pp.
- Carnahan, E. A. 2005. Foraminiferal Assemblages as bioindicators of potentially toxic elements in Biscayne Bay, Florida. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. College of Marine Science. University of South Florida. 228 pp.
- Caulle, C., Koho, K. A., Mojtahid, M., Reichart, G. J. & Jorissen, F.J. 2014. Live (Rose Bengal stained) foraminiferal faunas from the northern Arabian Sea: Faunal succession within and below the OMZ; *Biogeosciences*, 11: 1155–1175.
- Cesar, A. 2003. Análisis ecotoxicológico integrado de la contaminación marina en los sedimentos de la costa de Murcia: el caso de Portmán, sudeste- España. Memoria de tesis doctoral. Departamento de ecología e hidrología, Facultad de Biología. Universidad de Murcia. España. 232 pp.
- Chan, S. A., Kaminski, M. A., Al-Ramadan, K. & Babalola, L. O. 2017. Foraminiferal biofacies and depositional environments of the Burdigalian mixed carbonate and siliciclastic Dam Formation, Al-Lidam area, Eastern Province of Saudi Arabia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 14 pp.
- Chao, A., Chazdon, R. L., Colwell, R. K. & Shen, T. J. 2006. Abundance-based similarity indices and their estimation when there are unseen species in samples. *Biometrics*, 62: 361–371.
- Coccioni, R. 2000. Benthic foraminifera as bioindicators of heavy metal pollution. *In*: Martin, R.E. (Ed.), *Environmental Micropaleontology: The Application of*

- Microfossils to Environmental Geology. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 71-103.
- Coccioni, R., Marsili, A. & Venturati, A. 2003. Foraminiferi e stress ambientale. *In*: Coccioni, R. (a cura di), Verso la gestione integrata della costa del Monte San Bartolo: risultati di un progetto pilota. Quaderni del Centro di Geobiologia dell'Università degli Studi di Urbino, 1: 99-118.
- Corliss, B. H. & Chen, C. 1988. Morphotype patterns of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Geology*, 16: 716–719.
- Corliss, B. H. & Fois, E. 1990. Morphotype analysis of deep-sea benthic foraminifera from the northwest Gulf of Mexico. *PALAIOS*, 5: 589–605.
- Cusminsky, G., Martínez, D. & Hebbeln, D. 2005. Foraminíferos y ostrácodos de sedimentos recientes del estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Revista Española de Micropaleontología*, 38: 395-410
- Debenay, J. P., Millet, B. & Angelidis, M. O. 2005. Relationships between foraminiferal assemblages and hydrodynamics in the Gulf of Kalloni, Greece. *Journal of Foraminiferal Research*, 35: 327-343.
- Debenay, J. P., Geslin, E., Eichler, B. B., Duleba, W., Sylvestre, F. & Eichler, P. 2001. Foraminiferal assemblages in a hypersaline lagoon Araruama (RJ) Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*, 31: 133-151.
- Ebrahim, M. T. 2000. Impact of anthropogenic environmental change on larger foraminifera. *In*: Martin, R. E. (Ed.), *Environmental Micropaleontology: The Application of Microfossils to Environmental Geology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 105-119.
- E-CL. 2010. Memorial Anual y estados financieros. www.e-cl.cl/prontus_ecl/site/artic/20120405/pags/20120405141040.php Visitado el 13-03-2018.
- Elberling, B., Knudsen, K.L., Kristensen, P.H. & Asmund, G. 2003. Applying foraminiferal stratigraphy as a biomarker for heavy metal contamination and mining impact in a fiord in West Greenland. *Marine Environmental Research*, 55: 235–256.
- ENDESA. 2014. Informe de Medio Ambiente. 69 pp.
- Escribano, R. 1998. Population dynamics of *Calanus chilensis* in the Chilean eastern boundary Humboldt Current. *Fishery Oceanography*, 7: 245-251.

- Ferraro, L., Sprovieri, M., Alberico, I., Lirer, F., Prevedello, L. & Marsella, E. 2006. Benthic foraminifera and heavy metals distribution: a case study from the Naples Harbour (Tyrrhenian Sea, Southern Italy). *Environmental Pollution*, 142: 274–287.
- Figueroa, S., Marchant, M., Giglio, S. & Ramírez, M. 2005. Foraminíferos bentónicos rotalínidos del centro sur de Chile (36°S - 44°S). *Gayana*, 69(2): 329-363.
- Frontalini, F. & Coccioni, R. 2008. Benthic foraminifera for heavy metal pollution monitoring: A case study from the central Adriatic Sea coast of Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76: 404-417.
- Frontalini, F., Buosi, C., Da Pelo, S., Coccioni, R., Cherchi, A. & Bucci, C. 2009. Benthic foraminifera as bio-indicators of trace element pollution in the heavily contaminated Santa Gilla lagoon (Cagliari, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 58: 858–877.
- Ganote, C.E. & Van der Heide, R.S. 1987. Cytoskeletal lesions in anoxic myocardia injury: a conventional and high-voltage electron microscopic and immunofluorescence study. *American Journal of Pathology*, 129: 327–335.
- Geslin, E., Debenay, J. P & Lesourd, M. 1998a. Abnormal wall textures and test deformation in *Ammonia beccarii* (hyaline foraminifer). *Journal of Foraminiferal Research*, 28: 148-156.
- Geslin, E., Debenay, J.-P., Lesourd, M., Duleba, W & Eichler, B. B. 1998b. A quantitative and qualitative study of hyaline deformed tests in a non polluted estuary (Juréia, Brazil). *In: International Symposium on Foraminifera, Foram '98, Mexico, Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontológica, Special Publication*, p. 38.
- Geslin, E., Stou, V., Debenay, J. P. & Lesourd, M. 2000. Environmental variation and foraminiferal test abnormalities. *In: Martin, R. E. (Ed.), Environmental Micropaleontology: The Application of Microfossils to Environmental Geology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 191-215.
- Geslin, E., Debenay, J. P., Duleba, W. & Bonetti, C. 2002. Morphological abnormalities of foraminiferal tests in Brazilian environments: comparison between polluted and non-polluted areas. *Marine Micropaleontology*, 45: 151-168.
- Gómez, E., Martínez, D., Borel, M., Guerstein, G.R. & Cusminsky. 2005. Submarine evidences of Holocene sea-level fluctuations in the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Journal of South America Earth Sciences*, 20:139-155.

- González Zuarth, C. A., Vallarino, A., Pérez Jiménez, J. C. & Low-Pfen, A. 2014. Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Primera edición. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas-México. 193-207 pp.
- Gooday, A. J. 1986. Meiofaunal foraminiferans from the bathyal Porcupine Sea bight (northeast Atlantic): size, structure, standing stock, taxonomic composition, species diversity and vertical distribution in the sediments. *Deep-Sea Research*, 33 (10): 1345–1373.
- Gooday, A.J. 1988. A response by benthic Foraminifera to the deposition of phytodetritus in the deep sea. *Nature*, 332: 70-73.
- Gooday, A. J. 2003. Benthic foraminifera (Protista) as tools in deep-water palaeoceanography: environmental influences on faunal characteristics. *Advances in Marine Biology*, 46: 1–90.
- Gooday, A. J., Bernhard, J. M., Levin, L. A. & Suhr, S. 2000. Foraminifera in the Arabian Sea oxygen minimum zone and other oxygen-deficient settings: taxonomic composition, diversity, and relation to metazoan faunas. *Deep-Sea Research II*, 47 (1–2): 25–54.
- Gooday, A. J., Bett, B. J., Jones, D. & Kitazato, H. 2012. The influence of productivity on abyssal foraminiferal biodiversity. *Marine Biodiversity*, 1-20.
- Grzymski, J., Schofield, O.M., Falkowski, P.G. & Bernhard, J. M. 2002. The function of plastids in the deep-sea foraminifer, *Nonionella stella*. *Limnology and Oceanography*, 47: 1569–1580.
- Guiñez, M., Valdés, J. & Castillo, A. 2015. Contenido de metales en sedimentos y en *Emerita analoga* (Stimpson, 1857), en bahía Mejillones del Sur, Chile. *Latin Ambiental Journal Aquatic Research*, 43(1): 94-106.
- Hastings, D. W. & Emerson, S. R. 1996. Vanadium in foraminiferal calcite as a tracer for changes in the areal extent of reducing sediments. *Paleoceanography*, 11 (6): 665-678.
- Haynes, J. R. 1981. Foraminifera. John Wiley & Sons, New York, 433 pp.
- Holbourn, A., Henderson, A. S. & Macleod, N. 2013. Atlas of Benthic Foraminifera. John Wiley & Sons, Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex. 642 pp.

- Islam, M. S & Tanaka, M. 2004. Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 624–649.
- Jones, R. W. & M. A. 1985. Morphogroups of agglutinated foraminifera. Their life positions and feeding habits and potential applicability in (paleo) ecological studies. *Revue de Paléobiologie*, 4: 311–320.
- Khare, N., Nigam, R., Mayenkar, D.N. & Saraswat, R. 2017. Cluster analysis of benthic foraminiferal morpho-groups from the western margin of India reflects its depth preference, Continental Shelf Research, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.10.011>
- Kitazato, H. 1981. Observation of Behavior and mode of life of benthic foraminifers in laboratory. *Geoscience Reports of Shizuoka University*, 6: 61-71.
- Kennish, M. J. 1992. *Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects*. CRC Press Inc, Boca Raton, FL., 45-62.
- Khunt, T., Schiebel, R., Schmiedl, G., Milker, Y., Mackensen, A. & Friedrich, O., 2013. Automated and Manual analyses of the pore density-to-oxygen relationship in *Globobulimina turgida* (Bailey). *Journal of Foraminiferal Research* 44(1): 5-16.
- Langston, W. J. & Spence, S. K. 1995. Biological factors involved in metal concentrations observed in aquatic organisms. *In*: Tessier A, Turner DR, editors. *Metal speciation and bioavailability in aquatic systems*. New York: Wiley and Sons. London, 407-478.
- Le-Cadre, V., Debenay, J.P. & Lesourd, M. 2003. Low pH effects on *Ammonia beccarii* test deformation: implications for using test deformations as a pollution indicator. *Journal of Foraminiferal Research*, 33 (1):1–9.
- Letelier, J., Soto-Mardones, L., Salinas, S., Vincenti, L., Pavez, R. & Arriagada, M. 2012. Influencia de la península de Mejillones en la variabilidad oceanográfica anual e interanual frente al norte de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47(3): 513-526.
- Linton, D. M. & Warner, G. F. 2003. Biological indicators in the Caribbean coastal zone and their role in integrated coastal management. *Ocean Coast. Manage.* 46: 261–276.
- Loeblich, A. R. & Tappan, H. 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. Van Nostrand Reinhold Company, New York. Vol. 1: 1- 846.

- Malumián, N & Caramés, A. 1995. El Daniano marino de Patagonia (Argentina): paleobiogeografía de los foraminíferos bentónicos. *Asociación Paleontológica argentina, Paleogeno de América del Sur*, 3: 83-105.
- Mackensen, A., Fütterer, D.K., Grobe, H. & Schmiedl, G. 1993. Benthic Foraminiferal assemblages from the eastern South Atlantic Polar Front region between 35° and 57°S: Distribution, ecology and fossilization potential. *Marine Micropaleontology*, 22: 33-69.
- Manasa, M., Saraswat, R. & Nigam, R. 2016. Assessing the suitability of benthic foraminiferal morpho-groups to reconstruct paleomonsoon from Bay of Bengal. *Journal of Earth System Science*, 125(3): 571–584.
- Marín, V. & Olivares, G. 1999. Estacionalidad de la productividad primaria en bahía Mejillones del Sur (Chile): una aproximación proceso-funcional. *Revista Chilena de Historia Natural*, 72: 629–641.
- Marín, V., Delgado & Escribano, R. 2003. Upwelling shadows at Mejillones bay (northern Chilean coast): a remote sensing *in situ* analysis. *Investigaciones Marinas*, 31 (2): 47–55.
- Marín, V., Rodríguez, L., Vallejo, L., Fuenteseca, J. & Oyarce, E. 1993. Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de la Bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile). *Revista Chilena de Historia Natural*, 66: 47-491.
- Meador, J. P., Stein, J. E., Reichert, W. L. & Varanasi, U. 1995. Bioaccumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Marine Organisms. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 143: 79-165.
- Melis, R. & Covelli, S. 2013. Distribution and morphological abnormalities of recent foraminifera in the Marano and Grado Lagoon (North Adriatic Sea, Italy). *Mediterranean Marine Science*, 14 (1): 432-450.
- Mikhalevich, V. 2004. On the new understanding of the Order Lituolida Lankester, 1885 (Foraminifera). *Acta palaeontologica Romaniaae*, 4: 247-267.
- Munsel, D., Kramar, U., Dissard, D., Nehrke, G., Berner, Z., Bijma, J., Reichart, G. J. & Neumann, T. 2010. Heavy metal incorporation in foraminiferal calcite: results from multi-element enrichment culture experiments with *Ammonia tepida*. *Biogeosciences*, 7: 2339–2350.
- Murray, J. W. 1973. *Distribution and Ecology of Living Benthic Foraminifrids*. Heinmann Educational Books, London, 288 pp.

- Murray, J. W. 1991. Ecology and paleoecology of benthic foraminifera. Longman, Wiley, New York, 397 pp.
- Murray, J. W. 2006. Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. Cambridge University Press. New York, United States of America. 426 pp.
- Murray, J. W & Alve, E. 2002. Benthic foraminifera as indicator of environmental change: marginal-marine, shelf and upper slope environments. *In*: Haslett, S.K. (Ed.), Quaternary Environmental Micropaleontology. Arnold, London, pp. 59-90.
- Murray, J.W., Alve, E. & Jones, B. W. 2011. A new look at modern agglutinated benthic foraminiferal morphogroups: their value in palaeoecological interpretation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 309: 229–241.
- Nagy, J., Hess, S. & Alve, E. 2010. Environmental significance of foraminiferal assemblages dominated by small-sized *Ammodiscus* and *Trochammina* in Triassic and Jurassic delta influenced deposits. *Earth-Science Reviews*, 99: 31-49.
- Navea, E. & Miranda, O. 1980. Ciclo anual de las condiciones oceanográficas en Mejillones del Sur. *Revista de Biología Marina (Chile)*, 17: 97-133.
- Nigam, R., Mazumder, A., Henriques, P. J. & Saraswat, R. 2007. Benthic foraminifera as proxy for oxygen depleted conditions off the central west coast of India. *Journal of the Geological Society of India*, 70: 1047–1054.
- Ortlieb, L., Zúñiga, O., Follegati, R., Escribano, R., Kong, I., Rodríguez, L., Mourguiart, P., Valdés, J. & Iratchet, P. 1994. Paleooceanografía de la bahía de Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile): Resultados preliminares para el último milenio. *Estudios Oceanológicos*, 13: 45-55.
- Ortlieb, L, Escribano, R., Follegati, R., Zúñiga, O., Kong, I., Rodríguez, L., Valdés, J., Guzmán, N. & Iratchet, P. 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.
- Ortlieb, L., Escribano, R., Follegati, R., Zúñiga, O., Kong, I, Rodriguez, L., Valdés, J., Guzmán, N. & Iratchet, P. 2001. Registro de cambios océano-climáticos durante los últimos 2000 años en un ambiente marino hipóxico en el norte de Chile (23°S). *Revista Chilena de Historia Natural*, 73(2):2-32.
- Paéz, M., 2004. Variabilidade espacial atual e passada dos foraminíferos bentônicos em um ambiente marinho pobre em oxigênio no norte do Chile: a baía Mejillones (23° S). Master Theses, Universidade Federal Fluminense, Brazil, 108 pp.

- Páez, M., Zúñiga, O., Valdés, J. & Ortlieb, L. 2001. Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos micróxicos de la bahía de Mejillones del Sur (23° S), Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 36 (2): 129 – 139.
- Páez, M., Sifeddine, A., Valdés-Saavedra, J. & Ortlieb, L. 2003. Reconstrucción de las condiciones paleoceanográficas 2000 años AP de la bahía Mejillones (23°s), Chile a partir de bioindicadores (foraminíferos): resultados preliminares. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. 4 pp.
- Polovodova, I. & Schönfeld, J. 2008. Foraminiferal test abnormalities in the Western Baltic Sea. *Journal of Foraminiferal Research*, 38 (4): 318–336.
- Polovodova-Asteman, I. & Schönfeld, J. 2015. Recent invasion of the foraminifer *Nonionella stella* Cushman & Moyer, 1930 in northern European waters: evidence from the Skagerrak and its fjords. *Journal of Micropalaeontology* - January 2015. Doi: 10.1144/jmpaleo2015-007.
- Pujol-Rodríguez, S. 1977. Contribución al conocimiento de los foraminíferos bentónicos de Bahía Quintero (32° 46`S; 71° 31` W), Chile. Tesis de Pregrado. Departamento de Biología Marina. Universidad de Concepción, 83 pp.
- Risgaard-Petersen, N., Langezaal, A.M., Ingvarsen, S., Schmid, M.C, Jetten M.S.M. & Op den Camp, H.J.M. 2006. Evidence for complete denitrification in a benthic foraminifer. *Nature*, 443:93–96.
- Reolid, M., Nikitenko, B.L. & Glinskikh, L. 2014. *Trochammina* as opportunist foraminifera in the Lower Jurassic from north Siberia. *Polar Research*, 33:1, 21653, 4, 33, 21653. Doi: dx.doi.org/10.3402/polar.v33.21653.
- Resig, J. M., 1960. Foraminiferal ecology around ocean outfalls off southern California. *Waste Disposal in the Marine Environment*. Pergamon Press, London. 104-121 pp.
- Rodríguez, L., Zárate, O. & Oyarce, E. 1986. Producción primaria del fitoplancton y su relación con la temperatura, oxígeno, nutrientes y salinidad en la bahía de Mejillones del Sur. *Revista de Biología Marina (Chile)*, 22: 75-96.
- Rojas, P. M. & Landaeta, M. F. 2014. Fish larvae retention linked to abrupt bathymetry at Mejillones Bay (northern Chile) during coastal upwelling events. *Latin America Journal Aquatic Research*, 42(5): 989-1008.
- Rosoff, D.B. & Corliss, B.H. 1992. An analysis of Recent deep-sea benthic foraminiferal morphotypes from the Norwegian and Greenland seas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 91: 13-20.

- Saimic. 2010. Aceites combustibles en invertebrados y sedimentos marinos en la bahía de mejillones; y plan de vigilancia ambiental. Informe técnico. 42 pp.
- Sagasti, G. & Ballent, S. 2002. Microfaunal features of a marine transgression: the Agrio Formation (Lower Cretaceous), Neuquén Basin, Argentina. *Geobios*, 35: 721–734
- Samir, A. M. 2000. The response of benthic foraminifera and ostracods to various pollution sources: a study from two lagoons in Egypt. *Journal Foraminifera Research*, 30: 83-98.
- Samir, A. M. & El-Din, A. B. 2001. Benthic foraminiferal assemblages and morphological abnormalities as pollution proxies in two Egyptian bays. *Marine Micropaleontology*, 41: 193-227.
- Saraswat, R., Roy, C., Khare, N., Saalim, S.M. & Kurtarkar, S.R. 2018. Assessing the environmental significance of benthic foraminiferal morpho-groups from the northern high latitudinal regions, *Polar Science*. doi: 10.1016/j.polar.2018.08.002.
- Schafer, C. T., Wagner, F.J. & Ferguson, C. 1975. Occurrence of foraminifera, molluscs and ostracods adjacent to the industrialized shoreline of Canso Strait, Nova Scotia. *Water, Air and Soil Pollution*, 5: 79-96.
- Schintu, M., Buosi, C., Galgani, F., Marrucci, A., Marras, B., Ibba, A. & Cherchi, A. 2015. Interpretation of coastal sediment quality based on trace metal and PAH analysis, benthic foraminifera, and toxicity tests (Sardinia, Western Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*, 94: 72–83.
- Scott, D., Medioli, F. S. & Schafer, C. 2004. *Monitoring in Coastal Environments Using Foraminifera and Thecamoebian Indicators*. Cambridge University Press. 177p.
- Sellier de Civrieux, J.M. & Bonilla-Ruiz, J. 1971. La influencia de los parámetros fisicoquímicos del fondo en las facies de los foraminíferos bentónicos. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 10(2): 15-34.
- Sen-Gupta, B. K. 2003. *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. 371 pp.
- Sen-Gupta, B. & Machain-Castillo, M. 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology*, 20: 183-201.
- Seiglie, G. A. 1964. Significación de los foraminíferos anormales de la laguna de Unare. *Laguna*, p. 6.

- Seiglie, G. A. 1975. Foraminifers of Guayanilla Bay and their use as environmental indicators. *Revista Española de Micropaleontología*, 7: 453-487.
- Siegel, F. 2002. *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Vol.1: 1 - 228.
- Sievers, H. & Silva, N. 1982. Masas de agua y circulación geostrofica frente a la costa de Chile entre las latitudes 18°S-33°S (Operación Oceanográfica MARCHILE VII). *Ciencia y Tecnología del Mar*, 6: 61-99.
- Silva, N. 1983. Masas de agua y circulación de la región norte de Chile. Latitudes 18°S-32°S. (Operación Oceanográfica MARCHILE XI - ERFEN II). *Ciencia y Tecnología del Mar*, 7: 47-84.
- Sharifi, A.R., Croudace, I.W. & Austin, R.L. 1991. Benthic foraminiferids as pollution indicators in Southampton Water, southern England, UK. *Journal of Micropaleontology*, 10: 109-113.
- Smolén, J. 2012. Faunal dynamics of foraminiferal assemblages in the Bathonian (Middle Jurassic) ore-bearing clays at Gnaszyn, Kraków-Silesia Homocline, Poland. *Acta Geologica Polonica*, 62 (3): 403–419.
- Stouff, V., Debenay, J. P. & Lesourd, M. 1999. Origin of double and multiple tests in benthic foraminifera: observations in laboratory cultures. *Marine Micropaleontology*, 36: 189-204.
- Strub, P., Mesías, J., Montecino, V., Rutland, J. & Salinas, S. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. Chapter 10. *In: Robinson, A. R. & K. H. Brink (eds.). The sea: The global coastal ocean, regional studies and synthesis*. John Wiley and Sons, New York., 273-313 pp.
- Suokhrie, T., Saraswat, R. & Nigam, R. 2017. Foraminifera as Bio-Indicators of Pollution A Review of Research over the Last Decade. *Micropaleontology and its Applications Scientific Publishers (India)*, 265-284.
- Tyszka, J. 1994. Response of Middle Jurassic benthic foraminiferal morphogroups to dysoxic/anoxic conditions in the Pieniny Klippen Basin, Polish Carpathians. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology*, 110: 55–81.
- Universidad de Chile. 2012. Plan de gestión ambiental de la Bahía Mejillones del sur. Laboratorio de Modelación Ecológica, Departamento de Ciencias Ecológicas. Universidad de Chile. Informe final Licitación Pública – ID N°3855-64-LE11. Municipalidad de Mejillones. 65 pp.
- Universidad Católica del Norte. 2013. Programa de seguimiento del medio ambiente marino: Ampliación de las instalaciones portuarias de puerto de mejillones.

- Etapa de operación. Marzo 2010. Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar. 81 pp.
- Valdés, J. 1998. Evolución oceanográfica reciente de la Bahía Mejillones del Sur (23° S). Evidencia geoquímica en sedimentos marinos. Tesis Doctoral, Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 114 pp.
- Valdés, J. 2004. Evaluación de metales redox-sensitivos como proxies de paleoxigenación en un ambiente marino hipóxico del norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77: 121-138.
- Valdés, J., López, L., LoMónaco, S. & Ortlieb, L. 2000. Condiciones paleoambientales de sedimentación y preservación de materia orgánica en bahía Mejillones del Sur (23° S), Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 35 (2): 169-180.
- Valdés, J & Ortlieb, L. 2001. Paleoxigenación subsuperficial de la columna de agua en la bahía Mejillones del sur (23°S): Indicadores geoquímicos en testigos de sedimento marino. *Investigaciones Marinas*, 29(1): 25-35.
- Valdés, J., Ortlieb, L. & Sifeddine, A. 2003. Variaciones del sistema de surgencia de Punta Angamos (23 S) y la Zona de Mínimo Oxígeno durante el pasado reciente. Una aproximación desde el registro sedimentario de la Bahía Mejillones del Sur. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76 (3): 347-362.
- Valdés, J., Vargas, G., Sifeddine, A., Ortlieb, L. & Guiñez, M. 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23° S), northern Chile: geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1558–1568.
- Valdés, J., Román, D., Alvarez, G., Ortlieb, L. & Guiñez, M. 2008. Metals content in surface waters of an upwelling system of the northern Humboldt Current (Mejillones Bay, Chile). *Journal of Marine Systems*, 71:18–30.
- Valdés, J. & Sifeddine, A. 2009. Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la bahía Mejillones del Sur, Chile: evaluación ambiental de la zona costera. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37(2): 131-141.
- Vanicek, V., Juracic, M., Bajraktarevic, Z. & Cósovic, V. 2000. Benthic Foraminiferal Assemblages in a Restricted Environment - An Example from the Mljet Lakes (Adriatic Sea, Croatia). *Geologia Croatica*, 53(2): 269-279.
- Vargas, G., Ortlieb, L., Pichon, J., Bertaux, J. & Pujos, M. 2004. Sedimentary facies and high resolution primary production inferences from laminated diatomaceous sediments off northern Chile (23° S). *Marine Geology*, 211: 79–99.

- Vilela, C. G. & Koutsoukos, E. A. M., 1992. Miliolina (Foraminiferida) em sedimentos recentes da foz do Amazonas: uma resposta comportamental a um ambiente dinâmico. *In: 37th Congresso Brasileiro de Geologia - SBG/SP, Sao Paulo, SP, Brasil, pp. 92-93.*
- Watkins, J. G., 1961. Foraminiferal ecology around the Orange County, California, ocean sewer outfall. *Micropaleontology*, 7: 199-206.
- Williams, C., 1996. Combating marine pollution from land-based activities: Australian initiatives. *Ocean and Coastal Management*, 33 (1-3): 87–112.
- Yanko, V. & Kronfeld, J. 1992. Low and high magnesian calcitic tests of benthic foraminifera chemically mirror morphological deformations. IV International Congress on Paleoceanography, Kiel—Germany, 308 p.
- Yanko, V. & Kronfeld, J. 1993. Trace metal pollution affects the carbonate chemistry of benthic foraminiferal shell. Israel Society for Ecology and Environmental Quality Sciences. 24th Annual Meeting, Tel Aviv University, 46 p.
- Yanko, V., Kronfeld, J. & Flexer, A. 1994. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 24: 1-17.
- Yanko, V. & Kravchuk, O. P. 1996. Geoecological situation and specifics of sedimentological process in Haifa Bay, in Tolstoy M. I., (ed.), *Geoecology of recreational zones of Ukraine*, Astroprint, Odessa, 174–176.
- Yanko, V., Arnold, A. J. & Parker, W. C. 1998. Effects of marine pollution on benthic Foraminifera. *In: Sen Gupta, B.K. (Ed.), Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 217- 235 pp.
- Zalesny, E. R. 1959. Foraminiferal ecology of Santa Monica Bay, California. *Micropaleontology*, 5: 101-126.
- Zapata, J., Zapata, C. & Gutierrez, A. 1995. Foraminíferos bentónicos recientes del sur de Chile. *Gayana Zoológica*, 59 (1):25-40.
- Zúñiga, O. 1974. Cálculo preliminar de la biomasa bentónica de la bahía de Mejillones. *Apuntes Oceanológicos (Chile)*, 6: 1-10.
- Zúñiga, O., Baeza, H. & Castro, R. 1983. Análisis de la macrofauna bentónica del sublitoral de la bahía de Mejillones del Sur. *Estudios Oceanológicos (Chile)*, 3: 41-62.

ANEXOS

Anexo A. Abundancia de individuos/cm³ de los foraminíferos bentónicos encontrados en las estaciones de muestreo (escala espacial)

Isobata	Estación	Abundancia (ind/cm ³)
10 m	T4	560,51
	T6	5,10
	T7	244,59
	T8	40,76
	BMS 2010	173,25
50 m	T8	36,94
	T8 FDI	40,76
	T4	1482,80
	T7	11,15
	T6	2,95
70-75 m	T8	35,67
	T4	76,43
	T6	10,83
	T7	22,93
	T1	535,03
90- 110 m	BMS-110 m	856,05
	BMS- 100 m	72,61
	BMS-90 m	56,05

Anexo B. Abundancia de individuos/cm³ de los foraminíferos bentónicos encontrados en los testigos de sedimento (escala temporal)

Estrato	Testigo	Abundancia (ind/cm ³)
0-1 cm	ZA	465,29
	Z1A	4,14
1-2 cm	ZA	3757,96
	Z1A	751,59
2-3 cm	ZA	318,15
	Z1A	126,11
3-4 cm	ZA	663,69
	Z1A	1025,48
4-5 cm	ZA	416,56
	Z1A	653,50
5-6 cm	ZA	337,58
	Z1A	822,93
6-7 cm	Z1A	349,04
7-8 cm	Z1A	168,31

Anexo C. Número de individuos de las especies de foraminíferos bentónicos registrados en cada isobata (escala espacial).

Especie	10m					50m				70-75m					90-110m			Total	
	T4	T6	T7	T8	BMS	T8	FDI	T4	T7	T6	T8	T4	T6	T7	T1	BMS-110m	BMS-100m		BMS-90m
<i>Bolivina seminuda</i>	256	12	96	0	64	16	512	8	10		24	72	20	24	400	1968	136	0	3622
<i>Bolivina ordinaria</i>	0	0	0	0	0	16	32	0	0		0	0	0	0	16	0	0	0	76
<i>Bolivina costata</i>	48	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	16	48	0	0	112
<i>Bolivina plicata</i>	0	0	0	0	0	8	16	4	0		40	24	0	0	16	0	64	16	196
<i>Bolivina striatula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	16	0	0	80	48	0	152
<i>Bolivina earlandi</i>	0	0	0	0	0	8	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Bolivina doniezi</i>	0	0	0	16	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	16
<i>Fursenkoina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	16	0	0		8	32	20	24	64	64	24	32	284
<i>Bulimina patagonica</i>	0	0	16	0	0	0	48	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	64
<i>Buccella frigida</i>	0	0	0	0	0	16	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	16
<i>Buccella peruviana</i>	160	4	16	0	64	24	112	0	2		0	0	0	0	112	0	0	0	514
<i>Buliminella elegantissima</i>	672	4	176	0	64	24	2352	84	42		48	168	16	24	496	96	64	32	4438
<i>Cassidulina crassa</i>	128	0	0	0	0	0	80	4	2		0	32	0	0	16	0	0	0	298
<i>Cassidulina laevigata</i>	32	0	80	0	0	32	0	0	0		0	8	0	0	64	0	0	0	216
<i>Cibicides aknerianus</i>	0	0	0	16	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	16
<i>Cibicides variabilis</i>	16	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	16
<i>Cibicoides wuellerstorfi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	16
<i>Cibicidinella variabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	12
<i>Discorbis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Epistominella exigua</i>	64	4	64	0	0	24	1296	4	8		40	48	20	8	336	128	0	0	2176
<i>Hoeglundina elegans</i>	0	0	0	0	64	0	16	0	0		8	0	0	0	0	0	16	0	104
<i>Hanzawaia boueana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	16	0	0	16
<i>Haynesina depressula</i>	0	0	0	80	0	8	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	96
<i>Hemisphaerammina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	8	0	8
<i>Nonionoides grateloupi</i>	48	0	0	0	0	0	32	0	2		8	32	0	0	0	16	32	0	170
<i>Nonionella stella</i>	176	0	0	0	0	0	80	20	4		24	48	36	40	16	64	32	16	576
<i>Nonionella auris</i>	0	0	0	0	64	0	16	8	2		8	8	0	0	48	80	0	0	238
<i>Quinqueloculina seminula</i>	0	8	0	16	0	8	0	0	0		0	0	0	0	0	16	0	0	76
<i>Rosalina cora</i>	160	20	160	0	192	8	16	0	0		16	0	0	0	32	0	0	16	628
<i>Rosalina floridana</i>	0	0	0	0	0	40	0	4	2		0	8	0	0	16	16	0	0	114
<i>Deuterammina rotaliformis</i>	0	0	32	0	64	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	108
<i>Rotaliammina squamiformis</i>	0	8	96	0	448	8	0	0	0		0	0	0	8	0	32	0	16	632
<i>Trochammina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	8	16	16	16	24	48	128
<i>Textularia gramen</i>	0	0	0	0	0	8	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Valvulineria scintillians</i>	0	4	16	0	0	8	16	0	0		0	0	0	0	0	16	0	0	72
<i>Valvulineria inflata</i>	0	0	0	0	64	0	16	4	0		0	0	0	0	0	16	0	0	100
<i>Valvulineria olssoni</i>	0	0	16	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	16	0	0	0	32
<i>Valvulineria bradyana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	16	0	0	16
<i>Virgulineria fragilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	8	0	8
Total	1760	64	768	128	1088	256	4656	140	74		224	480	136	144	1680	2688	456	176	15382

Anexo D. Número de individuos de las especies de foraminíferos bentónicos registrados en cada estrato de los testigos ZA y Z1A (escala temporal).

Especie	0-1 cm		1-2 cm		2-3 cm		4-5 cm		6-7 cm	7-8 cm	Total
	ZA	Z1A	ZA	Z1A	ZA	Z1A	ZA	Z1A	Z1A	Z1A	
<i>Bolivina costata</i>	1256	0	2432	72	552	20	152	80	72	0	4636
<i>Bolivina ordinaria</i>	0	0	32	0	8	0	8	24	0	0	72
<i>Bolivina plicata</i>	0	0	0	0	8	0	0	8	0	0	16
<i>Bolivina seminuda</i>	17960	16	15168	300	3504	182	696	744	432	224	39226
<i>Bolivina variabilis</i>	0	0	32	0	8	0	16	0	0	0	56
<i>Fursenkoina</i> sp.	368	0	8576	84	640	42	168	296	64	48	10286
<i>Suggrunda porosa</i>	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	32
<i>Buccella peruviana</i>	0	0	0	0	8	2	0	8	24	16	58
<i>Buliminella elegantissima</i>	696	0	8832	344	1304	200	744	1152	456	264	13992
<i>Bulimina patagonica</i>	0	0	32	0	0	4	0	24	16	0	76
<i>Cassidulina laevigata</i>	1504	0	1696	4	384	2	8	0	0	0	3598
<i>Cassidulina carinata</i>	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152
<i>Cassidulina crassa</i>	0	0	0	0	0	0	8	64	32	48	152
<i>Cassidulina</i> sp.	0	1	96	0	0	0	0	0	0	0	97
<i>Cibicidinella variabilis</i>	0	0	0	0	0	0	8	8	8	0	24
<i>Epistominella exigua</i>	112	2	3744	96	264	80	248	432	160	64	5202
<i>Fissurina</i> sp.	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Lotostomoides calomorpha</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudononion japonicus</i>	0	1	0	0	0	0	0	8	8	0	17
<i>Quinqueloculina seminula</i>	0	0	384	8	8	0	32	32	24	25	513
<i>Nonionella stella</i>	176	6	576	180	104	150	32	520	432	104	2280
<i>Nonionella auris</i>	448	0	5184	32	928	70	400	368	168	80	7678
<i>Nonionoides grateloupi</i>	48	0	0	0	0	2	40	264	256	144	754
<i>Biarrizina</i> sp.	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Rosalina cora</i>	0	0	48	20	48	8	0	40	16	24	204
<i>Rosalina floridana</i>	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	8
<i>Rotaliammina squamiformis</i>	0	0	60	28	56	6	16	8	16	0	190
<i>Trochammina plana</i>	16	0	8	8	16	24	16	8	8	8	112
<i>Valvulineria inflata</i>	168	0	128	0	48	0	0	0	0	0	344
<i>Valvulineria</i> sp.	456	0	96	0	88	0	8	0	0	0	648
<i>Virgulineria fragilis</i>	0	0	44	4	16	0	8	16	0	8	96
Total	23376	26	47200	1180	7992	792	2616	4104	2192	1057	

Anexo E. Abundancia de individuos (%) de foraminíferos bentónicos por cada especie registrada, en la isobata de 10 m (escala espacial)

Especie	T4-10 m	T6-10 m	T7-10 m	T8-10 m	BMS-10m
<i>Bolivina seminuda</i>	14,55	18,75	12,50	0,00	5,88
<i>Bolivina costata</i>	2,73	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Bolivina doniezi</i>	0,00	0,00	0,00	12,50	0,00
<i>Bulimina patagonica</i>	0,00	0,00	2,08	0,00	0,00
<i>Buccella peruviana</i>	9,09	6,25	2,08	0,00	5,88
<i>Buliminella elegantissima</i>	38,18	6,25	22,92	0,00	5,88
<i>Cassidulina crassa</i>	7,27	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cassidulina laevigata</i>	1,82	0,00	10,42	0,00	0,00
<i>Cibicides aknerianus</i>	0,00	0,00	0,00	12,50	0,00
<i>Cibicides variabilis</i>	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Epistominella exigua</i>	3,64	6,25	8,33	0,00	0,00
<i>Hoeglundina elegans</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88
<i>Haynesina depressula</i>	0,00	0,00	0,00	62,50	0,00
<i>Nonionoides grateloupi</i>	2,73	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nonionella stella</i>	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nonionella auris</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88
<i>Quinqueloculina seminula</i>	0,00	12,50	0,00	12,50	0,00
<i>Rosalina cora</i>	9,09	31,25	20,83	0,00	17,65
<i>Deuterammia rotaliformis</i>	0,00	0,00	4,17	0,00	5,88
<i>Rotaliammina squamiformis</i>	0,00	12,50	12,50	0,00	41,18
<i>Valvulineria scintillians</i>	0,00	6,25	2,08	0,00	0,00
<i>Valvulineria inflata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88
<i>Valvulineria olssoni</i>	0,00	0,00	2,08	0,00	0,00

Anexo F. Abundancia de individuos (%) de foraminíferos bentónicos por cada especie registrada, en la isobata de 50 m (escala espacial)

Especie	T8-50 m	T8 FDI- 50 m	T4-50 m	T7-50 m	T6-50 m
<i>Bolivina seminuda</i>	0,86	6,25	11,00	5,71	13,51
<i>Bolivina ordinaria</i>	2,59	6,25	0,69	0,00	0,00
<i>Bolivina plicata</i>	1,72	3,13	0,34	2,86	0,00
<i>Bolivina striatula</i>	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Bolivina earlandi</i>	0,00	3,13	0,00	0,00	0,00
<i>Fursenkoina</i> sp.	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00
<i>Bulimina patagonica</i>	0,00	0,00	1,03	0,00	0,00
<i>Buccella frigida</i>	0,00	6,25	0,00	0,00	0,00
<i>Buccella peruviana</i>	4,31	9,38	2,41	0,00	2,70
<i>Buliminella elegantissima</i>	16,38	9,38	50,52	60,00	56,76
<i>Cassidulina crassa</i>	7,76	0,00	1,72	2,86	2,70
<i>Cassidulina laevigata</i>	0,00	12,50	0,00	0,00	0,00
<i>Cibicidoides wuellerstorfi</i>	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cibicidinella variabilis</i>	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Discorbis</i> sp.	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Epistominella exigua</i>	28,45	9,38	27,84	2,86	10,81
<i>Hoeglundina elegans</i>	0,00	0,00	0,34	0,00	0,00
<i>Haynesina depressula</i>	1,72	3,13	0,00	0,00	0,00
<i>Nonionoides grateloupi</i>	0,00	0,00	0,69	0,00	2,70
<i>Nonionella stella</i>	4,31	0,00	1,72	14,29	5,41
<i>Nononinella auris</i>	0,86	0,00	0,34	5,71	2,70
<i>Quinqueloculina seminula</i>	6,03	3,13	0,00	0,00	0,00
<i>Rosalina cora</i>	1,72	3,13	0,34	0,00	0,00
<i>Rosalina floridana</i>	6,03	15,63	0,00	2,86	2,70
<i>Deuterammia rotaliformis</i>	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Rotaliammina squamiformis</i>	3,45	3,13	0,00	0,00	0,00
<i>Textularia gramen</i>	0,00	3,13	0,00	0,00	0,00
<i>Valvulineria scintillians</i>	2,59	3,13	0,34	0,00	0,00
<i>Valvulineria inflata</i>	0,00	0,00	0,34	2,86	0,00

Anexo G. Abundancia de individuos (%) de foraminíferos bentónicos por cada especie registrada, en la isobata de 70 – 75 m (escala espacial)

Especie	T8-75m	T4- 75m	T6-70m	T7-75m	T1-75m
<i>Bolivina seminuda</i>	10,71	15,00	14,71	16,67	23,81
<i>Bolivina ordinaria</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95
<i>Bolivina costata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95
<i>Bolivina plicata</i>	17,86	5,00	0,00	0,00	0,95
<i>Bolivina striatula</i>	0,00	0,00	11,76	0,00	0,00
<i>Fursenkoina sp.</i>	3,57	6,67	14,71	16,67	3,81
<i>Buccella peruviana</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67
<i>Buliminella elegantissima</i>	21,43	35,00	11,76	16,67	29,52
<i>Cassidulina crassa</i>	0,00	6,67	0,00	0,00	0,95
<i>Cassidulina laevigata</i>	0,00	1,67	0,00	0,00	3,81
<i>Epistominella exigua</i>	17,86	10,00	14,71	5,56	20,00
<i>Hoeglundina elegans</i>	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Nonionoides grateloupi</i>	3,57	6,67	0,00	0,00	0,00
<i>Nonionella stella</i>	10,71	10,00	26,47	27,78	0,95
<i>Nononinella auris</i>	3,57	1,67	0,00	0,00	2,86
<i>Rosalina cora</i>	7,14	0,00	0,00	0,00	1,90
<i>Rosalina floridana</i>	0,00	1,67	0,00	0,00	0,95
<i>Rotaliammina squamiformis</i>	0,00	0,00	0,00	5,56	0,00
<i>Trochammina sp.</i>	0,00	0,00	5,88	11,11	0,95
<i>Valvulineria olssoni</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95

Anexo H. Abundancia de individuos (%) de foraminíferos bentónicos por cada especie registrada, en la isobata de 90- 110 m (escala espacial)

Especie	BMS-110 m	BMS-100 m	BMS- 90 m
<i>Bolivina seminuda</i>	73,21	29,82	0,00
<i>Bolivina costata</i>	1,79	0,00	0,00
<i>Bolivina plicata</i>	0,00	14,04	9,09
<i>Bolivina striatula</i>	2,98	10,53	0,00
<i>Fursenkoina sp.</i>	2,38	5,26	18,18
<i>Buliminella elegantissima</i>	3,57	14,04	18,18
<i>Epistominella exigua</i>	4,76	0,00	0,00
<i>Hoeglundina elegans</i>	0,00	3,51	0,00
<i>Hanzawaia boueana</i>	0,60	0,00	0,00
<i>Hemisphaerammina sp.</i>	0,00	1,75	0,00
<i>Nonionoides grateloupi</i>	0,60	7,02	0,00
<i>Nonionella stella</i>	2,38	7,02	9,09
<i>Nonionella auris</i>	2,98	0,00	0,00
<i>Quinqueloculina seminula</i>	0,60	0,00	0,00
<i>Rosalina cora</i>	0,00	0,00	9,09
<i>Rosalina floridana</i>	0,60	0,00	0,00
<i>Rotaliammina squamiformis</i>	1,19	0,00	9,09
<i>Trochammina sp.</i>	0,60	5,26	27,27
<i>Valvulineria scintillians</i>	0,60	0,00	0,00
<i>Valvulineria inflata</i>	0,60	0,00	0,00
<i>Valvulineria bradyana</i>	0,60	0,00	0,00
<i>Virgulineria fragilis</i>	0,00	1,75	0,00

Anexo I. Abundancia de individuos (%) de foraminíferos bentónicos por cada especie registrada, en los testigos de sedimento (escala temporal)

Especie	Estrato	0-1 cm		1-2 cm		2-3 cm		4-5 cm		6-7 cm	7-8 cm
	Testigo	Z1A	ZA	Z1A	ZA	Z1A	ZA	Z1A	ZA	Z1A	Z1A
<i>Epistominella exigua</i>		8,00	0,48	7,32	7,95	8,87	3,35	10,69	9,28	7,27	6,05
<i>Bolivina costata</i>		0,00	5,37	5,49	5,17	2,22	7,00	1,98	5,69	3,27	0,00
<i>Bolivina plicata</i>		0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,10	0,59	0,30	0,00	0,00
<i>Bolivina ordinaria</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00
<i>Bolivina seminuda</i>		64,00	76,83	22,87	32,23	20,18	44,46	18,42	26,05	19,64	21,19
<i>Bolivina variabilis</i>		0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,10	0,00	0,60	0,00	0,00
<i>Fursenkoina sp.</i>		0,00	1,57	6,40	18,22	4,66	8,12	7,33	6,29	2,91	4,54
<i>Suggrunda porosa</i>		0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Buliminella elegantissima</i>		0,00	2,98	26,22	18,76	22,17	16,54	28,51	27,84	20,73	24,98
<i>Bulimina patagonica</i>		0,00	0,00	2,44	0,00	0,00	0,05	0,00	0,90	0,73	0,00
<i>Valvulineria inflata</i>		0,00	0,72	0,00	0,27	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Valvulineria sp.</i>		0,00	1,95	0,00	0,20	0,00	1,12	0,00	0,30	0,00	0,00
<i>Cassidulina laevigata</i>		0,00	6,43	0,30	3,60	0,22	4,87	0,00	0,30	0,00	0,00
<i>Cassidulina carinata</i>		0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cassidulina crassa</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,58	0,30	1,45	4,54
<i>Cassidulina sp.</i>		0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cibicidinella variabilis</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,73	0,00
<i>Nonionella stella</i>		24,00	0,75	13,72	1,22	16,63	1,32	12,87	1,20	19,64	9,84
<i>Nonionella auris</i>		0,00	1,92	2,44	11,01	7,76	11,77	9,11	14,97	7,64	7,57
<i>Nonionoides grateloupi</i>		0,00	0,21	0,00	0,00	0,22	0,00	6,53	1,50	11,64	13,62
<i>Pseudononion japonicus</i>		4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,36	0,00
<i>Biarrizina sp.</i>		0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Buccella peruviana</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,10	0,20	0,00	1,09	1,51
<i>Virgulina fragilis</i>		0,00	0,00	3,35	0,01	1,77	0,00	0,20	0,60	0,00	0,76
<i>Lotostomoides calomorpha</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Fissurina sp.</i>		0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Trochammina plana</i>		0,00	0,07	0,61	0,02	2,66	0,20	0,20	0,60	0,36	0,76
<i>Quinqueloculina seminula</i>		0,00	0,00	0,61	0,82	0,00	0,10	0,79	1,20	1,09	2,37
<i>Rosalina cora</i>		0,00	0,00	3,66	0,04	5,32	0,10	0,00	1,50	0,73	2,27
<i>Rosalina floridana</i>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00
<i>Rotiammina squamiformis</i>		0,00	0,00	4,57	0,06	6,21	0,08	0,40	0,30	0,73	0,00