



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

## TESIS DE DOCTOR EN BIOLOGÍA

EFFECTO DE LOS DEPÓSITOS DE GAS SOMERO DEL FONDO MARINO EN LAS  
COMUNIDADES MACROBENTÓNICAS DEL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA

Lic. María Emilia Bravo

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2019

## **PREFACIO**

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Biología, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia durante el período comprendido entre el 1 de abril de 2014 y el 20 de noviembre de 2018, bajo la dirección de la Dra Sandra Marcela Fiori y el Dr. Salvador Aliotta.

María Emilia Bravo



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el ..../..../..... , mereciendo  
la calificación de .....(.....)

*Este trabajo de Tesis Doctoral se lo quiero dedicar a mi familia...*

*...y a la memoria del Dr. Guillermo Omar Lizasoain (Willy)  
porque sus matecitos de todos los días, su compañía y paciencia, su predisposición  
para ayudarme siempre, y sus consejos académicos y personales, durante la totalidad  
de la realización de esta Tesis, fueron indispensables.*



## **Agradecimientos**

A mi director, el Dr. Salvador Aliotta, por abrirme las puertas de su grupo de trabajo. Por su dedicación, su capacidad pedagógica y, sobre todo, su paciencia para introducirme en el mundo de la Geología y Geofísica Marina. Por permitirme participar en la campaña de muestreo en “El Embudo”. Así como por su predisposición e interés ante nuevas ideas. Por permitir mi capacitación profesional mediante la participación en cursos y otros proyectos de investigación.

A mi directora, la Dra. Sandra Fiori, por mantenerme como parte del equipo de trabajo desde la Tesis de Licenciatura. Por brindarme la posibilidad de aumentar mi experiencia y confiar en mí al incorporarme y darme mucha responsabilidad en sus proyectos de investigación en playas, El Rincón y estuario de Bahía Blanca. Por su predisposición, interés y sentido crítico ante nuevas ideas. Por incentivar mi participación en cursos y otros proyectos de investigación. Por su paciencia, confianza y apoyo personal.

A la Dirección del Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia por permitirme inscribir como alumna de la carrera de Doctor en Biología.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por otorgarme la beca para realizar mi trabajo, un trabajo que por momentos confundí con un “*hobby* financiado”.

A la Dirección del Instituto Argentino de Oceanografía por brindarme lugar de trabajo y todas las herramientas y medios necesarios para poder llevarlo a cabo.

A todos los integrantes del Grupo de Geología y Geofísica Marina: Guillermo Lizasoain, Marta Minor, Jorge Spagnuolo, Laura Vecchi, Eliana Pereyra, Agustina Andreoli, y del Grupo de Ecología Bentónica Costera: Cecilia Carcedo y Eder Dos Santos, así como a la Dra. Silvia Susana Ginsberg, por su invaluable apoyo profesional y personal.

A Alberto (Beto) Conte, Enio Redondo y Juan Carlos Albrizzio por su paciencia, buena onda y ayuda en las campañas de muestreo a bordo de la “Buen Día Señor”.

Al personal del Laboratorio de Geología por su ayuda para usar el Mastersizer, para cortar los testigos, entre otras cosas.

A todas las personas que fueron mi compañía en algún momento en la Sala de Microscopía (mi segundo hogar). En especial a todas las personas del IADO que soportaron mis excesos de curiosidad y respondieron a mis consultas sobre algún animal, alga o mineral.

A todos los especialistas que me ayudaron a identificar algún organismo: Dra. Gabriela Blasina (IADO-CONICET), Dr. Gabriel Genzano (IIMYC-CONICET), Dr. Rodolfo Elías (Universidad Nacional de Mar del Plata), Dr. Martín Brogger (IBIOMAR-CENPAT), Dr. Sergio Salazar-Vallejo (El Colegio de la Frontera Sur) y Lic. Leslie Harris (Natural History Museum of Los Angeles County).

A todo el personal y becarios del IADO por convertir al Instituto en un lugar cómodo de trabajo del que también me llevo buenos amigos y muchísimos recuerdos y anécdotas, en especial, de las charlas en la cocina, de los *after office* y los asaditos.

A mis amigas de la uni, del IADO, de Antártida, del IgeBA y de la vida por apoyarme con la Tesis siempre que lo necesité.

A mis padres (Marcela y Juan Carlos) y mi hermano (Juan Cruz) por su apoyo tan incondicional como gigante y por fomentar que siga mi vocación con todo el esfuerzo que implique. Tanto a ellos como a mis abuelos: Jorge, Cholo y Tota por esforzarse al intentar entender mi trabajo. A mis compañeros peludos: Cande, Felipe, Rocco y Sharon.

## Resumen

Esta tesis tiene como finalidad caracterizar los depósitos de gas somero de la zona interna del estuario de Bahía Blanca y evaluar el efecto de los sedimentos gasíferos sobre las comunidades bentónicas submareales asociadas. Para tal fin, se mapeó la distribución del gas somero en el estuario mediante el análisis de registros sísmicos de alta resolución. En base a este mapa, se seleccionaron dos sitios de estudio (con gas y control) que sólo difirieron en la presencia de gas en contacto con la superficie del fondo marino. Mediante métodos acústicos se determinó la estratigrafía y morfología del sitio con gas y el área adyacente. Además, se evaluaron los sedimentos gasíferos por medio de los siguientes análisis: granulometría, contenido de materia orgánica, rayos X y medición con HPLC *head space*. Los organismos bentónicos de ambos sitios fueron comparados en términos de abundancia, biomasa, diversidad, equitatividad, riqueza específica, estructura taxonómica y funcional. El gas se encontró ampliamente distribuido en el estuario, tanto cerca como en contacto con la superficie del fondo marino de la zona interna del estuario de Bahía Blanca. Se evidenció en forma de turbidez acústica y apantallamiento acústico. La columna sismoestratigráfica presentó cinco secuencias sísmicas del Pleistoceno tardío-Holoceno. Se estableció que el origen del gas es biogénico, asociado a un depósito del Holoceno Medio, desde el cual migró hasta estar en contacto con la superficie del fondo gracias a la permeabilidad de los estratos suprayacentes. El gas en la superficie del fondo fue evidenciado en sonogramas por medio de la atenuación de la señal acústica, lo que evidencia una baja cohesión de los materiales por la disminución en el esfuerzo de corte generada por las burbujas de gas. La granulometría de los sedimentos fue similar en ambos sitios, caracterizada como fango arenoso. Los sedimentos gasíferos presentaron un mayor contenido de materia orgánica. Los análisis de rayos X demostraron mayor homogeneidad en la columna de sedimentos gasíferos, respecto a los del sitio control. La medición cualitativa del gas con HPLC probó la presencia del gas metano. La riqueza específica, diversidad, equitatividad y abundancia total de organismos fue menor en el sitio con gas. Entre sitios con gas y control hubo marcadas diferencias en la estructura taxonómica. Se encontraron taxa caracterizando los

sedimentos gasíferos como *Stylatula darwini*, *Aricidea* sp. y nematodos, y otros ausentes como *Polydora cornuta* y *Monocorophium insidiosum* lo que indicaría una alta sensibilidad de estas especies al gas. La diferencia en la estructura comunitaria entre sitios fue explicada por el contenido de materia orgánica de los sedimentos. Además, la estructura funcional de la comunidad bentónica en el sitio con gas presenta una mayor diversidad de roles ecológicos que en el sitio control. Se concluye que la baja estabilidad y cohesividad, así como el alto contenido de materia orgánica de los sedimentos gasíferos afecta a especies sensibles comunes en el área de estudio. Resultando en un hábitat dominado por especies oportunistas, así como, por algunos taxa que podrían utilizar indirectamente el metano como fuente de energía.

## Abstract

The aim of this thesis is to characterize the shallow gas deposits of the inner area of the Bahía Blanca estuary and to evaluate the effect of the gas-bearing sediments on the associated subtidal benthic communities. For this purpose, the distribution of shallow gas in the estuary was mapped through the analysis of high-resolution seismic records. Based on this map, two study sites were selected (with gas and control) that only differed in the presence of gas in contact with the surface of the seabed. Acoustic methods were used to determine the stratigraphy and morphology of the site with gas and the adjacent area. In addition, the gas sediments were evaluated by means of the following analyses: grain size, organic matter content, X-rays and HPLC head space measurement. The benthic organisms of both sites were compared in terms of abundance, biomass, diversity, evenness, species richness, taxonomic and functional structure. The gas was found widely distributed in the estuary, both near and in contact with the surface of the seabed of the inner area of the Bahía Blanca estuary. It was evidenced in the form of acoustic turbidity and acoustic blanking. The seismo-stratigraphic column presented five seismic sequences of the late Pleistocene-Holocene. It was established that the gas origin is biogenic, being associated with a Middle Holocene deposit, from which it migrated until it was in contact with the surface of the seabed due to the permeability of the overlying strata. The gas in the surface of the seabed was evidenced in sonograms by means of the attenuation of the acoustic signal, which evidences a low cohesion of the materials by the decrease in the shear stress generated by the gas bubbles. The grain size of sediments was similar in both sites, characterized as sandy mud. The gas-bearing sediments presented a higher content of organic matter. X-ray analysis showed greater homogeneity in the gassy sediments column, compared to the control site. The qualitative measurement of the gas with HPLC proved the presence of methane gas. The species richness, diversity, evenness and total abundance of organisms was lower in the gas site. There were marked differences in the taxonomic structure between gas and control sites. There were found taxa characterizing the gas-bearing sediments as *Stylatula darwini*, *Aricidea* sp. and nematodes, and others absent in this site, such as *Polydora cornuta* and *Monocorophium insidiosum*, which would indicate a high sensitivity of these species

to gas. The difference in community structure between sites was explained by the organic matter content of the sediments. In addition, the functional structure of the benthic community in the gas site presents a greater diversity of ecological roles than in the control site. It is concluded that the low stability and cohesiveness, as well as the high organic matter content of the gas sediments affects common sensitive species in the study area. Resulting in a habitat dominated by opportunistic species, as well as by some taxa that could indirectly use methane as an energy source.

## Índice

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos.....	III
Resumen.....	VI
Abstract.....	VIII

## CAPITULO I

---

### Introducción General

<b>1 Gas somero</b>	
<i>1.1 Origen del gas somero.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2 Antecedentes y distribución mundial.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3 Implicancias.....</i>	<i>11</i>
<i>1.4 Tipo de evidencias sismoacústicas.....</i>	<i>12</i>
<i>1.5 Antecedentes regionales y en el estuario de Bahía Blanca.....</i>	<i>14</i>
<b>2. Comunidades Bentónicas de Macroinvertebrados de fondos blandos</b>	
<i>2.1 Generalidades.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2 Antecedentes en la Argentina.....</i>	<i>18</i>
<i>2.3 Comunidades bentónicas asociadas a gas.....</i>	<i>20</i>
<b>3. Objetivos del Trabajo de Tesis</b>	
<i>3.1 Objetivo general.....</i>	<i>21</i>
<i>3.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>21</i>



<b>4. Hipótesis y predicciones</b>	
4.1 <i>Hipótesis</i> .....	22
4.2 <i>Predicciones</i> .....	22
5. <b>Área de estudio</b> .....	23

## **CAPITULO II**

---

### **Materiales y Métodos**

<b>6. Distribución del gas somero</b>	
<b>6.1 Trabajo de campo</b>	
6.1.1 <i>Embarcación y sistema de posicionamiento</i> .....	28
6.1.2 <i>Perfilador de sub-fondo de 3,5 kHz</i> .....	28
<b>6.2 Tareas de gabinete</b> .....	32
<b>7. Morfología y sedimentos de fondo y sub-fondo</b>	
<b>7.1 Tareas de campo</b>	
7.1.1 <i>Muestreo de sedimento</i> .....	33
7.1.2 <i>Sonar de barrido lateral</i> .....	35
<b>7.2 Tareas de laboratorio</b>	
7.2.1 <i>Análisis granulométrico</i> .....	38
7.2.2 <i>Análisis de contenido de materia orgánica</i> .....	38
7.2.3 <i>Análisis de testigos con Rayos X</i> .....	40
7.2.4 <i>Medición cualitativa de gas metano</i> .....	40
<b>7.3 Tareas de gabinete</b>	
7.3.1 <i>Interpretación de los registros de Sonar de barrido lateral</i> .....	41
7.3.2 <i>Análisis granulométrico de los sedimentos</i> .....	41
7.3.3 <i>Análisis del contenido de materia orgánica</i> .....	42
<b>8. Caracterización de la comunidad bentónica de sedimentos gasíferos</b>	
<b>8.1 Tareas de campo</b> .....	43

<b>8.2 Tareas de laboratorio</b> .....	<b>44</b>
<b>8.3 Análisis estadístico de los datos</b>	
8.3.1 <i>Matriz de datos ambientales</i> .....	45
8.3.2 <i>Diversidad y estructura comunitaria en base a muestras de draga</i> .....	45
8.3.3 <i>Diversidad y estructura comunitaria en base a muestras de rastra</i> .....	47
8.3.4 <i>Comparación de datos de rastra versus draga Van Veen</i> .....	47
8.3.5 <i>Ecología funcional</i> .....	47

## **CAPITULO III**

---

### **Resultados**

<b>9. Distribución del gas somero en el estuario de Bahía Blanca</b> .....	<b>51</b>
<b>10. Morfología y sedimentos de fondo y sub-fondo</b>	
10.1 <i>Interpretación de registros de Sonar de barrido lateral</i> .....	55
10.2 <i>Caracterización sedimentológica</i> .....	61
10.3 <i>Análisis de testigos con Rayos X</i> .....	63
10.4 <i>Medición cualitativa de gas metano</i> .....	70
<b>11. Caracterización estructural de la comunidad bentónica de sedimentos gasíferos</b>	
11.1 <i>Matriz de datos ambientales</i> .....	71
11.2 <i>Diversidad y estructura comunitaria en base a muestras de draga</i> .....	73
11.3 <i>Diversidad y estructura comunitaria en base a muestras de rastra</i> .....	83
11.4 <i>Comparación de distintas metodologías de muestreo (dragas Van Veen y rastra)</i> .....	88
11.5 <i>Ecología funcional</i> .....	94

**CAPITULO IV**

---

**Discusión**

**12. Sedimentos gasíferos del estuario de Bahía Blanca.....116**

**13. Efectos de los sedimentos gasíferos sobre la comunidad bentónica..127**

**CAPITULO V**

---

**14. Conclusiones.....141**

**15. Bibliografía.....144**

**16. Trabajos extraídos de la presente Tesis.....176**

**Anexo.....177**

# CAPÍTULO I

## **Introducción General**

### **1. Gas Somero**

#### ***1.1 Origen del gas somero***

En el presente trabajo de Tesis se considera gas somero a aquellos depósitos de gas (conformados principalmente por gas metano) que se encuentran ubicados en la columna de sedimentos a unos pocos metros o en contacto con el fondo marino.

Los diferentes tipos y orígenes de acumulaciones de gas están íntimamente relacionados con los procesos sedimentológicos y evolutivos que ocurren en los ambientes depositacionales (García-Gil et al. 2002). Los cambios en el nivel del mar generaron drásticas modificaciones en la distribución y concentración de materia orgánica de áreas costeras (Weschenfelder et al. 2016). De esta manera, ambientes con alta productividad biológica y de características depositacionales como plataformas continentales someras o áreas cerradas, lagos, bahías y rías proveen condiciones favorables para la formación de gas (Weschenfelder et al. 2016). El soterramiento de fangos ricos en materia orgánica por sedimentos marinos que se dio durante el último proceso transgresivo post-glacial ha sido propuesto como una de las principales causas de formación de depósitos de gas somero en diversos sectores costeros del mundo (Hill et al. 1992, Karisiddaiah & Veerayya 1994, Missiaen et al. 2002, Iglesias & García-Gil 2007, Giagante et al. 2008, Aliotta et al. 2009, Weschenfelder et al. 2016).

Existen diferentes fuentes posibles de formación de depósitos de gas somero. Esas pueden ser clasificadas en base a su origen como biogénico y termogénico. El gas biogénico deriva de reducción microbiana de materia orgánica en sedimentos relativamente superficiales. En tanto que, el gas termogénico se produce a partir de precursores orgánicos a alta temperatura y presión y, en consecuencia, normalmente se forma a profundidades mayores a 1000 m. Este gas puede migrar hacia la superficie quedando atrapado en acumulaciones de gas somero. Otra fuente

termogénica de gas son los hidratos de metano que se forman a alta presión y baja temperatura y, al desestabilizarse, producen depósitos superficiales de gas (Floodgate & Judd 1992).

Para establecer el origen del gas se requiere de un análisis geoquímico (medición de relaciones de isótopos estables) o una correcta caracterización de la configuración sismoestratigráfica del subsuelo. Las medidas de isótopos estables deben hacerse sobre muestras del fondo marino o por análisis del agua marina cercana al fondo (Davis 1992, Floodgate & Judd 1992). Se utilizan diferentes elementos para este fin: azufre, hidrógeno, nitrógeno y carbono (Judd & Hovland 2009). Sin embargo, el elemento más utilizado es el carbono. El carbono tiene dos isótopos estables  $^{13}\text{C}$  y  $^{12}\text{C}$ , de los cuales el último es el más abundante (Judd & Hovland 2009). Es posible identificar el origen del gas metano en base a la siguiente relación entre estos isótopos estables:

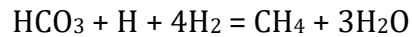
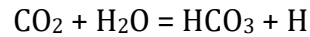
$$\delta^{13}\text{C} = \left[ \left( \frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ muestra}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ estándar}} \right) - 1 \right] \times 1000$$

por lo tanto:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[ \left( \frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ muestra}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ estándar}} \right) - 1 \right] \times 1000$$

El estándar más utilizado es el de PeeDee Belemnita (PDB). El metano de origen termogénico presenta  $\delta^{13}\text{C}\%$  de entre -60 a -20%, mientras que, aquel de origen biogénico tiene un rango de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -60 a -80% (Floodgate & Judd 1992).

Solo unas pocas especies de microorganismos son capaces de formar metano y estos son los que pertenecen al grupo de las Archaeas. Las Archaeas metanogénicas se encuentran en muchos suelos como en marismas, campos de arroz, fangos de agua dulce y marina, intestinos de animales, plantas de aguas residuales y vertederos (Zeikhus 1977). Todas son estrictamente anaeróbicas. Estas especies pueden reducir el dióxido de carbono a metano utilizando hidrógeno de acuerdo a la siguiente fórmula:



Para que se den las condiciones de anaerobiosis en el ambiente marino es necesario que el sedimento sea un fango cohesivo. La reducción de sulfato para producir sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) se convierte en la forma dominante de respiración tras el inicio de las condiciones anaeróbicas. La producción de metano reemplaza la reducción del sulfato sólo luego de que todo el sulfato disponible en el agua de mar haya sido reducido (Rice, 1975). Según Claypool & Kaplan (1974) esto se debe a que las bacterias metanogénicas no pueden competir con las bacterias sulfato reductoras por el hidrógeno disponible, que es requerido para la reducción tanto del sulfato como del  $\text{CO}_2$ . Esta sucesión microbiana es la responsable de que, en los depósitos de gas, el metano esté acompañado por sulfuro de hidrógeno.

La existencia de acumulaciones de gas a muchos horizontes de profundidad diferentes en una sola localidad indica sin dudas la migración progresiva hacia la superficie (Judd, 1990). A pesar de que existen muchas evidencias de migración y escape de gas a través de los sedimentos del fondo aún no se comprende el mecanismo. En términos generales, se cree que la migración puede ocurrir por el movimiento de las burbujas a través de los poros o discontinuidades entre los sedimentos (Davis, 1992). Alternativamente se puede mover en solución por difusión (Davis, 1992). El movimiento ascendente ocurre hasta encontrar un lugar donde el gas se acumula en sedimentos porosos someros. Luego de un tiempo de acumulación de las moléculas se llega a una concentración crítica (aproximadamente 1%) donde las acumulaciones de gas somero son detectables por métodos acústicos (Davis, 1992; Floodgate & Judd, 1992; Karisiddaiah et al. 1992; Hovland et al., 1993).

### ***1.2 Antecedentes y distribución mundial***

La presencia de depósitos de gas en los sedimentos del fondo del mar se conoce desde un tiempo considerable. A partir del período temprano post-Segunda

Guerra Mundial se utilizaron ampliamente dispositivos geofísicos para la exploración del océano, donde el hallazgo de ciertas anomalías en registros de ecosondas y de sonar de barrido lateral fueron atribuidas al escape de gas del fondo del mar (Davis 1992). Estudios más detallados y sistemáticos, con frecuencia incorporando perfilador sísmico sub bottom, proveyeron evidencias concluyentes para acumulaciones de gas en los sedimentos del fondo marino somero (Davis 1992). Actualmente, se conoce que el gas en los sedimentos es común desde ambientes costeros a aquellos de aguas profundas en los océanos del mundo (Hovland & Judd 1988, van Weering et al. 1997, Fleischer et al. 2001). El gas generado debajo del lecho marino tiende a migrar hacia la superficie, las condiciones geológicas pueden impedir su ascenso, dando lugar a la formación de acumulaciones de gas somero (Judd & Hovland 2009). La naturaleza exacta de estas acumulaciones depende del tipo de sedimento en el cual se mantienen atrapados. Además, en ciertas condiciones de presión y temperatura, el gas en migración puede ser secuestrado por la formación de hidratos de gas (Judd & Hovland 2009). En este trabajo el objetivo de estudio se centra en el gas somero, considerando, de esta manera, a depósitos de gas en profundidades menores a 200 m de la columna de agua.

El gas somero se encuentra ampliamente distribuido (Fig. 1) y puede encontrarse en sedimentos de ambientes marinos someros de todo el mundo (Fleischer et al. 2001). Actualmente, la información disponible indica una abundancia mucho mayor en el hemisferio norte, principalmente, en Estados Unidos y Europa. Sin embargo, es probable que esta diferencia se deba a un menor desarrollo de investigaciones en el hemisferio sur (Fleischer et al. 2001). El tipo de gas más común es el gas somero, los ambientes ideales para su formación son aquellas áreas caracterizadas por rápida acumulación (planicies de marea, cuencas costeras, fiordos, deltas, etc.) y sedimentos fangosos ricos en materia orgánica (Fleischer et al. 2001). El gas puede encontrarse a diferentes distancias del fondo marino dependiendo de la permeabilidad relativa del estrato suprayacente. En algunos casos el gas logra llegar a la superficie del fondo marino e incluso liberarse, en forma de burbujas, a la columna de agua y posteriormente a la atmósfera.



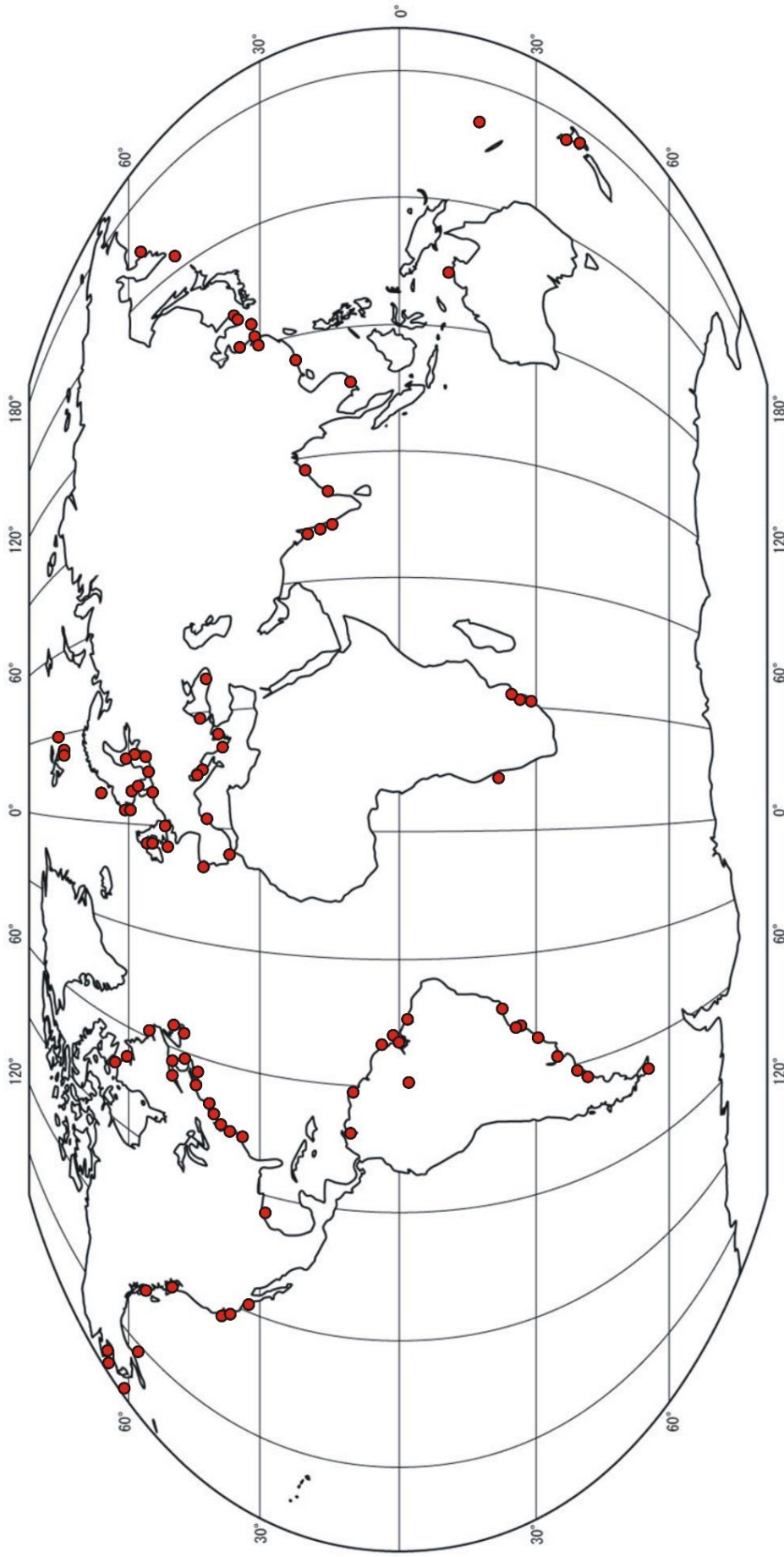


Figura 1. Mapa de distribución mundial de los depósitos de gas somero de origen biogénico en el fondo marino (Referencias en Anexo)

Hovland & Judd (1992) estimaron que el 30% de las áreas marinas someras del mundo producen burbujas de metano.

### ***1.3 Implicancias***

El estudio de los depósitos marinos de gas es de importancia económica y ambiental debido a su potencial como recurso energético y como riesgo geológico, así como a su rol clave en el cambio climático global (Kvenvolden 1999). El gas afecta las características ingenieriles de los sedimentos. Por ejemplo, el gas puede escapar durante la realización de perforaciones o, en el caso de escapes naturales de gas, estos pueden incluso generar el colapso de estructuras por desestabilización de cimientos. En general, reducen el esfuerzo de corte de los sedimentos impidiendo el asentamiento de obras ingenieriles (Davis 1992). Existen casos excepcionales en los que el gas en forma de hidratos de metano se desestabiliza y libera masivamente a la atmósfera, naturalmente o producto de accidentes y desastres, como el escape del Mar del Norte y el derrame del DeepWater Horizon, respectivamente (Hamdan & Wickland 2016). Según Prince (1990) el gas somero causó un tercio de las explosiones durante perforaciones petroleras provocando, además de la pérdida de las plataformas, la muerte de 15 personas en tres de cuatro escapes de gas. De esta manera, el gas es un riesgo potencial para la explotación offshore de petróleo. Por otro lado, algunos autores llegan al extremo de atribuir hipotéticamente a la presencia de gas en el fondo marino la desaparición de barcos y aviones en el triángulo de las Bermudas (Gruy 1998, Deming 2004, Kumar 2015). Dichos autores sugieren que las burbujas de gas asociadas a los hidratos de metano del fondo marino disminuirían tanto la densidad del agua que imposibilitarían la flotabilidad de los barcos (Gruy 1998). Mientras que, en el caso de los aviones, se ha observado que sus motores fallan a concentraciones de metano de 1% (Kumar 2015).

En los ambientes marinos los escapes de gas pueden afectar las características químicas del agua y, si el metano atraviesa la columna de agua hasta alcanzar la atmósfera, se transforma en una fuente de gas de efecto invernadero (Davis 1992, Hovland & Judd 1992, Emeis et al. 2004). Se estima que entre 8 y 65 gT de metano

por año se liberan a la atmósfera (Hovland & Judd 1992). Estas emisiones alcanzarían el 20% del total de las contribuciones atmosféricas de metano (Hovland & Judd 1992, Kvenvolden & Rogers 2005), motivo por el cual el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) incluye las estimaciones de sus emisiones desde el año 2005 (Kvenvolden & Rogers 2005). Desde el descubrimiento de las formas de vida quimioautotróficas en 1977, se sabe que en lugares donde ocurren escapes en el mar profundo existen organismos que viven sólo bajo las condiciones ambientales que proveen estos escapes (Judd & Hovland 2009; Dando 2010, Levin et al. 2016, Åström et al. 2017). Aunque inicialmente se los concebía como oasis en medio del desierto mar profundo, ahora se sabe que las comunidades quimiosintéticas asociadas a escapes de metano interactúan con el fondo marino, la columna de agua y los ecosistemas circundantes, y que afectan los ciclos biogeoquímicos globales (Levin et al. 2016). Debido a la amplia distribución mundial del flujo de fluidos desde el fondo marino, es imperativo realizar investigaciones conducentes a comprender su rol en los ciclos biogeoquímicos marinos.

#### ***1.4 Tipo de evidencias sismoacústicas***

Las burbujas, tanto en el sedimento como en el agua intersticial o en el agua de mar (o en las vejigas natatorias de los peces), afectan las propiedades mecánicas y acústicas del medio: aumento de la atenuación del sonido, la energía sónica se enmascara, la velocidad de propagación del sonido cambia, y la resistencia a la tracción tanto del agua de mar como del sedimento se reduce fuertemente (Judd & Hovland 2009). La intensidad de atenuación depende del tamaño de las burbujas en relación a la longitud de onda acústica:

$$\text{Longitud de onda } (\lambda) = \text{velocidad acústica} / \text{frecuencia}$$

Cuando el tamaño de las burbujas es menor a la longitud de onda, la velocidad acústica puede ser dramáticamente reducida incluso por pequeñas cantidades de

gas (aproximadamente 1% en volumen). De este modo, se incrementa la atenuación sísmica con el aumento de concentración de gas (Judd & Hovland 2009).

En el año 1952, Schüler mencionó por primera vez el efecto de enmascaramiento acústico de los sedimentos en registros de ecosonda de las Bahías Eckernförde y Kiel (SO Mar Báltico), producto de la presencia de depósitos de gas somero. Este autor denominó *Basin Effect* (“Beckeneffekt”) al efecto de enmascaramiento acústico producido por el gas. Actualmente a este efecto se lo conoce como “turbidez acústica” (Magariños-Álvarez et al. 2002). Es la evidencia sísmica de gas somero más comúnmente citada en sedimentos marinos someros (Judd & Hovland 2009). Este efecto es producido debido a que la energía acústica es atenuada (absorbida y dispersada) por las burbujas de gas causando reflexiones caóticas. Estas reflexiones generan un registro oscuro y caótico, ocultando cualquier reflexión que originarían de otra manera los sedimentos afectados, y eclipsando los reflectores de los sedimentos más profundos. Esta turbidez acústica puede presentarse de distintas formas y adquieren diferentes términos descriptivos: cortinas, pináculos turbidíficos, plumas intra-sedimentarias, iluminaciones de gas, etc. (Magariños-Álvarez et al. 2002, Weschenfelder et al. 2016). En el caso de los términos ‘pluma’ y ‘chimenea de gas’ se utilizan para extensiones verticales que se elevan por encima del límite superior de la turbidez acústica (‘frente de gas’, Judd & Hovland 2009) hacia la superficie del fondo marino. Otro tipo de evidencia sísmica de acumulaciones de gas somero son los denominados “apantallamientos acústicos” que se generan por el enmascaramiento total del registro sísmico que queda por debajo, lo que no permite establecer la fuente generadora de gas. La parte superior presenta un marcado reflector de geometría generalmente plana y denota el techo impermeable del depósito de gas (Hovland & Judd 1988, García-Gil et al. 1999). Este fenómeno también ha sido citado como enmascaramiento o blanqueamiento acústico (Weschenfelder et al. 2016). Según Fannin (1980) el efecto de turbidez acústica se puede producir con una concentración de 1% de gas en el sedimento. En tanto que, el apantallamiento acústico estaría asociado a concentraciones mayores de gas metano (Magariños-Álvarez et al. 2002).

Cuando el gas se escapa del fondo marino se producen otro tipo de evidencias. Las burbujas liberadas en la columna de agua pueden ser observadas en registros sísmicos, así como, en ecosondas monohaz y se denominan 'plumas de gas'. Por otro lado, se pueden producir cráteres que reciben el nombre de '*pockmarks*'. Estos son estudiados principalmente utilizando sonares de barrido lateral. El descubrimiento de cráteres del fondo marino atribuidos al escape de gas, localizado debajo de la superficie, fue hecho por King & McLean en 1970 en la Scotian Shelf (SE de Canadá). Actualmente se ha encontrado su presencia en muchos lugares del mundo, por ejemplo: Mar del Norte (Bøe et al. 1998), Talud Continental del Golfo de Guinea (Cayocca et al. 1999), Estrecho de Ormuz (Discroll & Uchupi 1997), Bahía de Belfast (Kelley et al. 1994), Mar de Barents (Solheim & Elverhoi 1993), Ría de Vigo (García-Gil et al. 1999), cuenca del Río Pearl (S China, Sun et al. 2012), Bahía Durban (Sudáfrica, Weschenfelder et al. 2016), El Rincón (Andreoli 2018).

### ***1.5 Antecedentes regionales y en el estuario de Bahía Blanca***

Existen hallazgos de sedimentos gasíferos a lo largo de la costa Atlántica de Sudamérica, particularmente, en Brasil y Argentina. En Brasil, el gas somero se ha encontrado en: Laguna de Los Patos, Bahía Guanabara, áreas someras de la plataforma continental de Amazonas, el delta submarino de Amazonas, la cabecera del Río Amazonas, la zona costera de la plataforma del Estado de Río Grande do Sul, el cañón del Río Açu, el estuario Potengi, la Bahía Norte y la Laguna Conceição del estado de Santa Catarina (Weschenfelder et al. 2016). En Argentina, los depósitos de gas han sido reportados en: el estuario del Río de La Plata (Parker & Paterlini 1990), el Golfo San Matías (Aliotta et al. 2000), el canal Beagle (Bujalesky et al. 2004), y el estuario de Bahía Blanca (Aliotta et al. 2002).

En el estuario del Río de La Plata el gas es evidenciado en forma de apantallamiento acústico en los registros sísmicos. Los depósitos de gas se extienden en una amplia zona que acompaña al Canal Oriental entre Punta del Este y Montevideo, atravesando a la Barra del Indio y luego se inclinan hacia el Canal Intermedio pasando por el alto pleistocénico de Punta Piedras. Su distribución vertical se extiende desde los 30 m hasta aproximadamente 1 m respecto de la

superficie del fondo marino. En aquellos sectores donde el gas se encuentra cerca de la superficie se dan explotaciones domiciliarias. En base a la configuración del área y la topografía del lecho, Parker & Paterlini (1990) sugieren una relación estrecha con el paleocauce del Río pre-holocénico. Se atribuye la formación del gas a la Formación Atalaya que avanzó sobre el valle fluvial durante la transgresión holocena (Parker & Paterlini 1990).

En el sector sur del Golfo San Matías, se encontraron acumulaciones de gas en forma de apantallamiento acústico (Aliotta et al. 2000). Las acumulaciones de gas están asociadas a una facies denominada facies IV cuyo espesor alcanza más de 30 m. Esta facies cuenta con múltiples reflectores paralelos y se apoya en discordancia erosiva sobre un basamento rocoso. Los autores sugieren que la facies originaria del gas se asocia a la sedimentación de texturas finas producida durante el Terciario medio-superior ("Patagoniano"). En base a las características de los depósitos de gas Aliotta et al. (2000) sugieren una vinculación de estos con antiguos paleoambientes con importantes acumulaciones orgánicas, vinculadas a estadios iniciales de profundización de la cuenca.

En el canal Beagle, el gas se encuentra en el sector del banco Gable, en el paso Mackinlay y en el sub fondo marino situado al este de la isla Gable. El gas se evidencia en los registros sísmicos en forma de apantallamiento acústico que en algunos sectores se encuentra cerca de la superficie del fondo marino. El origen del gas se relaciona con acumulaciones de materia orgánica (turbales de la época glacial), actualmente sumergidas y cubiertas por sedimentos finos glacialacustres, glacialmarinos y fluviomarinos (Bujalesky et al. 2004).

Las reservas de gas se encuentran ampliamente distribuidas en el estuario de Bahía Blanca e incluso se encuentran cerca o en contacto con la superficie del fondo marino, principalmente en la zona interna del estuario (Aliotta et al. 2002, 2006, 2011) donde la presencia de este hidrocarburo se encuentra asociada a un amplio sector del área portuaria (Aliotta et al. 2011). En los registros sísmicos de alta resolución el gas es evidenciado, principalmente, en forma de turbidez acústica y apantallamiento acústico. El gas se encuentra asociado a una configuración sísmica

progradante, dispuesta sobre una discontinuidad erosiva. En base a esto se evidencia la estructura sedimentaria de relleno de paleocanales derivados de la antigua red de drenaje costera (Aliotta et al. 2006). De esta manera, el gas está estrictamente asociado al paleoambiente fluvial y proceso evolutivo vinculado al último proceso transgresivo Holoceno (Aliotta et al. 2006). El mismo generó el enterramiento de materia orgánica continental por sedimentos transgresivos areno limo-arcillosos. (Aliotta et al. 2006, Giagante et al. 2008).

## **2. Comunidades Bentónicas de Macroinvertebrados de fondos blandos**

### **2.1 Generalidades**

Pese a que el 70.8% del planeta está cubierto por océanos, todavía hay mucho que aprender acerca de la biodiversidad que habita en los sedimentos marinos (Snelgrove 1999). Esto se debe a la dificultad y costo de acceso, incluso en áreas someras (5% de la superficie de la Tierra, Snelgrove 1999). Existen 30 phyla en el Reino Animalia de los cuales todos menos uno (Onychophora) tienen representantes marinos y dos tercios de ellos son exclusivamente acuáticos (Pimm 2012). El número de especies marinas a nivel global es discutido, algunos autores concluyen que existen 2.2 millones ( $\pm 0.18$ ) de las cuales el 91% aún no han sido descritas (Mora et al. 2011). Mientras que otros autores opinan que se describieron hasta la actualidad entre 222.000-230.000 especies marinas de las cuales aún faltarían describir entre uno y dos tercios del total, y reportaron que existirían entre 0.7-1.0 millón de especies marinas (Appeltans et al. 2012). Dentro de la amplia biodiversidad marina, gran parte de estas especies presentan fases de su ciclo de vida o bien pasan toda su vida como parte del bentos.

Los organismos bentónicos tienen un rol preponderante en los ecosistemas marinos. Por un lado, tienen un rol ecológico importante en las tramas tróficas debido a su interacción con el plancton, el necton, la materia orgánica, así como con las aves (Gili & Coma 1998, Murray et al. 2015, Griffiths et al. 2017). Además, estos organismos son ampliamente utilizados como indicadores de calidad ambiental. Entre las ventajas que presentan para estos estudios se cuentan: su escasa

movilidad los hace más sensibles a perturbaciones físicas y químicas locales; las diversas especies que conforman la comunidad tienen distintos grados de tolerancia al estrés; se puede analizar su respuesta a disturbios incluso a niveles taxonómicos superiores a género (hasta a nivel de clases); integran los disturbios ocurridos recientemente (Clarke & Warwick 2001, Muniz et al. 2013)

Entre los factores limitantes de la distribución de los macroinvertebrados bentónicos, la naturaleza de los sedimentos y la salinidad son considerados determinantes en estuarios (Teske & Wooldridge 2003). La importancia de un factor respecto del otro es variable, por ejemplo, en estuarios del hemisferio norte la salinidad determina la distribución regional, mientras que, la distribución local sigue la variación granulométrica del sedimento. Sin embargo, en estuarios de Sudáfrica la distribución de especies es relativamente independiente de la salinidad, pero depende de la naturaleza del sedimento (Teske & Wooldridge 2003). Otros factores considerados importantes en la determinación de la distribución a escala regional de los macroinvertebrados bentónicos son la productividad, la temperatura, la profundidad y las condiciones hidrodinámicas del ambiente (velocidad de corrientes) (Gray 2002, Ysebaert et al. 2003).

Muchas especies tienen relaciones complejas con el ambiente. En términos generales, los suspensívoros tienden a ser más abundantes en ambientes de alta energía, y los depositívoros son más abundantes en áreas depositacionales con sedimentos fangosos (Snelgrove 1999). Los ambientes de alta energía son típicamente arenosos, con bajo contenido de materia orgánica y microorganismos, importantes corrientes de fondo, así como de flujo horizontal de alimento y posiblemente de larvas (Snelgrove 1999). En tanto que, los ambientes de baja energía suelen ser fangosos con corrientes débiles, potencialmente menos aporte de larvas y bajo flujo de alimento horizontal pero alto aporte vertical (Snelgrove 1999). Por lo tanto, el tipo de sedimento del fondo marino es una variable determinante en forma directa e indirecta del tipo de organismos bentónicos que lo habitan.

Existen diversas definiciones e interpretaciones del concepto de comunidad, en el presente trabajo seguimos el concepto dado por Mittelbach & Schemske



(2015) que definen a una comunidad como: “un grupo de especies que coocurren en espacio y tiempo y que tienen el potencial de interactuar entre sí.”

En las últimas décadas, el mapeo del hábitat submareal ha sido de creciente interés para la ciencia y como herramienta de manejo en programas de conservación (Beaman & Harris 2007, Brown & Collier 2008, Fakiris et al. 2016, Herkül et al. 2017, Lacharité et al. 2017, Ierodiaconou et al. 2018). El uso de técnicas geofísicas es realmente útil para la caracterización y la clasificación de la naturaleza del hábitat submareal a gran escala (Kostylev et al. 2001, Roff et al. 2003). Estos estudios suelen utilizar sonar de barrido lateral o sonda multibeam para el mapeo y clasificación del hábitat bentónico con el objetivo de predecir la distribución de las comunidades bentónicas. Los perfiles de sub fondo de alta resolución son herramientas complementarias para la interpretación de los registros de las sondas multihaz. El desarrollo de investigaciones sobre comunidades bentónicas submareales sin conocimiento acerca de la naturaleza geológica del área es llevado a cabo a ciegas y puede llevar a interpretaciones erróneas. En el caso de la presencia del gas somero, los resultados pueden ser mal interpretados como si se tratara de comunidades bentónicas empobrecidas producto de descargas cloacales (Bravo et al. 2018).

## **2.2 Antecedentes en la Argentina**

En enero de 1827 desembarcó en Buenos Aires, quien estudiaría por primera vez los organismos bentónicos de la costa argentina, el naturalista francés Alcide d'Orbigny (Calcagno 2014). En este viaje colectó información suficiente como para describir 5000 especies de invertebrados entre los que se encuentran los gasterópodos pertenecientes al género *Buccinanops*, el pulpito (*Octopus tehuelchus*), la vieira (*Chlamys tehuelcha*) y el mejillón (*Mytilus edulis platensis*) (Calcagno 2014). Posteriormente, Charles Darwin describió gran cantidad de invertebrados fósiles, así como de cirripedios de la costa bonaerense y patagónica, producto de su expedición entre 1831 y 1836 a bordo del *Beagle* (Calcagno 2014). Sin embargo, no fue hasta la década de 1960 que se llevaron a cabo los trabajos pioneros en materia de ecología de invertebrados marinos bentónicos (Calcagno 2014). Estos trabajos

fueron realizados por los Dres. Raúl Ringuelet y Santiago Olivier, entre los cuales se pueden mencionar: Ringuelet (1963), Ringuelet et al. (1962, 1963), Olivier et al. (1966, 1968a, 1968b, 1972). Entre las décadas de 1970 y 1980 surgen importantes aportes en taxonomía de poliquetos (Orensanz 1972) y briozoos (Lichtschein de Bastida & Bastida 1980), así como en estudios bionómicos, delimitación de regiones biogeográficas, entre otros (Zaixso 1975, Escofet et al. 1978, Carriquiriborde et al. 1982). Actualmente, Argentina aloja numerosos grupos de investigación dedicados al estudio de invertebrados marinos bentónicos (Calcagno 2014).

El primer estudio referido al bentos del estuario de Bahía Blanca fue llevado a cabo por Olivier et al. (1960), quienes describieron al priapúlido *Priapulius tuberculatospinosus*. Posteriormente, se realizaron estudios de las comunidades bentónicas incrustantes de los puertos Ingeniero White y Belgrano (Bastida 1971, Valentinuzzi 1971, Bastida et al. 1977, Bastida & Lichtschein de Bastida 1978, Lichtschein de Bastida & Bastida 1980, Martínez 1982, Martínez et al. 1984). En tanto que, las comunidades bentónicas del sector intermareal blando fueron descritas por Elías (1985) y posteriormente estudiadas por, entre otros, Botto et al. (1998), Perillo & Iribarne (2003 a,b), Iribarne et al. (2003), Molina (2012) y Zapperi (2015). Finalmente, el sector submareal, comenzó a ser estudiado en 1982 por el Dr. Rodolfo Elías, quien caracterizó los patrones comunitarios en relación al tipo de sedimento y el gradiente de salinidad del estuario. Cabe destacar que estas publicaciones fueron tanto las primeras como las últimas referidas a las comunidades bentónicas submareales del estuario de Bahía Blanca: Elías (1987, 1992, 1995), Elías & Ieno (1993). Por otro lado, los estudios más actuales son informes de monitoreo ambiental de la Municipalidad de Bahía Blanca (Fiori 2014, 2016).

Las comunidades bentónicas submareales del estuario de Bahía Blanca están dominadas por poliquetos tanto en número de especies como en abundancia de organismos (Elías 1987). Otros grupos importantes son los moluscos y los crustáceos (Elías 1987). En tanto que, ofiuroideos, pennatuláceos, priapúlidos, briozoos, hidrozoos, picnogónidos, ostrácodos, nemertinos y poríferos, se encuentran menos representados (Elías 1987). El cambio gradual en salinidad y tipo

de sedimento a lo largo del estuario se manifiesta en una distribución en “continuo” de organismos bentónicos estrechamente ligados a estas condiciones. De esta manera, en la región interna (mixohalina) dominan *Nicolea* sp. y *Leodamas verax* en sedimentos fangosos y arenas finas y muy finas. Mientras que, en la región externa (euhalina) dominan *Axiothella* sp. y *Corbula patagonica* en sedimentos arenosos (arena fina y muy fina) y fangosos. Por último, en la región media se encuentra una facies de *Terebellides totae* en asociación con arena y fango (Elías 1987). En términos de estructura trófica, Elías (1987) atribuye a un alto grado de enriquecimiento orgánico del sedimento el predominio de depositívoros.

### **2.3 Comunidades bentónicas asociadas a gas**

Hasta la actualidad, los efectos del gas en las comunidades bentónicas han sido estudiados principalmente en asociación con hidratos de metano con escapes significativos a profundidades abisales e intermareales (Dando et al. 1991, Judd 2003, Levin & Mendoza 2007, Sellanes et al. 2008, 2010, Dando 2010, Levin et al. 2010, 2017, Jessen et al. 2011, Gracia et al. 2012, Hansman et al. 2017). Los ambientes someros con escapes de gas carecen o presentan menos especies obligadas al metano que aquellos de mar profundo (Dando 2010). Según Dando (2010) esto se debe a que en ambientes someros las especies quimioautótrofas deben competir con especies que obtienen el carbono por medio de la fotosíntesis y éstas últimas son mejores competidoras. Quizás ésta sea la razón por la cual los depósitos de gas somero han recibido muy poca atención, pese al extenso conocimiento referido a los mismos por parte de los geólogos (Hill et al. 1992, Hovland & Judd 1992, Karisiddaiah et al. 1992, Karisiddaiah & Veerayya 1994, Wever et al. 1998, García-García et al. 1999, Fleischer et al. 2001, Aliotta et al. 2002, 2006, 2011, Missiaen et al. 2002, García-Gil 2003, Emeis et al. 2004, Lee et al. 2005, Orange et al. 2005, Iglesias & García-Gil 2007, Laier & Jensen 2007, Rollet et al. 2009, Sun et al. 2012, Weschenfelder et al. 2016, Ramírez-Pérez et al. 2017).

Entre los pocos estudios realizados en sitios con gas somero pueden ser mencionados los realizados en Noruega e Inglaterra por Dando et al. (1994) y Judd et al. (2002), respectivamente. Estos estudios encontraron cambios físicos en el

hábitat bentónico debido a la formación de carbonatos derivados del metano. En Noruega los carbonatos derivados del metano constituyen un hábitat adecuado para el asentamiento de fauna sésil generando, de esta manera, un aumento local en la abundancia y biomasa (Dando et al. 1994). Sin embargo, en Inglaterra, los escapes de gas que ocurren en las planicies de marea generan un efecto despreciable tanto en la cementación del sedimento, como en la fauna intermareal (Judd et al. 2002). Aunque, estos depósitos de gas parecen tener un origen termogénico. Por lo tanto, pese al vasto conocimiento sobre la amplia distribución mundial de los depósitos de gas somero de origen biogénico, estos no han sido considerados agentes estructurantes en estudios de comunidades bentónicas.

Los estudios acerca de la distribución del bentos submareal de fondos blandos de los estuarios de Argentina, han estado focalizados en las siguientes variables ambientales: granulometría, salinidad y materia orgánica (Elías 1992, Bremec 1990, Elías & Ieno 1993, Elías & Bremec 1994, Giberto et al. 2004, 2007). Pese a que la presencia de depósitos de gas en Argentina ha sido registrada desde la década de 1990 (Parker & Paterlini 1990), no se han realizado estudios referidos a los efectos de los sedimentos gasíferos sobre los organismos bentónicos.

### **3. Objetivos del Trabajo de Tesis**

#### ***3.1 Objetivo general***

Esta tesis tiene como finalidad caracterizar los depósitos de gas somero de la zona interna del estuario de Bahía Blanca y las comunidades bentónicas que se desarrollan asociadas con este tipo de ambiente. De esta manera, la integración analítica de datos biológicos, geológicos y oceanográficos aportará nuevos conocimientos para una correcta evaluación del grado de impacto de fenómenos de ecotoxicidad en sistemas marinos perturbados por presencia de hidrocarburos gaseosos.

#### ***3.2 Objetivos específicos***

- Relevamiento y mapeo de distribución areal de los reservorios gasíferos, particularmente aquellos cuyas concentraciones alcanzan la interfaz agua-sedimento. Esto será conducente a establecer su precisa zonificación.
- Caracterización sedimentológica de los materiales del fondo marino, tanto en aquellos sectores con presencia de gas, como en las áreas adyacentes. Esto posibilitará definir ambientes sedimentológicos equivalentes, sólo diferenciables por la concentración gasífera.
- Caracterización geomorfológica y sismoestratigráfica del área de estudio.
- Comparación de estructura, diversidad, biomasa y funcionalidad ecológica de las comunidades bentónicas submareales en sectores con presencia o ausencia de gas en los sedimentos.

#### **4. Hipótesis y Predicciones**

La integración y evaluación analítica de datos biológicos y geológicos plantea la siguiente hipótesis y predicciones:

##### ***4.1 Hipótesis:***

Dentro del estuario de Bahía Blanca las concentraciones superficiales de gas metano afectan la estructura y diversidad de las comunidades bentónicas marinas.

##### ***4.2 Predicciones:***

- Sectores con iguales características ambientales, sedimentológicas e hidrológicas, que difieren en la presencia/ausencia de depósitos de gas somero presentarán diferencias en sus descriptores biológicos, así como también en su composición específica y función ecológica.

- El gas metano disuelto en los sedimentos representa una fuente alternativa de carbono orgánico que propicia la abundancia de aquellos organismos capaces de utilizarla.
- La toxicidad resultante de los gases asociados a estos depósitos de hidrocarburos en la superficie del fondo marino puede extinguir localmente a las especies sensibles.
- La presencia de metano en los sedimentos del fondo marino puede generar la formación de carbonatos derivados del metano o bien la disminución de la cohesividad de los sedimentos. De esta manera, el gas generaría un sustrato diferente para los organismos bentónicos, favoreciendo el asentamiento de organismos sésiles en el caso de presencia de carbonatos derivados del metano o bien limitando el asentamiento de organismos bentónicos infaunales en caso de disminuir la cohesividad de los sedimentos.

## 5. Área de Estudio

El estuario de Bahía Blanca (EBB) se encuentra en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina (Fig. 2). Pertenece al sector norte de un gran y complejo sistema compuesto por islas y canales de diferentes tamaños. Está formado por extensas planicies de marea con un canal Principal grande y sinuoso, cuya profundidad se mantiene a 15 m por medio de dragado para asegurar el paso de las embarcaciones hacia los puertos (Galván, Ingeniero White, Belgrano y Rosales). El canal Principal tiene una longitud de 68 km y su ancho va desde 200 m en la cabecera hasta los 3-4 km en la desembocadura. El sector sur del canal Principal está formado por un amplio sector intermareal atravesado por una red de canales de marea de diferentes tamaños muy sinuosos y meandrosos que poseen una orientación general NO-SE (Ginsberg & Aliotta 2011). El régimen de marea del estuario es semidiurno con una amplitud media de 2 m en la boca y más de 4 m en su cabecera (Perillo et al. 2004). El canal Principal tiene corrientes de marea reversibles con velocidades medias de 1 m.s<sup>-1</sup> y 1.4 m.s<sup>-1</sup> para marea subiente y bajante, respectivamente (Ginsberg & Aliotta 2011).

El EBB tiene contribuciones menores de agua dulce que son responsables de la formación de puntos caracterizados por baja salinidad, pero prevalecen las condiciones marinas. El Río Sauce Chico, con una descarga media de 150.000 m<sup>3</sup>/día y el arroyo Napostá Grande, con una descarga media de 91.000 m<sup>3</sup>/día, son los principales tributarios de la red de drenaje de agua dulce superficial (Limbozzi & Leitao 2008). Adicionalmente, el EBB recibe otros aportes de agua dulce a través de escorrentía superficial, descargas cloacales y operaciones relacionadas al puerto (La Colla et al. 2015). Los valores de salinidad media varían entre 32.83 y 33.98 psm en la zona interna del estuario (Freije & Marcovecchio 2004).

En general, el fondo marino del EBB tiene características sedimentológicas diferentes en función de su zonificación. Así, la fracción arenosa es dominante en la zona externa del EBB, mientras que, la fracción fina (limo y arcilla) predominan en la zona interna, principalmente en planicies de marea (Gelós et al. 2004). Además, el fondo marino del área submareal presenta tres tipos de fondo (Lizasoain 2006). Los primeros dos tipos están formados por sedimentos relativamente compactos. Uno de ellos, Formación Pampiano, de origen Pleistoceno, está fuertemente compactado o cementado mientras que el segundo tipo de fondo, que es menos cohesivo, está relacionado al ambiente paleodeltaico del Holoceno. El tercer tipo de fondo, que es el dominante y conforma relativamente grandes campos de dunas en la zona externa del estuario, está compuesto de arena (Aliotta & Perillo 1987, Lizasoain 2006, Minor Salvatierra et al. 2015). El fondo duro está restringido al sector dragado del canal principal, las áreas más profundas y algunos flancos erosivos de los canales (Lizasoain 2006).

El encuadre geológico del estuario está dominado por la evolución de la cuenca del Colorado (Giagante 2009). Esta megacuenca cuya superficie es mayor a 120.000 km<sup>2</sup>, afecta toda la costa oeste de la provincia de Buenos Aires desde Bahía Blanca hasta la desembocadura del río Negro (Kostadinoff 2004). En la parte más profunda de la cuenca, los depósitos sedimentarios alcanzan un espesor máximo de 7.500 m (Giagante 2009). Las características geomorfológicas del EBB son el resultado del proceso transgresivo-regresivo que ocurrió durante el Holoceno (Aliotta & Lizasoain 2004, Aliotta et al. 2013). Estos procesos generaron la

migración de la línea de costa evidenciado por la presencia de cordones arenos-conchilíferos paralelos a la costa. Estos cordones evidencian un nivel del mar 7 m por encima del nivel actual (Aliotta & Farinati 1990, Farinati & Aliotta 1997, Aliotta et al. 2003, 2006, Spagnuolo et al. 2006). El área actualmente ocupada por el estuario fue un delta fluvial antes de la transgresión postglacial. En el sector sudoeste del EBB se realizaron varios estudios acerca de las características evolutivas del ambiente deltaico entre los que se pueden mencionar: Aliotta et al. (1999), Spalletti & Isla (2003), Giagante et al. (2008). Adicionalmente, se han encontrado paleocanales tanto en el EBB (Aliotta et al. 2004, Spagnuolo et al. 2006; Giagante et al. 2008, 2011) como en la plataforma continental adyacente (Aliotta et al., 1999, 2011).

El ambiente se encuentra dominado por planicies de marea que en algunos sectores se encuentran vegetadas constituyéndose las marismas. Estas últimas están conformadas por *Sarcocornia perennis* y *Spartina densiflora* en la zona superior del intermareal, mientras que, en la zona inferior del intermareal están formadas por *Spartina alterniflora* (Mazzon et al. 2009). Estos ambientes se encuentran habitados por algas e invertebrados bentónicos, entre ellos el bioingeniero más importante, el cangrejo cavador (*Neohelice granulata*). Este humedal presenta una alta productividad lo que le permite sustentar una gran diversidad de especies, tanto permanentes como aquellas que pasan parte de su ciclo de vida. Así mismo, representa un sitio de importancia para las aves marinas y costeras, entre ellas aves playeras o limícolas migratorias y alberga gran parte de la población y una colonia reproductiva de la amenazada Gaviota Cangrejera (Petracci & Sotelo 2013).

Debido a que este complejo sistema de islas y canales al que el EBB pertenece tiene un alto valor para la conservación de la biodiversidad, el 85% (250000 ha) del total del área de este sistema se encuentra protegido legalmente por medio de cuatro reservas de distintas jurisdicciones (municipales, provinciales y nacionales). Estas son: la Reserva Municipal Almirante Brown, la Reserva Provincial Integral Islote de la Gaviota Cangrejera, la Reserva Provincial de Usos Múltiples Bahía Blanca, Bahía Falsa y Bahía Verde y el Parque Nacional Baterías-Darwin. Pese a su



protección legal, EBB se encuentra expuesto a una fuerte presión antrópica debido a actividades relacionadas con la agricultura, centros petroquímicos y urbanos, así como la presencia del principal puerto de aguas profundas de Argentina. Los principales disturbios antropogénicos causados por estas actividades son dragado, introducción de especies marinas invasoras, y contaminación por efluentes industriales, así como por vertidos cloacales sin tratamiento.

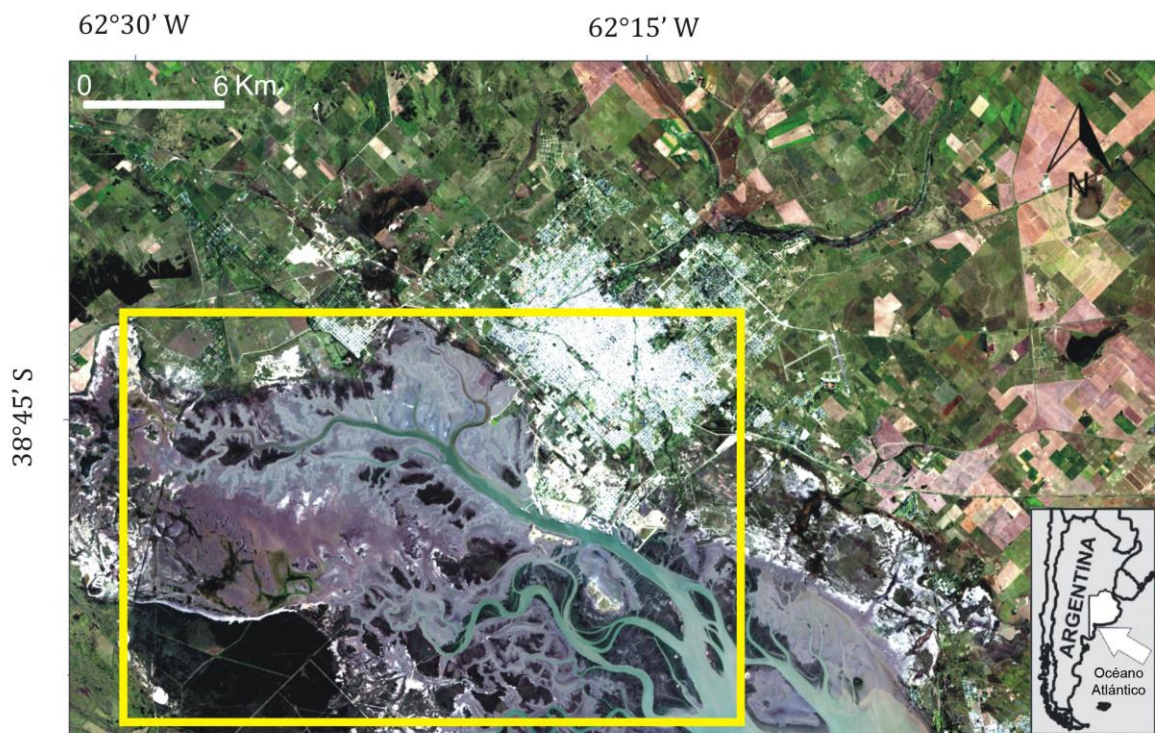


Figura 2. Mapa de la zona interna del estuario de Bahía Blanca mostrando la localización del área de estudio (recuadro amarillo) para el análisis de distribución del gas somero.

# **CAPÍTULO II**

## **Materiales y Métodos**

Para el cumplimiento de los objetivos de esta Tesis se realizaron trabajos de campo, de gabinete y de laboratorio. Los diferentes materiales y métodos utilizados se detallan a continuación.

## **6. Distribución del gas somero en el estuario de Bahía Blanca**

### **6.1 Tareas de campo**

Las tareas de campo referidas a esta sección consistieron en campañas oceanográficas donde se realizaron relevamientos sísmicos. Debido a que se utiliza el mismo procedimiento de navegación durante los relevamientos y a que, en este trabajo se realizaron en simultáneo, se describen a continuación en conjunto.

#### *6.1.1 Embarcación y sistema de posicionamiento*

Las campañas oceanográficas se realizaron a bordo de la embarcación “Buen Día Señor” perteneciente al Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) (Fig. 3). Esta lancha cuenta con un casco de madera de 13 m de eslora y tiene 3,60 m de manga y 1,5 m de calado. Sus dimensiones y gran maniobrabilidad resultan adecuadas para la navegación en los canales y sectores de poca profundidad del estuario. Los relevamientos de prospección acústica se llevaron a cabo a una velocidad de 4 nudos. Se considera que dicha velocidad de navegación es la más conveniente para lograr una registración óptima (Morang et al. 1997).

Para el correcto posicionamiento durante la navegación se utilizó un GPS Marca Trimble de precisión topográfica de aproximadamente 1 m. Dicho instrumento se utilizó junto con un software de navegación específico para métodos sismoacústicos que presentaba como mapa de base la carta H256 del Servicio de Hidrografía Naval. A su vez se trabajó con el sistema vinculado digitalmente al software de sísmica (SonarWiz).

#### *6.1.2 Perfilador de subfondo de 3,5 kHz*



Figura 3. Embarcación oceanográfica "Buen Día Señor".

Los sistemas acústicos (perfilador de subfondo de 3,5 kHz y sonar de barrido lateral) se basan en el principio de propagación de pulsos de sonido en el agua. Estos sistemas miden el tiempo transcurrido entre la iniciación del pulso y el retorno de la señal reflejada, lo que permite identificar los distintos rasgos superficiales y subsuperficiales del fondo marino.

Los instrumentos geofísicos de alta resolución están constituidos por una fuente de emisión y una unidad de procesamiento y graficado de la señal acústica, que nos permiten definir una sección vertical de la columna de agua y de los estratos sedimentarios que componen el subsuelo marino (Sieck & Self, 1977). Los principios de funcionamiento del perfilador de subfondo de 3,5 kHz (Fig. 4) son similares a los de sísmica profunda, como por ejemplo Boomer, Sparker o Cañón de aire. La diferencia radica en que estos últimos utilizan transmisores y receptores que operan con frecuencias relativamente bajas (200-800 Hz) y la potencia de la señal es muy alta para alcanzar una mayor penetración en el subsuelo. En particular, el equipo de 3,5 kHz está diseñado para obtener información de los primeros 50 a 60 m de la

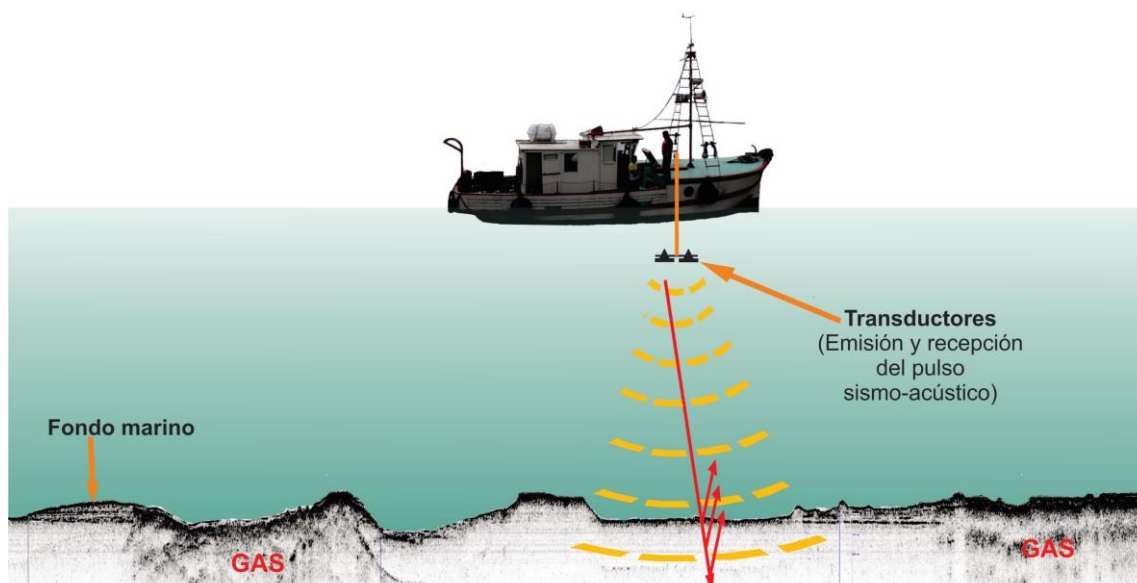


Figura 4. Esquema de relevamiento con perfilador sísmico de alta resolución (3,5 kHz).

columna de sedimento. Entre sus aplicaciones típicas se incluye el reconocimiento de estratos y estructuras para los estudios geológicos del subsuelo, la evaluación de sitios para el asentamiento de plataformas marinas, análisis de las características del subsuelo relacionadas a tareas de dragado, control de nivel de cobertura sedimentaria de ductos submarinos, estudios de localización de yacimientos someros de gas, etc.

La propagación de la señal acústica a través de las rocas y los sedimentos depende de las propiedades físicas de los materiales como densidad, composición y contenido de agua y gas (Sheriff 1980). El modelo más común de ondas acústicas en la tierra son las de oscilación armónica simple que pasan a través de los medios elásticos. Cuando una señal acústica encuentra un cambio abrupto en las propiedades elásticas de los materiales, una parte de la energía se refleja mientras que el resto se refracta dentro del otro medio. La proporción de energía que se refleja y se refracta es descripta por la Ley de Snell (Sheriff & Geldart 1982). Cuando la diferencia de impedancia acústica entre dos materiales aumenta, el coeficiente de reflexión es mayor. Por lo tanto, un sedimento muy duro produce un retorno de la señal acústica muy fuerte en relación a un sedimento blando. Para la mayoría de las interfases presentes en el subsuelo, los contrastes de impedancia son pequeños y solamente menos del 1% de la energía es la que se refleja. Los dos parámetros más



importantes en un sistema sísmico de reflexión son la resolución vertical y la penetración. Pero debemos tener en cuenta que, un aumento en la frecuencia del pulso acústico produce una atenuación de la señal y, en consecuencia, disminuye la efectividad de penetración en el sedimento. Se considera que la capa o estrato más delgado que puede detectarse es aproximadamente igual a  $\lambda/4$  ( $\lambda$  = longitud de onda) (Sheriff 1977).

El relevamiento sísmico se realizó mediante el empleo de un perfilador de 3,5 kHz (Fig. 5). Este sistema de alta resolución se compone de un transmisor sísmico modelo GeoPulse5430A, con frecuencia de emisión variable entre 2 y 12 kHz. Durante el relevamiento se seleccionó 3,5 kHz por ser la más efectiva a los fines propuestos. Un arreglo de cuatro transductores GeoAcoustics 137D (emisores-receptores de la onda sísmica) completan el sistema, permitiendo relevar con una potencia máxima de 10 kw. Los transductores fueron fijados a una estructura metálica (Fig. 5) ubicada a un costado de la embarcación, en cuyo extremo superior

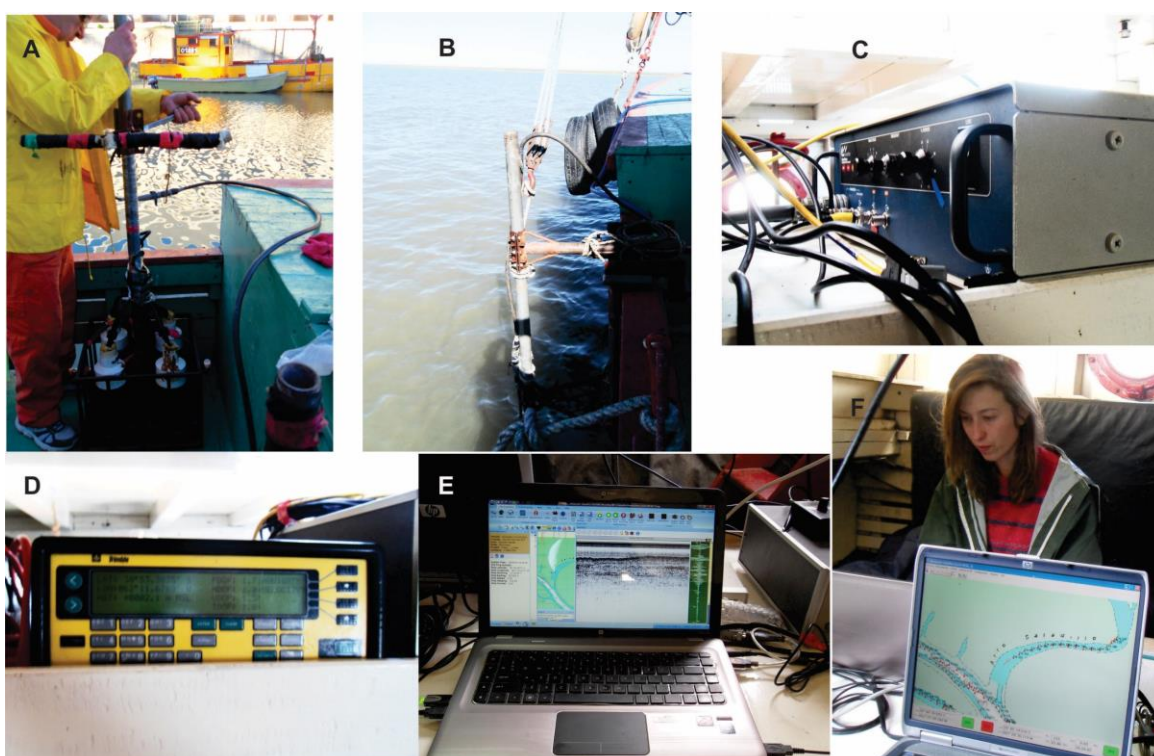


Figura 5. Elementos constituyentes del perfilador sísmico de 3,5 kHz; A) Transductores, B) Estructura soporte de los transductores durante el relevamiento, C) Transmisor del pulso sismo-acústico, D) GPS, E) PC de adquisición y procesamiento de los registros sísmicos en formato digital, F) Navegador empleado para los relevamientos acústicos.

fue ubicada la antena del GPS. La operación del sistema y la adquisición de la información acústica durante el relevamiento se llevó a cabo en modo digital mediante PC, utilizando el software SonarWiz 5. A través del mismo, la información de los perfiles realizados fue posteriormente procesada y analizada en gabinete.

## **6.2 Tareas de gabinete**

Para la realización del mapa de distribución de los depósitos de gas somero en el EBB se analizaron registros sísmicos realizados en esta tesis, así como 158 registros pertenecientes a campañas previas que abarcan, con una alta densidad de datos, la zona media e interna del estuario y fueron obtenidos por el Grupo de Geología y Geofísica Marina dirigido por el Dr. Salvador Aliotta. En dichos registros sísmicos se analizó la presencia, distribución espacial y posición en la columna de sedimentos del gas somero. Este mapa, obtenido con métodos sísmicos, se utilizó para definir los sitios de muestreo geológicos y biológicos. Particularmente, el sector que fue seleccionado para toma de muestras cuenta con una alta densidad de datos de registros sísmicos: 5 en sentido longitudinal y 11 transversales al canal Principal de navegación. De este modo, permitiendo un mapeo detallado del gas somero en el fondo y sub fondo marino.

Para el análisis de los registros sísmicos se utilizó el software SonarWiz 5 que permite correlacionar dichos registros con la posición exacta en un mapa de base. Como mapa de base se empleó la carta H256 del Servicio de Hidrografía Naval. Para cubrir la inexactitud que presentó dicha carta en los sectores alejados del canal de navegación, se construyeron mosaicos con fotos aéreas del Instituto Geográfico Militar, los cuales fueron georreferenciados previamente por Giagante (2009). Para la confección del mapa se utilizó una herramienta de SonarWiz para exportar los datos a Google Earth y, posteriormente, se utilizaron softwares de diseño.

## **7. Morfología y sedimentos de fondo y sub-fondo**

Considerando la información disponible sobre la distribución del gas somero (Fig. 13) se seleccionaron dos sitios de muestreo (Fig. 14), con gas (G) y control (C), ambos con características similares. Ambos sitios de muestreo presentan características geomorfológicas similares, se encuentran a una distancia entre sí de 1650 m y presentan una profundidad de 3 m en marea baja.

## **7.1 Tareas de campo**

Las tareas de campo referidas a esta sección consistieron en campañas oceanográficas donde se realizaron muestreos de sedimentos superficiales y relevamientos con sonar de barrido lateral.

### *7.1.1 Muestreo de sedimento*

Se emplearon 4 tipos de muestreadores para la adquisición de muestras geológicas y biológicas. Entre estos, para el muestreo biológico se utilizó una rastra (Fig. 6, A) que cuenta con una boca de 10 x 30 cm y una malla de 0.5 mm. Además, se realizaron muestreos puntuales con dos muestreadores a mandíbula: draga Van Veen y Snapper. La draga Van Veen (Fig. 6, B) cuenta con una superficie de muestreo de 0.18 m<sup>2</sup> y, con una penetración de aproximadamente 10 cm, colecta un volumen de hasta 20 L de sedimento. La misma fue utilizada para muestreo puntual de bentos y sedimentos asociados a los invertebrados bentónicos colectados. El Snapper (Fig. 6, C) tiene una superficie de muestreo de 0.015 m<sup>2</sup> y se empleó para muestreo puntual de sedimentos superficiales. Por último, se empleó un saca testigo por gravedad Phleger (Fig. 6, D) con un cabezal de 20 kg. Para extraer la columna de sedimentos se utilizó un tubo de acrílico de 3 cm de diámetro y 60 cm de longitud.



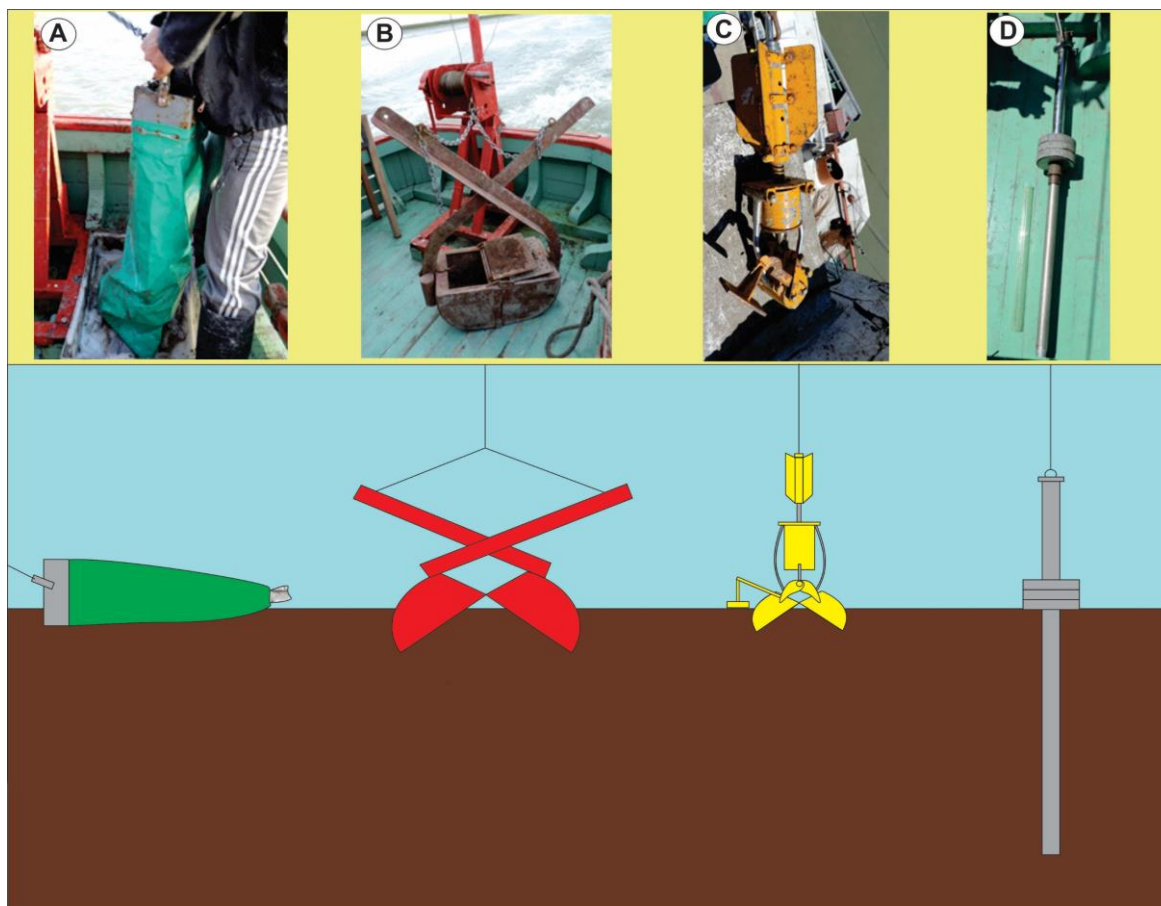


Figura 6. Fotografías (arriba) y esquema (abajo) del funcionamiento de los distintos muestreadores de sedimento utilizados en este trabajo: A) rastra, B) draga Van Veen, C) Snapper, D) Phleger.

Para conocer la distribución de los materiales que componen la superficie del fondo, se realizó un muestreo de los sedimentos en distintos puntos de interés que cubren el área de estudio (Fig. 14). La posición del lugar se obtuvo con el sistema de posicionamiento detallado al comienzo del presente capítulo. Para establecer las características sedimentológicas del fondo marino, en cada sitio de estudio fueron colectadas muestras de sedimento con tres tipos de muestreadores (Fig. 6). Para comparar el sitio G con el sitio C se obtuvieron en cada sitio: 9 muestras con draga Van Veen, tres con Snapper y 6 testigos con muestreador Phleger. Por último, de los 6 testigos adquiridos con Phleger en cada sitio de muestreo, con gas y sin gas, 3 muestras fueron obtenidas con el objetivo de medir cualitativamente el gas metano con HPLC y las 3 muestras restantes para ser analizadas con rayos X. Estas últimas muestras fueron posteriormente utilizadas para análisis de variaciones sedimentológicas a lo largo de la columna de sedimentos extraída.

Para la obtención de muestras para medición del contenido de metano los testigos fueron extruidos inmediatamente después de su extracción en bolsas colocadas de forma hermética alrededor del muestreador Phleger. Para la extrusión del material se empleó un émbolo de diámetro coincidente con el del testigo. Una vez extraído todo el material del testigo, las bolsas fueron selladas herméticamente conteniendo un volumen de aire en su interior a fin de que el metano atrapado en forma de burbujas en los sedimentos, al escapar, quedara concentrado en el mismo. Estas muestras fueron conservadas en freezer a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis en laboratorio.

Los testigos utilizados para análisis de rayos X y sedimentológicos fueron etiquetados y sellados en ambos extremos con cinta adhesiva. Posteriormente se dispusieron en cámara fría a  $4^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis en laboratorio.

#### *7.1.2 Sonar de barrido lateral*

El sonar de barrido lateral permite obtener imágenes del fondo marino en tiempo real, utilizando una señal acústica de alta frecuencia la cual es transformada en contrastes gráficos visibles (Fig. 7).

Esta técnica permite obtener información detallada sobre la distribución areal de sedimentos, identificación de diferentes formas de fondo, rasgos morfológicos mayores como bancos y canales. Las dimensiones y la potencia resolutive que tienen los sonogramas producidos por este equipo se asemejan a una fotografía aérea. Cuando el pulso de sonido emitido como un haz toca oblicuamente el fondo marino, una porción de la energía retorna por efecto de la dispersión, a la fuente de emisión (el transductor). El haz efectivo tiene la forma de una cuña con ángulo agudo ( $40^{\circ}$ ) en el plano vertical (Fig. 7), por lo tanto, cada rayo que regresa del fondo tiene un recorrido que es distinto de otro. Así, los rayos recibidos por el emisor son amplificados y registrados sobre papel seco electrosensitivo en 16 tonos de gris. Este proceso se repite continuamente, por lo tanto, los pulsos acústicos componen una imagen bidimensional de la superficie del fondo marino. Los contrastes de la imagen se deben a las diferencias de reverberación que se originan entre los

distintos materiales u objetos del fondo. Por ello se habla del coeficiente de reverberación el cual es medido en dB (decibel). Según distintos autores las diferencias de reverberación entre un fondo blando (fango) y un fondo duro (roca) es del orden de 25 dB (Urick 1954, Mc Kinney & Anderson 1964).

En el presente estudio se utilizó un Sonar de Barrido Lateral marca EG&G, modelo SMS 960. El mismo está constituido por un registrador gráfico, por los transductores EG&G 272 y por un cable de arrastre. (Fig. 8). El primero de ellos funciona como transmisor y procesador de la señal acústica. Los transductores, los cuales van montados dentro de un cuerpo ("tow fish" o pez de remolque) con diseño hidrodinámico para las corrientes. Estos se remolcan siempre a una profundidad que está por debajo de la turbulencia producida por la hélice de la embarcación. El cable de arrastre tiene una longitud de 50 m y actúa de transmisor de las señales eléctricas. Su función es la de conectar el registrador gráfico con los transductores. La frecuencia de operación del equipo es de 105 kHz con una longitud de pulso de 0,1 mseg. El pulso emitido por el transductor es angosto en sentido longitudinal ( $1^{\circ}$ - $2^{\circ}$ ) y amplio en sentido transversal (Fig. 8). El tiempo entre impulsos acústicos y alcance de barrido dependerá del rango de trabajo utilizado. La mayoría de los sonares, como el que se utilizó en este estudio, trabajan en un rango desde 100 hasta

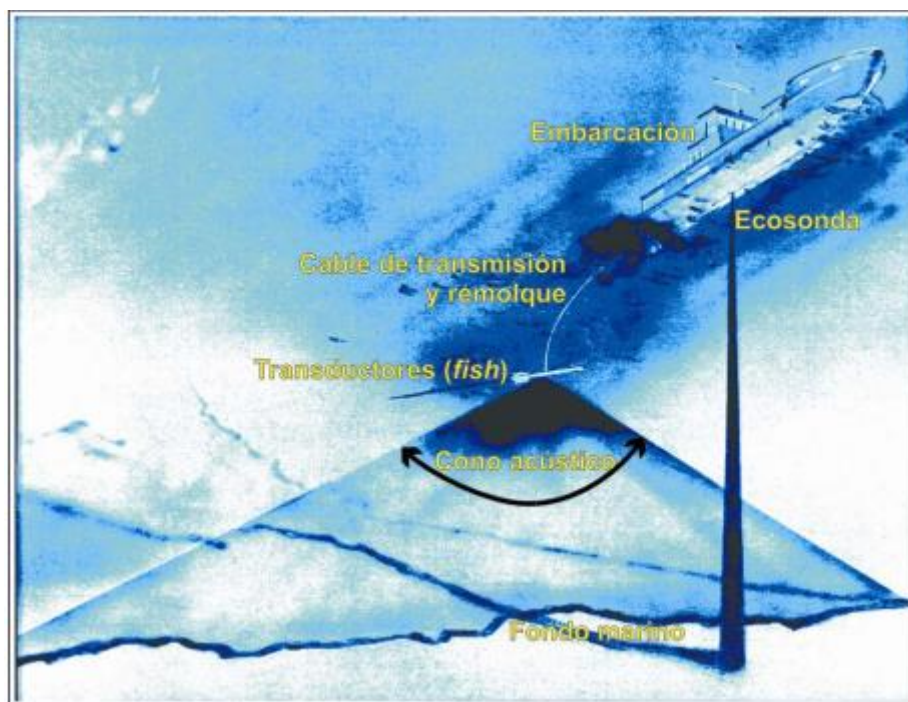


Figura 7. Esquema de relevamiento con sonar de barrido lateral.

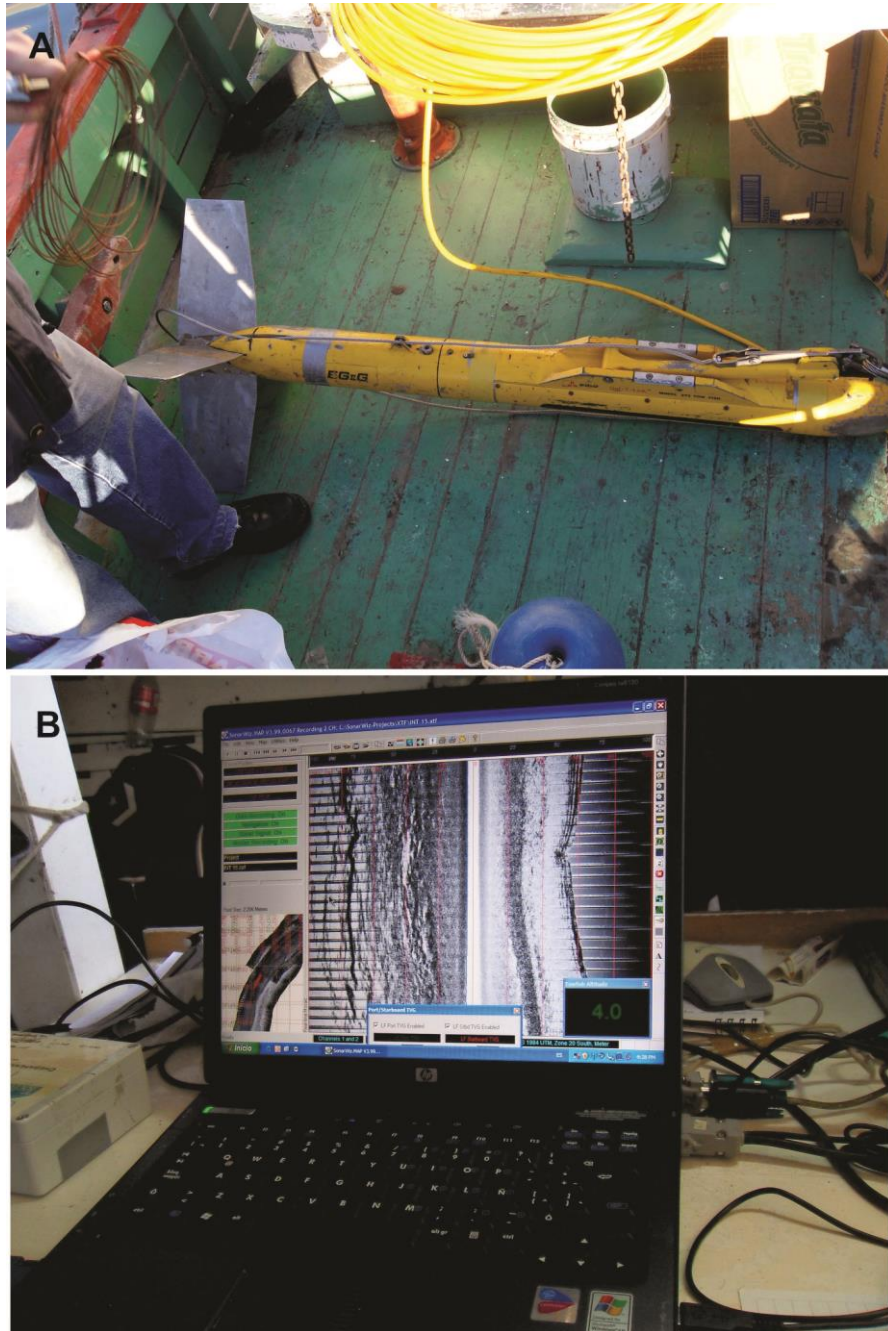


Figura 8. Elementos constituyentes del sonar de barrido lateral: a) Transductor (fish), b) Instrumental electrónico-digital, PC con el software de adquisición y posicionamiento.

500 m. Esta distancia horizontal de barrido es seleccionada por el operador en función de la profundidad de agua, el objetivo del relevamiento y el grado de detalle que se desea obtener. Para el presente estudio, todos los relevamientos se realizaron con un rango de 100 m.

## 7.2 Tareas de laboratorio

### 7.2.1 *Análisis granulométrico*

Los testigos (Fig. 9) utilizados para análisis de rayos X fueron posteriormente utilizados para análisis granulométrico y de contenido de materia orgánica. Para esto, se cortaron los testigos a la mitad en sentido longitudinal y se obtuvieron submuestras cada 7 cm desde la superficie del testigo hasta el final de la columna sedimentaria obtenida en cada caso.

En todos los casos el análisis textural de los sedimentos fue realizado macroscópicamente y utilizando un difractómetro láser (Mastersizer, 2000 Malvern Instruments, UK). Previamente, para eliminar el contenido de materia orgánica los sedimentos fueron tratados con agua oxigenada en caliente (Fig. 10).

### 7.2.2 *Análisis de contenido de materia orgánica*

El contenido total de materia orgánica para cada muestra fue obtenido mediante el método de calcinación (Heiri et al. 2001). El mismo consistió en secado de las muestras en estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante. Una vez eliminada la humedad, las muestras fueron llevadas a mufla a 450°C por 4 horas. Luego de la calcinación se obtuvo el peso de las muestras libres de materia orgánica. De este modo, la diferencia del peso de la muestra antes y después de la calcinación es el contenido de materia orgánica del sedimento.



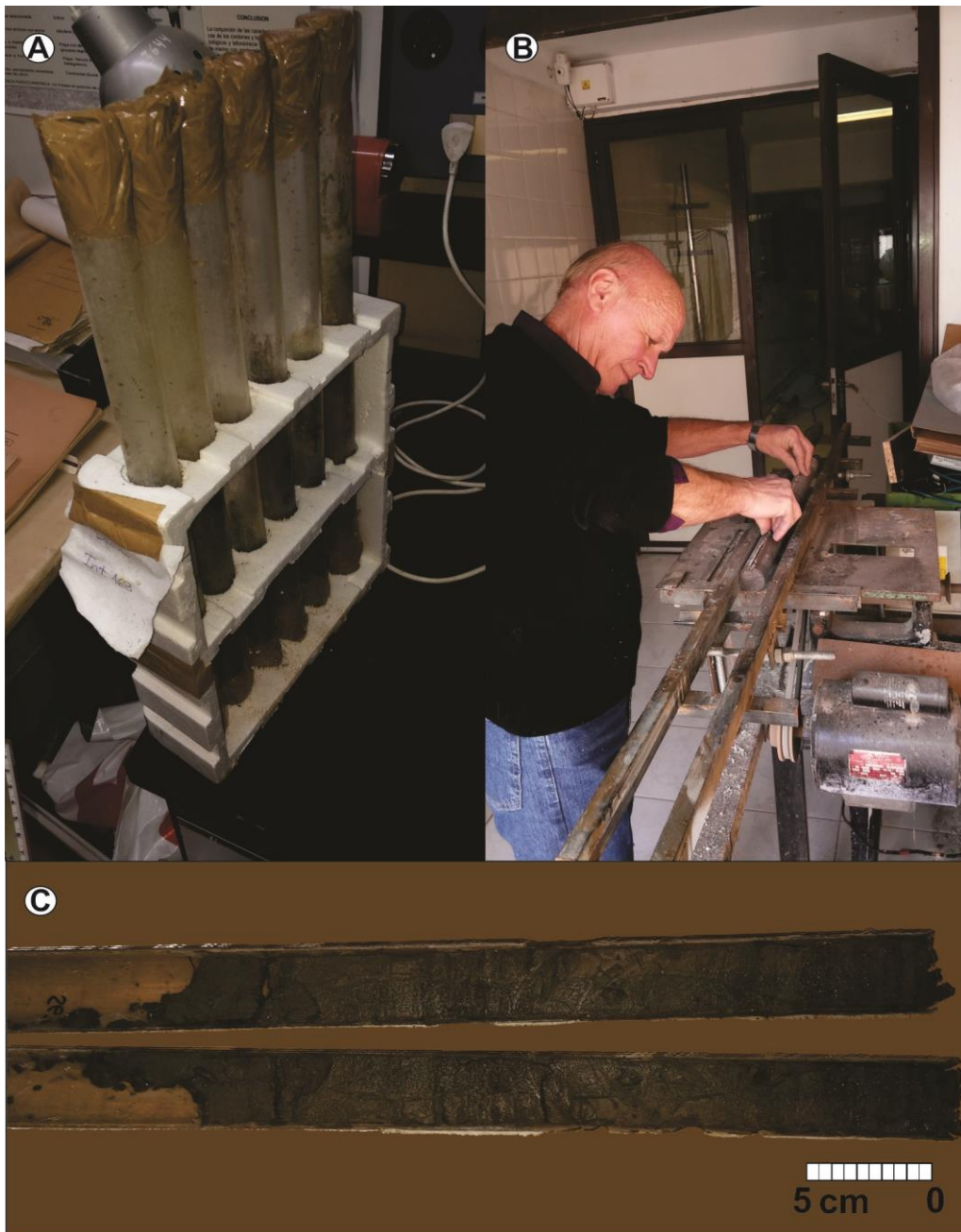


Figura 9. Trabajo de laboratorio con testigos obtenidos con muestreador Phleger. A) Sostén empleado para la realización de tomografías y conservación en frío de las muestras, B) realización de corte con sierra circular en sentido longitudinal de los testigos, C) Ejemplo de una sección longitudinal de un testigo.

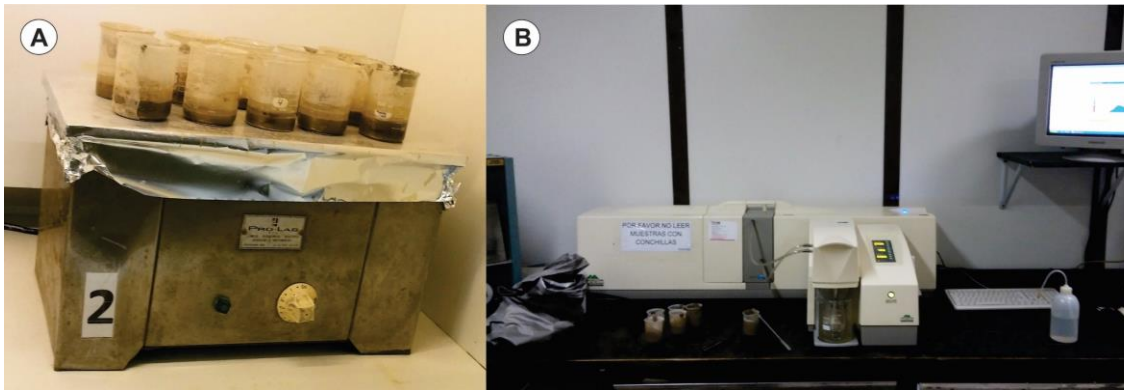


Figura 10. A) Eliminación de materia orgánica en caliente, B) Difractómetro laser (Mastersizer 2000) utilizado para el análisis granulométrico de los sedimentos.

### 7.2.3 Análisis de testigos con Rayos X

Se realizaron análisis de rayos X de tres testigos pertenecientes a cada sitio de muestreo en sección longitudinal a los mismos. Las imágenes obtenidas fueron analizadas en busca de evidencias de burbujas de gas atrapadas en los sedimentos. En el caso de las tomografías, se realizaron en sección transversal a los testigos y las imágenes obtenidas se analizaron con el software específico. Dicho software permitió, mediante el uso de filtros empleados en medicina para destacar estructuras óseas, analizar evidencias de calcificación en los sedimentos.

### 7.2.4 Medición cualitativa de gas metano

Este es un análisis preliminar para evaluar la efectividad del método que tiene como objetivo final la medición de la concentración del metano en los sedimentos gasíferos. Para efectuar la medición cualitativa del metano se tomó el aire contenido en una bolsa con muestra de sedimentos gasíferos. Este gas fue introducido en un vial para análisis de cromatografía líquida por *Head space* llevado a cabo en los laboratorios del Instituto Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI-CONICET). El cromatograma obtenido se comparó con uno de gas metano de referencia.

## 7.3 Tareas de gabinete

### 7.3.1 Interpretación de los Registros de Sonar de Barrido Lateral

Con el objetivo de establecer los rasgos morfológicos que caracterizan el fondo marino se analizó la información aportada por el sonar de barrido lateral. Para esto, todos los registros (sonogramas) fueron reprocesados digitalmente. Los sonogramas fueron superpuestos para la construcción de un mosaico en el software SonarWiz. Este mosaico se exportó a Google Earth y se generó un mapa. Sobre este mapa se delimitaron los sectores con gas en superficie y sub-fondo, así como, los puntos de muestreo de sedimentos para facilitar la interpretación de las características geomorfológicas a las que se encuentran asociados.

En cuanto a la interpretación de los registros sonográficos, es importante mencionar que los mismos aquí se presentan en modo positivo. Ello significa que los valores bajos de energía sónica dispersada hacia la fuente (por ejemplo, sombras acústicas o sedimentos finos sueltos) se representan en tonos claros, mientras que las tonalidades más oscuras indican valores altos de energía (como los producidos por material grueso o litificado).

### 7.3.2 Análisis granulométrico de los sedimentos

Para la caracterización sedimentológica se compararon las muestras obtenidas con los tres tipos de muestreadores (draga Van Veen, Snapper y Phleger). Para esto se realizó un análisis estadístico utilizando un software que se ejecuta con la plataforma R (Bustamante et al. en prep., R Core Team 2017). Dicho análisis consistió en la clasificación de cada muestra según la versión modificada de Vozza et al. (1974) del diagrama de Shepard (1954). Estos análisis individuales fueron combinados de manera de obtener un diagrama de Shepard por sitio incluyendo el total de las muestras obtenidas. Se compararon los promedios de las medias en base al método logarítmico de Folk & Ward. Por último, se comparó el promedio de la representatividad (%) de las principales fracciones de sedimento (arena, limo y arcilla).



Los datos de las muestras obtenidas con draga Van Veen fueron sometidas a un análisis estadístico más exhaustivo para caracterización del hábitat bentónico. De cada muestra por sitio se analizó la distribución de frecuencias, en base a la escala de Udden-Wentworth, para las siguientes clases de tamaño: arcilla, limo muy fino, limo fino, limo medio, limo grueso, arena muy fina, arena fina, arena media, arena gruesa y arena muy gruesa. De este modo se generó una matriz que, por un lado, se sometió a un análisis N-MDS al cual se superpuso la distribución de frecuencias de las principales clases de sedimento (arena, limo y arcilla) de cada muestra para generar un gráfico de burbujas. Este análisis fue realizado en el software PRIMER-E6 (Clarke & Gorley 2006). Por otro lado, se realizó una comparación de la granulometría entre sitios con gas y control, así como entre estaciones. Para esto se realizó un análisis ANOVA a dos vías en R (R Core Team 2017) de la misma matriz detallada anteriormente. Previamente se verificaron los supuestos de distribución normal y homocedasticidad usando gráficos Q-Q y el Test de Homogeneidad de Varianza de Levene.

Por último, se comparó la granulometría de los sedimentos de los testigos extraídos con muestreador Phleger dentro de la columna de sedimentos en base a la toma de submuestras cada 7 cm desde la superficie, así como entre testigos. Para la toma de submuestras en la columna de sedimentos se priorizó el análisis hasta los 14 cm de profundidad considerando, de este modo, el sector de influencia del fondo marino hacia los invertebrados bentónicos. Los testigos que contaron con una columna de sedimentos de penetración superior a los 14 cm se muestrearon en el caso de apreciar diferenciación granulométrica. El análisis estadístico de los datos granulométricos consistió en la confección de un histograma para representar las frecuencias relativas de cada clase de tamaño según la clasificación de Udden-Wentworth para cada submuestra de sedimento. También se clasificaron granulométricamente las muestras según la versión modificada de Vozza et al. (1974) del diagrama de Shepard (1954). Por último, se calculó la media y desvío estándar de la granulometría según Folk & Ward (1957) en base a medidas gráficas. Dicho análisis se realizó con el software ejecutable en R (R Core Team 2017).

### *7.3.3 Análisis del contenido de materia orgánica*

Para comparar el contenido de materia orgánica entre sitios y estaciones se calcularon las medias. Dichas medias se compararon utilizando un ANOVA a dos vías en R (R Core Team 2017). Previamente se verificaron los supuestos de distribución normal y homocedasticidad usando gráficos Q-Q y el Test de Homogeneidad de Varianza de Levene. La matriz de datos ambientales incluyó la granulometría de los sedimentos y la materia orgánica como parámetros explicativos en el análisis multivariado de los datos biológicos (ver sección 8.3.1).

## **8. Caracterización de la comunidad bentónica de sedimentos gasíferos**

Para el análisis del efecto del gas sobre las comunidades bentónicas del estuario de Bahía Blanca se seleccionó el mismo sitio de muestreo utilizado para caracterización geológica descripto previamente. Las muestras fueron posicionadas a lo largo de una transecta cuya dirección coincide con un registro sísmico, siendo ambos paralelos al veril sur del canal Principal (Fig. 14).

### **8.1 Tareas de campo**

Para el estudio de las comunidades bentónicas afectadas por el gas se realizaron dos muestreos en los sitios con gas y control. Dichos muestreos se efectuaron en noviembre de 2014 y en junio de 2015. Para tal fin se utilizaron dos muestreadores de sedimento superficial: una draga Van Veen y una rastra (Fig. 6) que fueron descriptos previamente (ver sección 7.1.1). Se obtuvieron nueve muestras con draga Van Veen en cada sitio con una distancia entre muestras de 30 m. Se realizó un arrastre en cada sitio durante 1 minuto a 2 nudos de velocidad. Las muestras fueron tamizadas a bordo de la embarcación (Fig. 11) con tamices de 0.5 mm y se fijaron en solución de formaldehído diluido al 4% en agua de mar.



Figura 11. Muestreo biológico. A) Obtención de muestra con rastra, B) Muestra completa obtenida con rastra, C) Tamices de 0,5 mm utilizados a bordo D) Tamizado de muestra a bordo.

## 8.2 Tareas de laboratorio

Las muestras fueron analizadas bajo lupa binocular y microscopio (Fig. 12). Los macroinvertebrados bentónicos identificados fueron cuantificados. La biomasa total fue medida como la suma del peso húmedo de cada taxa por muestra con una balanza de precisión (0.001 g). Los moluscos fueron pesados incluyendo sus conchillas y valvas. Los organismos fueron identificados utilizando la literatura disponible para el área de estudio (Ringuelet 1966, 1969, Fauchald 1977, Orensanz 1973, 1974, Lichtschein de Bastida & Bastida 1980, Boschi et al. 1992) así como consultas a especialistas en taxonomía de poliquetos: Dr. Rodolfo Elías (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Mar del Plata), Lic. Leslie Harris (Natural



Figura 12. Lupa binocular utilizada para la identificación y cuantificación de los organismos bentónicos.

History Museum of Los Angeles County, Los Angeles, Estados Unidos) y Dr. Sergio Salazar-Vallejo (El Colegio de la Frontera Sur, Chetumal, México), en peces: Dra. Gabriela Blasina (IADO-CONICET), en cnidarios: Dr. Gabriel Genzano (IIMYC-CONICET) y en equinodermos: Dr. Martín Brogger (IBIOMAR-CENPAT).

### 8.3 Análisis estadístico de los datos

#### 8.3.1 *Matriz de datos ambientales*

Los datos ambientales obtenidos del análisis estadístico previamente descripto (ver secciones 7.3.2 y 7.3.3) fueron transformados (raíz cuadrada) y luego normalizados. Usando datos normalizados se construyó la matriz de similitud aplicando la distancia Euclídea. El set de variables ambientales y de datos de abundancia de la comunidad macrobentónica para cada estación y sitio se analizaron usando la rutina *Envfit* en R (R Core Team 2017).

#### 8.3.2 *Diversidad y estructura comunitaria en base a muestras de draga*

A continuación, se detalla el análisis de datos procedentes de muestras de draga Van Veen. El número total de individuos ( $N$ ), riqueza de especies ( $S$ ), índice de riqueza de especies de Margaleff ( $d$ ), los índices de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Pielou ( $J'$ ) y Simpson ( $\lambda$ ) fueron calculados y comparados mediante un

análisis ANOVA a dos vías. Antes de hacer el ANOVA, se examinó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad utilizando gráficos Q-Q y el test de Levene. La abundancia y biomasa relativa (expresadas en porcentaje respecto al total para cada estación y sitio) de los taxa superiores (clase y Phylum) en G y C fueron comparadas gráficamente para cada estación mediante gráficos de barras. En este análisis no se consideraron las especies que representaron menos del 0.5% del total de la abundancia o biomasa.

Los datos de abundancia de la comunidad macrobentónica para cada estación y sitio se transformaron (raíz cuadrada) y luego se construyó una matriz de similitud utilizando el índice de similitud de Bray Curtis. Los efectos de estación (primavera e invierno), presencia de gas y variables ambientales (granulometría y contenido de materia orgánica) en la estructura de la comunidad macrobentónica se evaluaron utilizando la rutina *Envfit*, así como, un análisis PERMANOVA (9999 iteraciones), luego de verificar la dispersión de los datos por medio de un Análisis Multivariado de la Homogeneidad de la Dispersión de los Grupos. La relación entre la estructura comunitaria y las variables ambientales también se analizó mediante un ordenamiento exploratorio utilizando un N-MDS. Las muestras correspondientes a cada sitio y estación se mapearon en un ordenamiento espacial bidimensional. Asimismo, se incorporaron al gráfico del análisis las especies con una frecuencia igual o mayor al 20% (en términos de abundancia) que mostraron un ajuste superior al 50% a los ejes del ordenamiento. Las variables ambientales también se ajustaron al ordenamiento N-MDS utilizando el ajuste de vectores. De este modo, aquellas variables que mostraron una correlación significativa se incorporaron al gráfico de ordenamiento. Antes de aplicar tanto el N-MDS como el PERMANOVA, se realizó una doble estandarización de Wisconsin y una transformación (raíz cuadrada) a los datos de abundancia biológicos (Legendre & Gallagher 2001). El ordenamiento se realizó en base a una matriz de disimilitud calculada utilizando la distancia de Bray-Curtis. Tanto el análisis ANOVA, como el PERMANOVA y el ordenamiento N-MDS se realizaron en R (R Core Team 2017) utilizando los paquetes *vegan* (Oksanen et al. 2018) y *ggplot2* (Wickham 2009).

Estos análisis fueron complementados con un test SIMPER (porcentajes de similitud) para determinar la principal contribución de las especies a la formación de los grupos. Tanto este análisis como el cálculo de los índices de diversidad fueron realizados en el software PRIMER E-6 (Clarke & Gorley 2006).

### 8.3.3 *Diversidad y estructura comunitaria en base a muestras de rastra*

Se analizaron abundancia, biomasa y diversidad de los datos obtenidos de las muestras de rastra. Se estimaron los mismos índices de diversidad mencionados para el análisis de muestras de draga Van Veen. También se compararon la abundancia y la biomasa relativa (en porcentaje) de los niveles taxonómicos superiores. Estos parámetros se compararon cualitativamente tanto entre sitios como entre estaciones. Además, se calculó el coeficiente de similitud de Sørensen (Czekanovski-Dice- Sørensen) para comparar la estructura comunitaria entre muestras.

### 8.3.4 *Comparación de datos de rastra versus draga Van Veen*

Para comparar los datos obtenidos con muestras de draga Van Veen con aquellos obtenidos con muestras de rastra se confeccionó una tabla de presencia de los diferentes taxa para ambos tipos de muestreadores en ambos sitios y estaciones analizadas. Además, se calculó el coeficiente de similitud de Sørensen (Czekanovski-Dice- Sørensen) para comparar la estructura comunitaria entre los datos obtenidos por los distintos métodos de muestreo para cada sitio y estación.

### 8.3.5 *Ecología funcional*

Los análisis de características biológicas de los invertebrados macrobentónicos han sido empleados para comparar la respuesta funcional de la comunidad a las condiciones ambientales o a agentes de disturbio (Levin et al. 2017). Por ejemplo, Bonada et al. (2007) compararon a los macroinvertebrados en sistemas Mediterráneos en estados de sequía e inundación con otros sistemas templados más estables, y encontraron que la composición funcional fue menos

sensible a los cambios inducidos por el clima que la composición taxonómica. En contraste, Usseglio Polatera et al. (2000) y Van der Linden et al. (2012) encontraron que el análisis de características biológicas pudo detectar transiciones en ecosistemas de ríos y estuarios que no pudieron ser detectadas por el análisis taxonómico por sí solo. Además, el análisis de características biológicas ha sido propuesto como una herramienta para comprender la asociación de la fauna con las propiedades del fondo marino (Schratzberger et al. 2007), monitorear los cambios en los ecosistemas bentónicos resultantes de las actividades de dragado (Cooper et al. 2008), evaluar la capacidad de proveer servicios ecosistémicos como procesamiento de residuos (Bremner et al. 2003), conservación de la biodiversidad (Statzner et al. 2007) así como, designación y manejo de áreas marinas protegidas (Frid et al. 2008). Hasta la actualidad, sólo se cuenta con el análisis de Levin et al. (2017) referido al efecto del gas en mar profundo sobre la ecología funcional de los macroinvertebrados bentónicos. No existen estudios acerca del efecto del gas somero sobre la ecología funcional de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos.

Se realizó una clasificación de los taxa obtenidos en el muestreo con draga Van Veen para las siguientes características biológicas: estructura trófica, modo de vida, motilidad, tamaño y calcificación. Para tal fin, se realizaron análisis bibliográficos, consultas a especialistas (Dra. Ester Farinatti, Lic. Leslie Harris, Dr. Sergio Salazar-Vallejo) y observaciones morfológicas en laboratorio. La estructura trófica se estableció en función de las siguientes categorías: filtradores, bacterívoros, depositívoros superficiales, depositívoros sub-superficiales, omnívoros, carnívoros y herbívoros. En cuanto a las categorías de modos de vida, estas fueron: errante, cavador, tubícola y sésil. Los grados de motilidad de los organismos se clasificaron como: sésil, móvil y discreta. Los rangos de tamaño corporal se definieron como: pequeño (<1 cm), medio (1 – 5 cm) y grande (> 5 cm). Por último, para analizar los niveles de calcificación de los organismos se consideraron las siguientes clases: ausente, parcial y alta. Cada taxa bentónico se clasificó como perteneciente a solo una de las categorías para cada característica biológica analizada. De este modo se construyó una tabla con la asignación de cada taxa a una categoría para cada característica biológica. Posteriormente se seleccionaron los taxa pertenecientes a

cada categoría de cada característica biológica para construir una matriz de abundancias por muestra de cada taxa. En base a esta matriz se sumó el total de los organismos bentónicos pertenecientes a esa categoría por cada muestra. De este modo se obtuvo una matriz con la abundancia de organismos por muestra para cada categoría de cada característica biológica. Esta matriz se superpuso al gráfico del análisis N-MDS en forma de burbujas de tamaño proporcional a la abundancia por muestra de cada categoría para poder comparar las diferencias entre sitios y estaciones. Para este análisis se utilizó el software PRIMER E-6 (Clarke & Gorley 2006).



# **CAPÍTULO III**

## **Resultados**

## 9. Distribución del gas somero en el estuario de Bahía Blanca

Las anomalías acústicas en los registros sísmicos permitieron mapear la distribución de sedimentos gasíferos en el estuario de Bahía Blanca (Fig. 13). En base a la distancia entre los depósitos de gas somero y la superficie del fondo marino, el gas somero fue clasificado en dos categorías: “superficial” y “sub fondo” y, estas categorías, fueron plasmadas en el mapa. La categoría “superficial” indica acumulaciones de gas localizadas a menos de 1 m de la superficie del fondo marino, mientras que, la categoría “sub-fondo” indica acumulaciones localizadas a una distancia mayor a 1 m bajo el fondo marino.

Las reservas de gas se encuentran ampliamente distribuidas en el estuario y están cerca o incluso en contacto con la superficie del fondo marino de la zona interna del estuario. En dicha zona, el hidrocarburo ocupa un amplio sector del fondo marino incluyendo el frente marítimo donde se asientan las industrias petroquímicas y el complejo portuario White-Galván. La presencia del gas en los registros sísmicos fue evidenciada como un enmascaramiento total o parcial de los reflectores constituyentes de la columna sedimentaria del sub fondo marino como resultado de la atenuación de la señal sísmica por las burbujas de gas atrapadas en los sedimentos (Fig. 13). Este efecto es conocido como turbidez acústica. Los registros sísmicos también evidenciaron, en forma de turbidez acústica, la presencia de depósitos de gas superficiales mayores a 1.5 km en el área portuaria, tanto cerca como en contacto con la superficie del fondo marino.

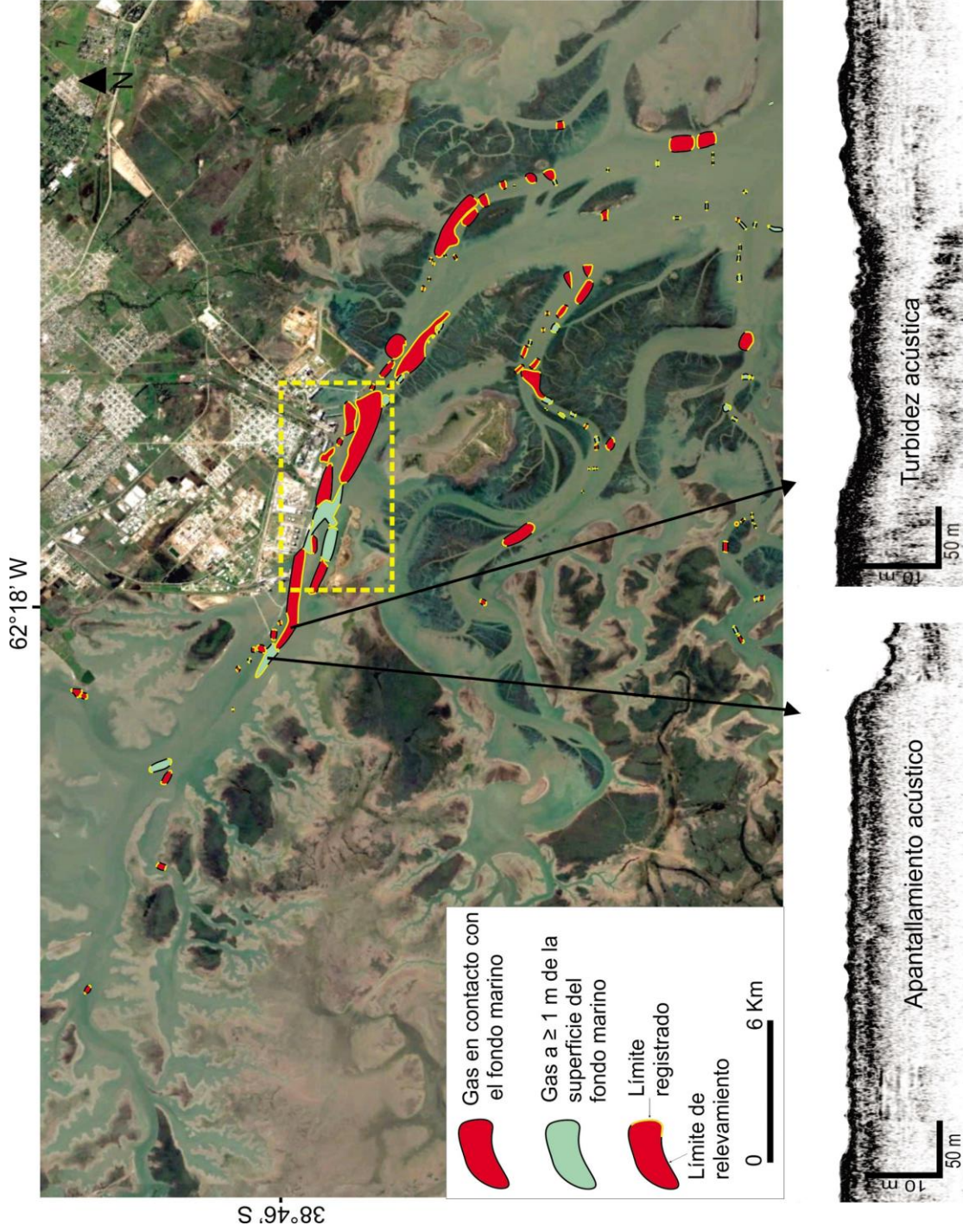


Figura 13. Mapa de distribución del gas somero en el estuario de Bahía Blanca. Los depósitos de gas están clasificados en base a su distancia al fondo marino: "superficiales" (rojo) y "sub-fondo" (verde). Las diferentes evidencias sísmicas encontradas se muestran debajo del mapa. Las flechas indican la correspondencia del apantallamiento acústico con el gas de sub-fondo, y de la turbidez acústica asociada al gas superficial. El recuadro amarillo representa la localización de los sitios de muestreo.

El apantallamiento acústico fue otra evidencia de acumulaciones gasíferas en el estuario de Bahía Blanca (Fig. 13). En este tipo de anomalía el techo de los depósitos adoptó la forma de un reflector muy marcado y, por debajo del mismo, el registro sísmico se encontró completamente enmascarado, de manera que la fuente del gas no pudo ser detectada. Dicha anomalía se encontró en todo el estuario de Bahía Blanca, con una predominancia en la zona más externa del área analizada. Estos depósitos de gas evidenciados en forma de apantallamiento acústico abarcan áreas que superan los 600 m de longitud. La distancia relativa entre los depósitos de gas y la superficie del fondo marino variaron entre 2 y 12 m. En general, estas acumulaciones gasíferas se encontraron asociadas a paleocanales, así como a los veriles de los canales.

En base al mapa de distribución del gas (Fig. 13) se seleccionaron los sitios de muestreo geológicos y biológicos (Fig. 14).



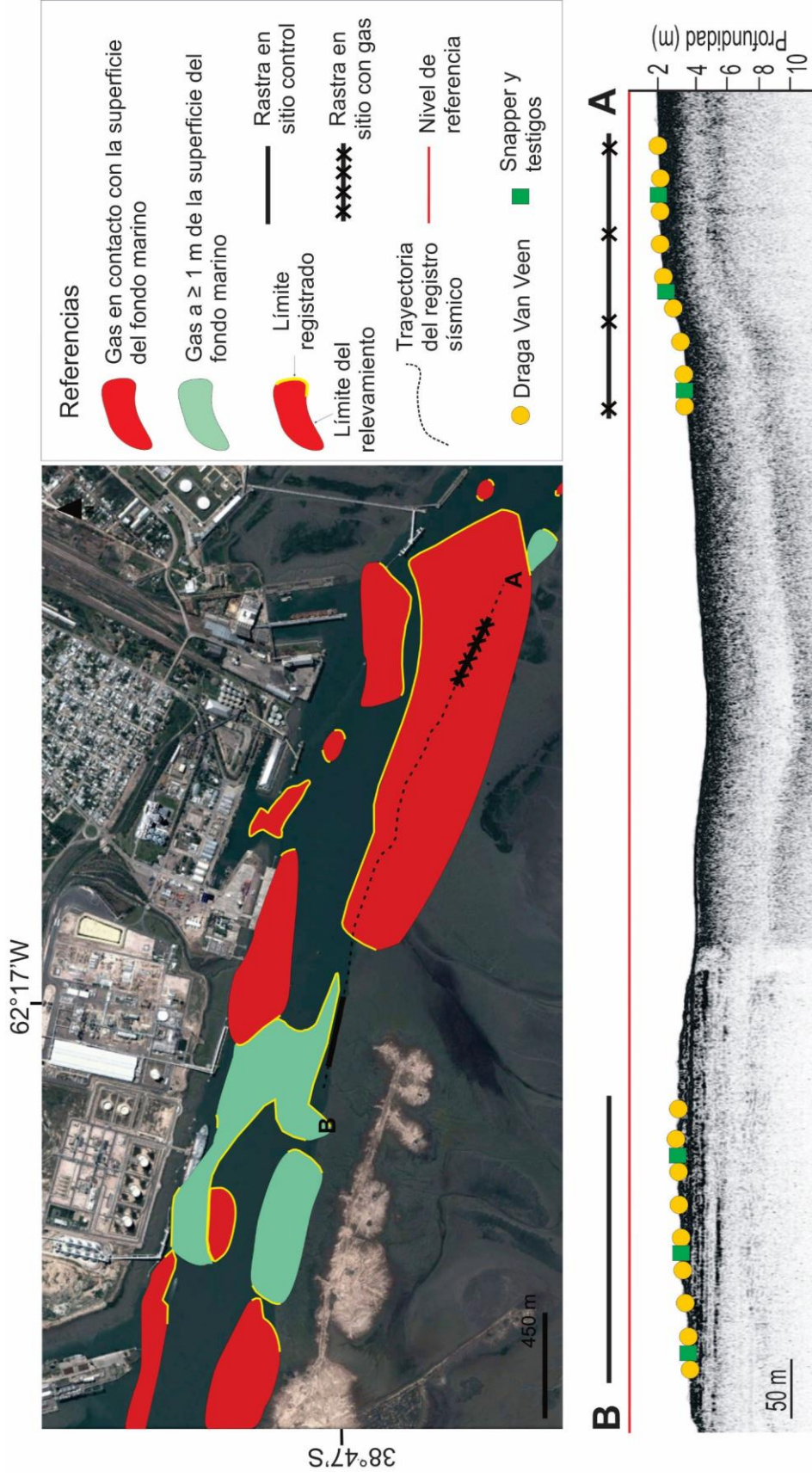


Figura 14. Sitios de muestreo. Abajo: detalle de la ubicación de las muestras obtenidas con los distintos muestreadores sobre el registro sísmico.

## **10. Morfología y sedimentos de fondo y sub-fondo**

### **10.1 Interpretación de registros de Sonar de barrido lateral**

En base a los sonogramas se generó el mapa que se presenta en la Fig. 15. En la Fig. 16 se delimitan los sectores con gas en la superficie del fondo marino y en el sub-fondo en el área. Además, se presentan los puntos de muestreo de sedimentos (Fig. 16).

Al evaluar los sonogramas se pudo determinar que, en general, el sector comprendido en los sitios de muestreo se caracteriza por una textura suave de baja reflectividad que contrasta con bandas de tonalidad más oscura, que representan la estratificación de estos sedimentos. Esto es coherente con sedimentos de tipo fangoso. Al evaluar los sedimentos gasíferos se pudo observar una atenuación de la señal acústica (Fig. 18), dichos sedimentos se observan con una textura más suave que los sedimentos adyacentes carentes de gas en la superficie del fondo marino. Por otro lado, se observaron las características del veril sur del canal Principal con una mayor estratificación en el sitio con gas que en el sitio control (Fig. 18).

En el mosaico el canal de navegación se encuentra delimitado por dos escarpas (Fig. 17, 18). Hacia el SO del área analizada en el mosaico se observa que el canal ha sido profundizado con draga de corte. Tanto estas marcas de dragado, como la mayor reflectividad y textura más rugosa indican el afloramiento del basamento rocoso. Posiblemente el material de este dragado fue depositado en las islas adyacentes. Marcas de draga de arrastre y succión le siguen a las de draga de corte debido a que el material de fondo pasa de ser litificado a blando (Fig. 18). Hacia el sur de las marcas de draga de corte se observan dos escalones naturales que se presentan en forma arqueada (Fig. 17, 18). Otras características que se encontraron en los sonogramas fueron marcas de arrastres, pozos y un disturbio que pudo ser producido por un muerto y una cadena en un escalón del veril sur al Este del sitio control (Fig. 17, 18).

Los sonogramas en el sector del veril norte presentaron una reflectividad y textura similar a aquellos del veril sur, por lo que, se dedujo que la textura del sedimento es también de tipo fangoso. A diferencia del veril sur, en el veril norte no se observó un escalonamiento natural o estratificación, sino que, se encuentra la máxima profundidad del sector, producto de dragado, para dar lugar a las actividades portuarias y el transporte marítimo asociado.

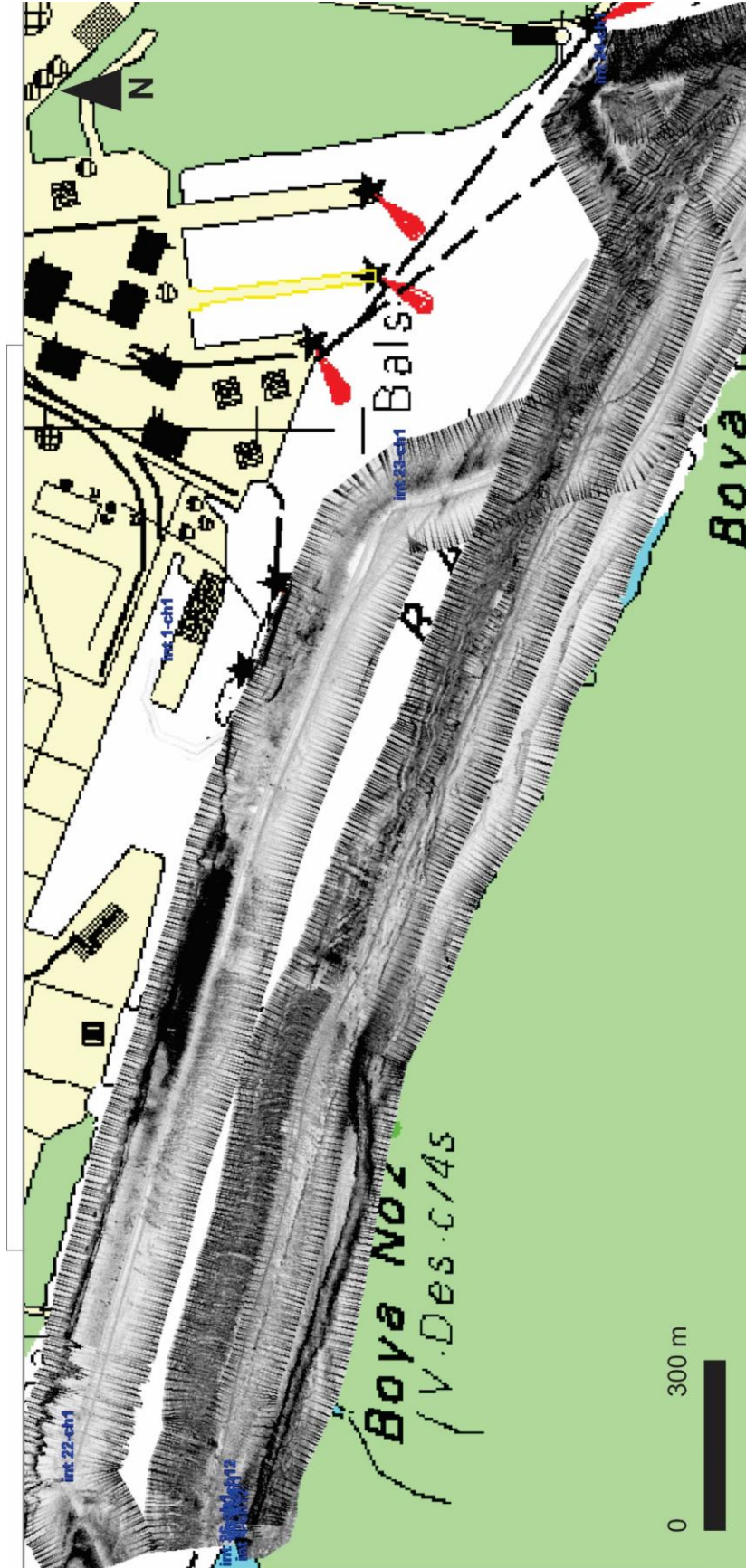


Figura 15. Mosaico de registros de sonar de barrido lateral en el área de estudio.





Figura 16. Mosaico de registros de sonar de barrido lateral con detalle de los sectores con gas en superficie y a 1 m o más de la superficie del fondo marino. También se representa la posición de las muestras obtenidas con draga Van Veen, Snapper y Phleger en los sitios con gas y control.

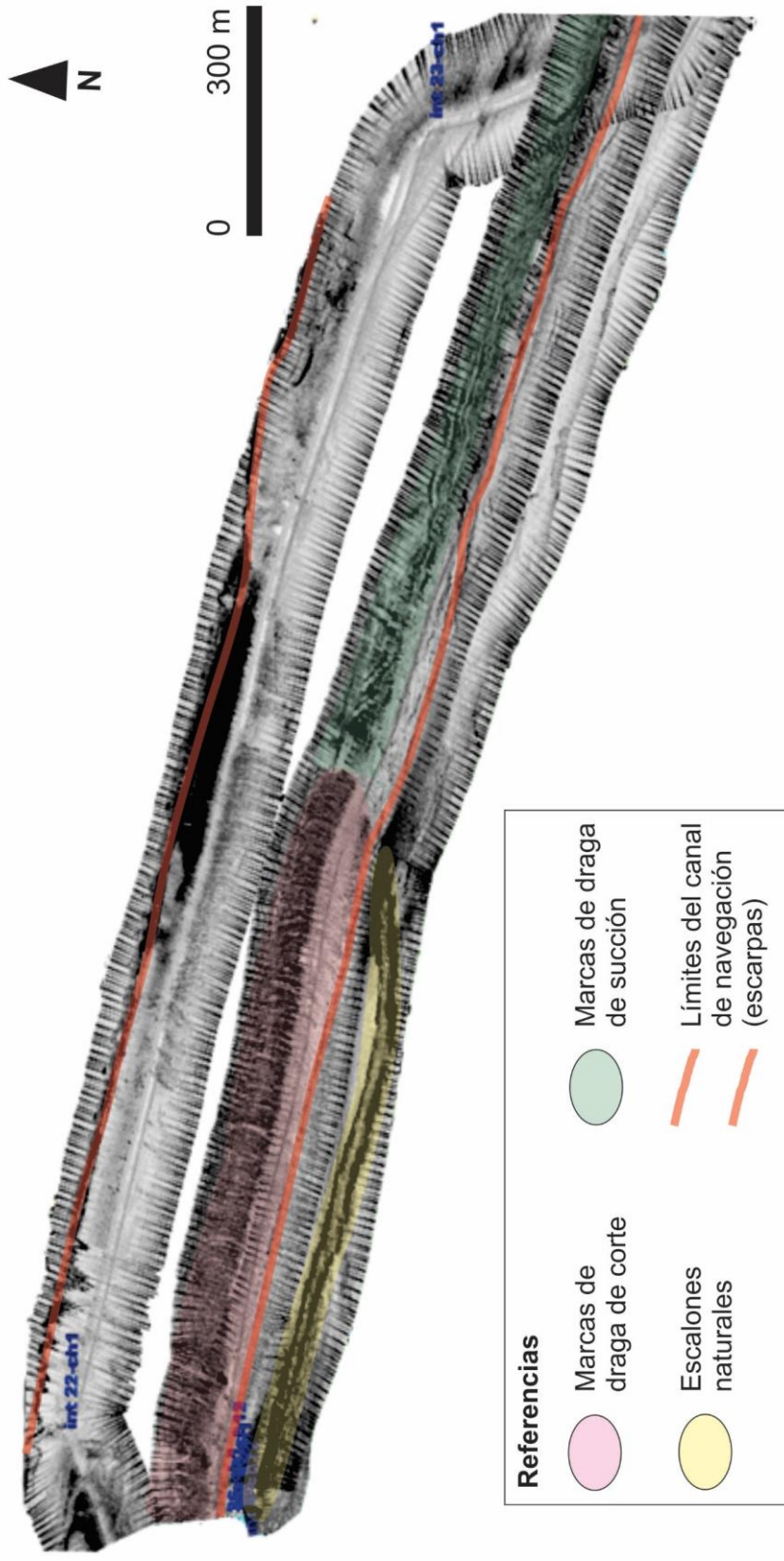


Figura 17. Mosaico de registros de sonar de barrido lateral con detalle de las marcas de dragado, las escarpas que delimitan el canal de navegación y los escalones naturales del veril sur.



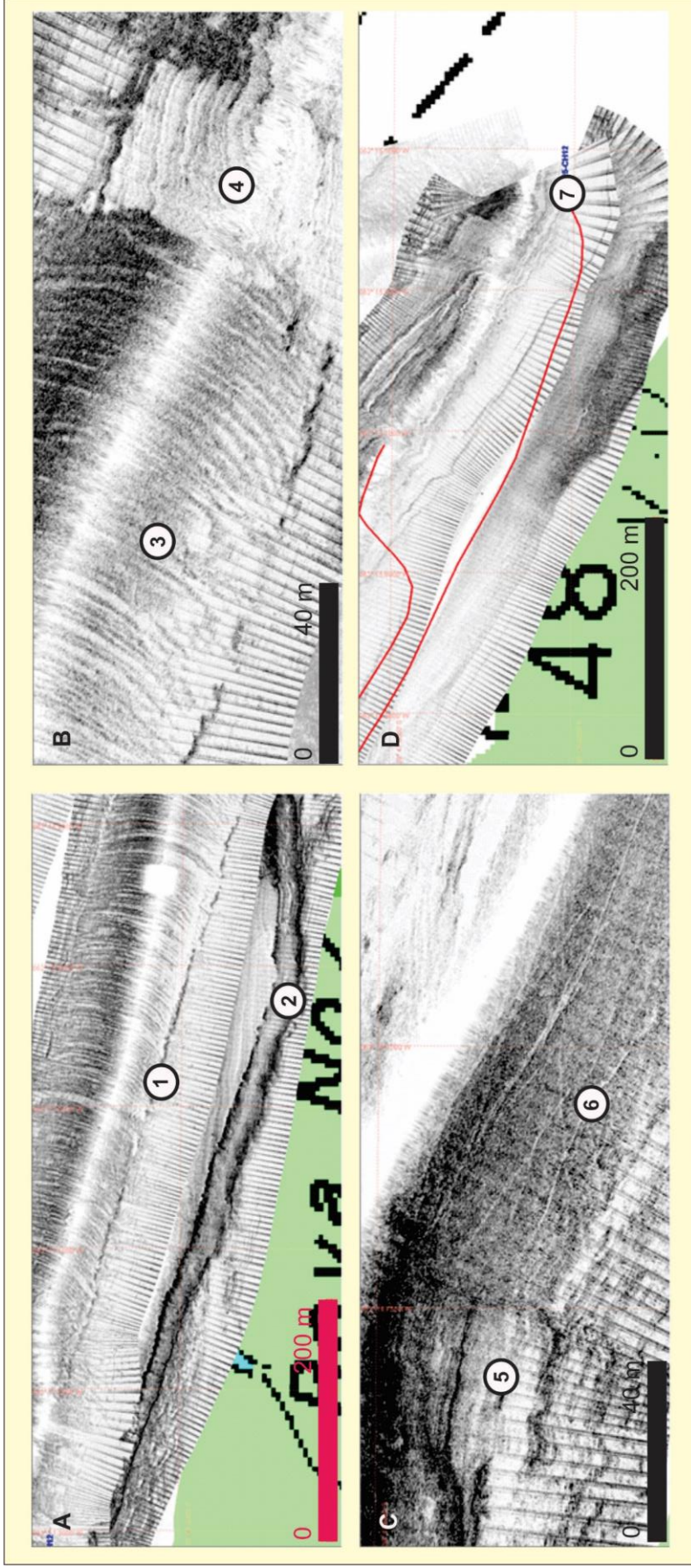


Figura 18. En estas imágenes de recortes de sonogramas se detallan las siguientes características: A) 1. Escarpa que limita el canal de navegación, 2. Escalones naturales del veril sur dispuestos de forma arqueada; B) Diferencias entre las marcas de draga, 3. Marcas de draga de corte, 4. Marcas de draga de succión; C) Características reflectivas de los sedimentos del sitio control, 5. Estratificación con pendiente suave, 6. Marcas de arastres en fondo fangoso cohesivo; D) Características reflectivas de sedimentos gasíferos 7. Trayectoria del registro sísmico donde se confirma la presencia de gas en contacto con la superficie del fondo marino en forma de turbidez acústica.

## 10.2 Caracterización sedimentológica

En base al análisis de los distintos tipos de muestras superficiales de sedimentos (draga Van Veen, snapper y sección superficial de testigos) obtenidos para ambos sitios se observó que la granulometría fue similar (Fig. 19). Ambos sitios tienen sedimentos de tipo fango arenoso. De este modo, la caracterización de los sedimentos en este sector, es coherente con la baja reflectividad y textura suave encontrada en los registros de sonar de barrido lateral. En general, las muestras del sitio control presentaron mayor dispersión que aquellas del sitio con gas. Ambos sitios tuvieron una importante cantidad de muestras caracterizadas como limo arcilloso, limo arcillo arenoso y limo arenoso. Los valores medios de granulometría de los sedimentos oscilaron entre 4.25 y 8.78 grados  $\phi$  en el sitio con gas (promedio = 5.56 grados  $\phi$ ), y entre 2.85 y 7.22 grados  $\phi$  en el sitio control (promedio = 4.87 grados  $\phi$ ). En cuanto a las diferencias que presentaron los sitios se puede decir que en el sitio control hubo una mayor representación de la fracción arena (diferencia promedio de 10.7%), mientras que, en el sitio con gas hubo una mayor proporción de la fracción arcilla (diferencia promedio de 7.8%). Bajo un análisis macroscópico se observó que los sedimentos de todas las muestras del sitio con gas presentaron una cohesividad significativamente menor que aquellas provenientes del sitio control.

Los resultados del análisis de la variación granulométrica en la columna de sedimentos obtenida en los testigos se representan desde la Figura 20 hasta la Figura 25. En los sedimentos gasíferos no se evidenció ninguna diferencia clara en la estructura de la columna. Mientras que, en los testigos del sitio control se encontró una media granulométrica levemente menor en los sedimentos ubicados en la columna de sedimentos a una profundidad de 7 a 14 cm respecto de

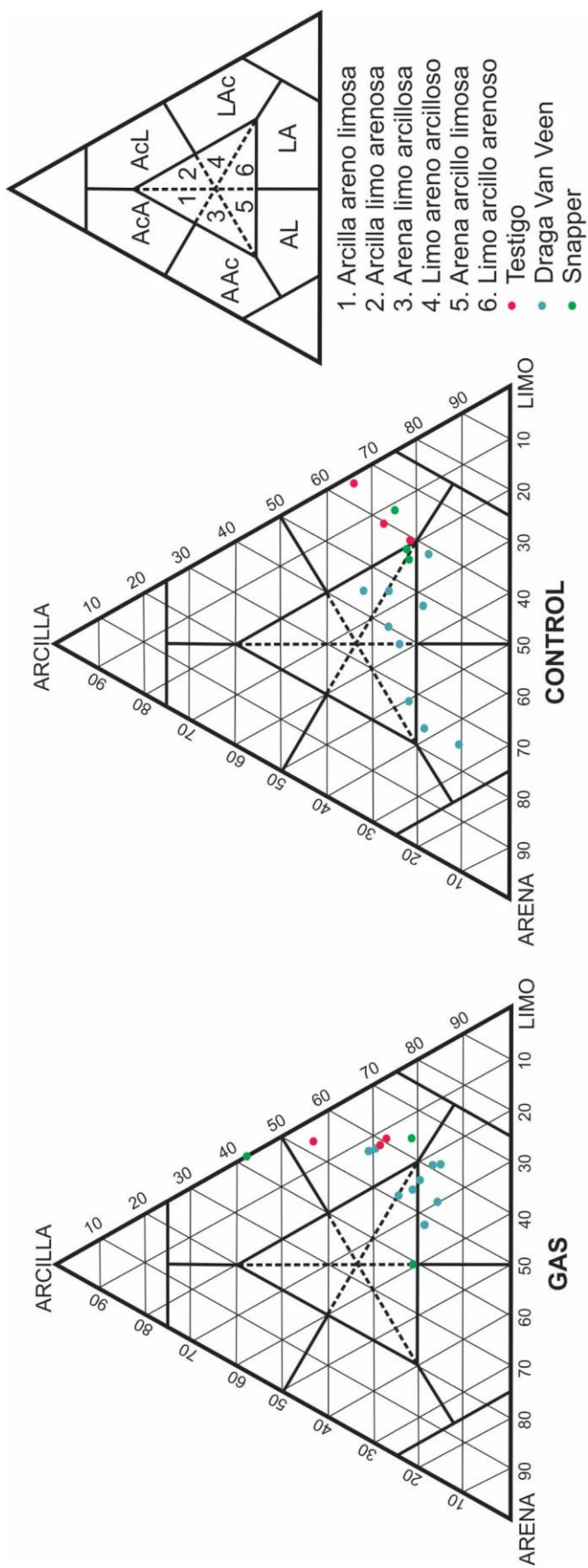


Figura 19. Diagramas de Shepard caracterizando la granulometría de los sedimentos del sitio con gas (a la izquierda) y control (a la derecha). En los diagramas se representaron las muestras superficiales de los testigos obtenidos con Phleger, así como, las muestras obtenidas con draga Van Veen y snapper. AcA: Arcilla arenosa, AAC: Arena arcillosa, AL: Arena limosa, LA: Limo arenoso, LAc: Limo arcilloso, AcL: Arcilla limosa.

aquellos de la superficie del fondo marino. Es decir, que hubo una proporción relativamente mayor de arena a mayor profundidad en la columna de sedimentos. En general los sedimentos en ambos sitios se clasificaron como limo arcilloso. En el sitio con gas también hubo muestras categorizadas como arcilla, mientras que en el sitio control, otras categorías de sedimento menos representadas fueron limo arenoso y limo arenoso arcilloso. El contenido de materia orgánica fue mayor en la columna de sedimentos del sitio con gas que en aquella del sitio control. Al comparar las submuestras pertenecientes al mismo testigo, en general, se halló una tendencia a un contenido levemente menor de materia orgánica en la superficie del fondo marino que en los estratos inferiores de la columna. En el testigo con gas que fue analizado a mayor profundidad se encontró a una profundidad entre 28 y 35 cm el valor mínimo de materia orgánica.

### **10.3 *Análisis de testigos con Rayos X***

Los resultados obtenidos del análisis de los testigos con rayos X se pueden observar desde la Figura 20 hasta la Figura 25. En las imágenes obtenidas no se encontraron burbujas de gas en los sedimentos. En la mayoría de las muestras no se observó ninguna evidencia de estratificación ni de calcificaciones. La falta de estructura de la columna es aún más marcada en los testigos de sedimentos gasíferos. Sin embargo, una muestra del sitio control presentó una clara evidencia de una fina estratificación laminar a lo largo de toda la columna de sedimentos obtenida (30 cm). Las capas poseen un espesor inferior a los 0,5 cm y se hallan evidenciadas por una alternancia granulométrica. Dichas características no fueron observables macroscópicamente.

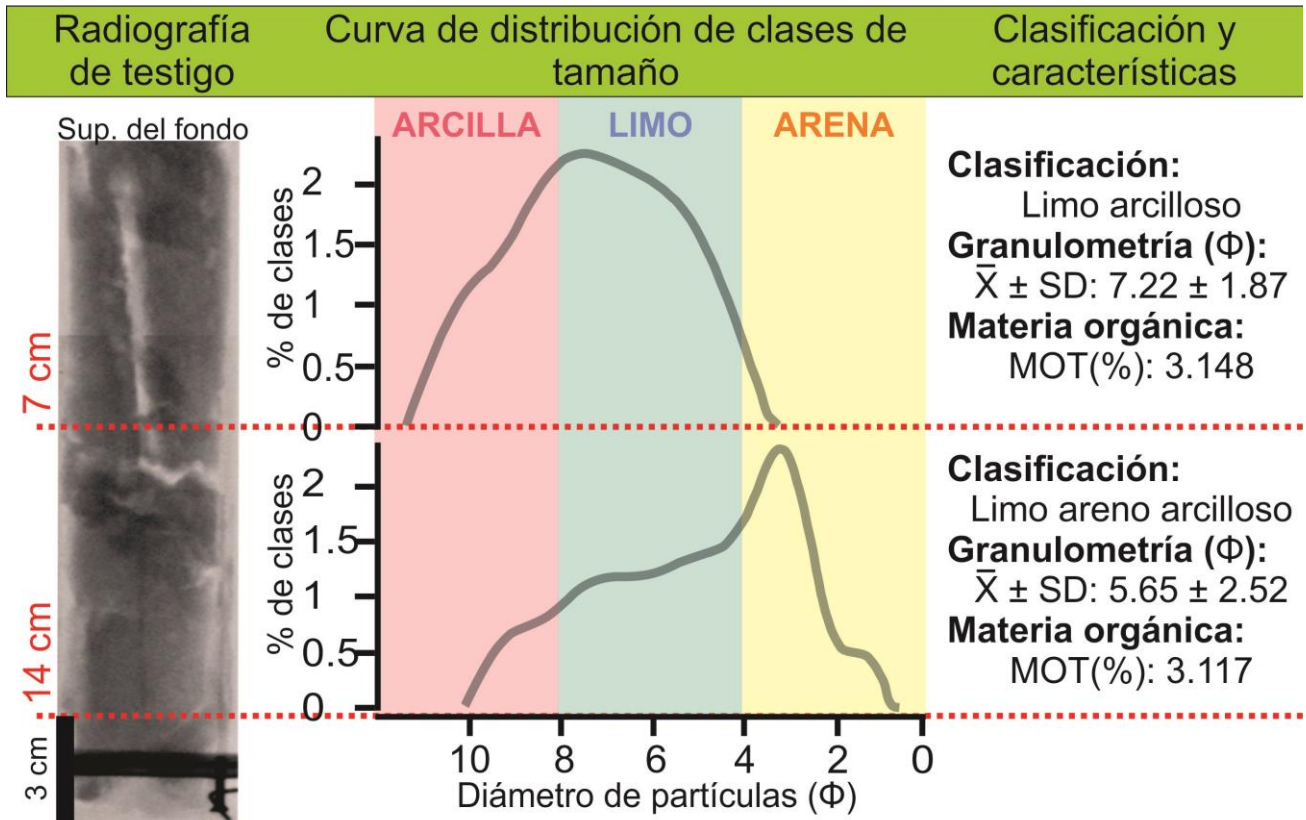


Figura 20. En este gráfico se representa la imagen obtenida con rayos X en sentido longitudinal a un testigo tomado en el sitio sin gas junto con sus características sedimentológicas para cada sección de la columna de sedimentos.



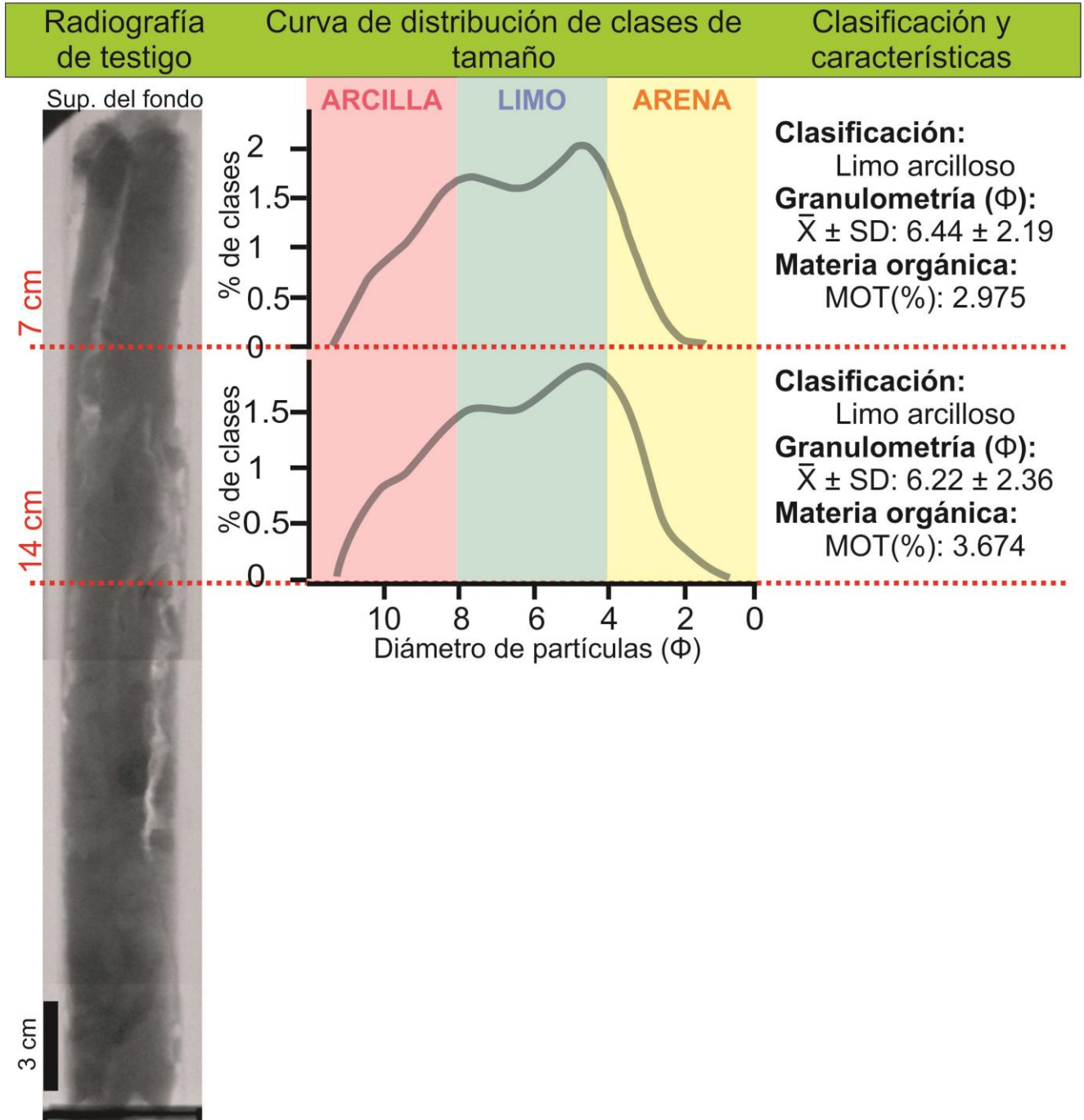


Figura 21. En este gráfico se representa la imagen obtenida con rayos X en sentido longitudinal a un testigo tomado en el sitio sin gas junto con sus características sedimentológicas para cada sección de la columna de sedimentos.



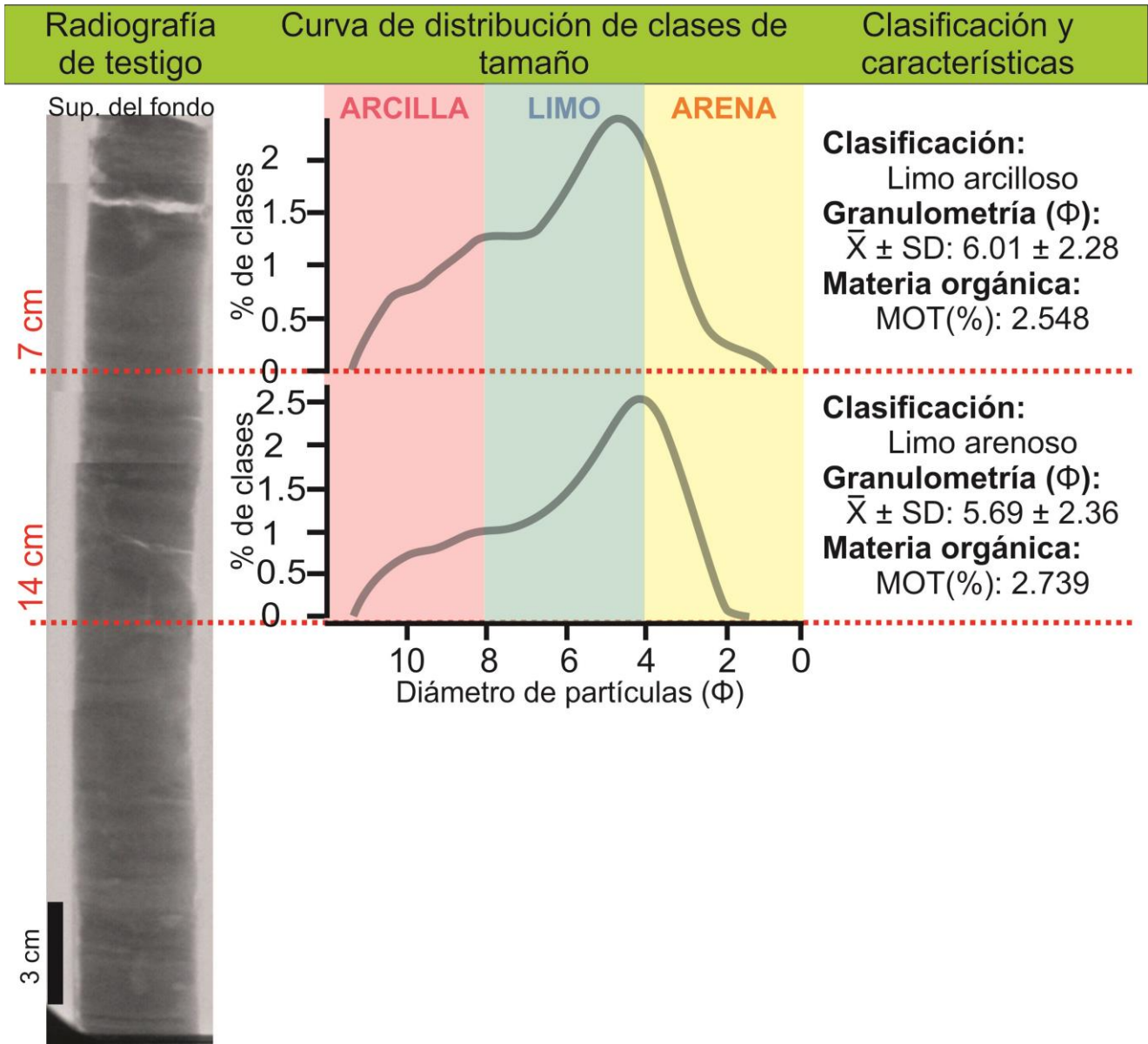


Figura 22. En este gráfico se representa la imagen obtenida con rayos X en sentido longitudinal a un testigo tomado en el sitio sin gas junto con sus características sedimentológicas para cada sección de la columna de sedimentos.

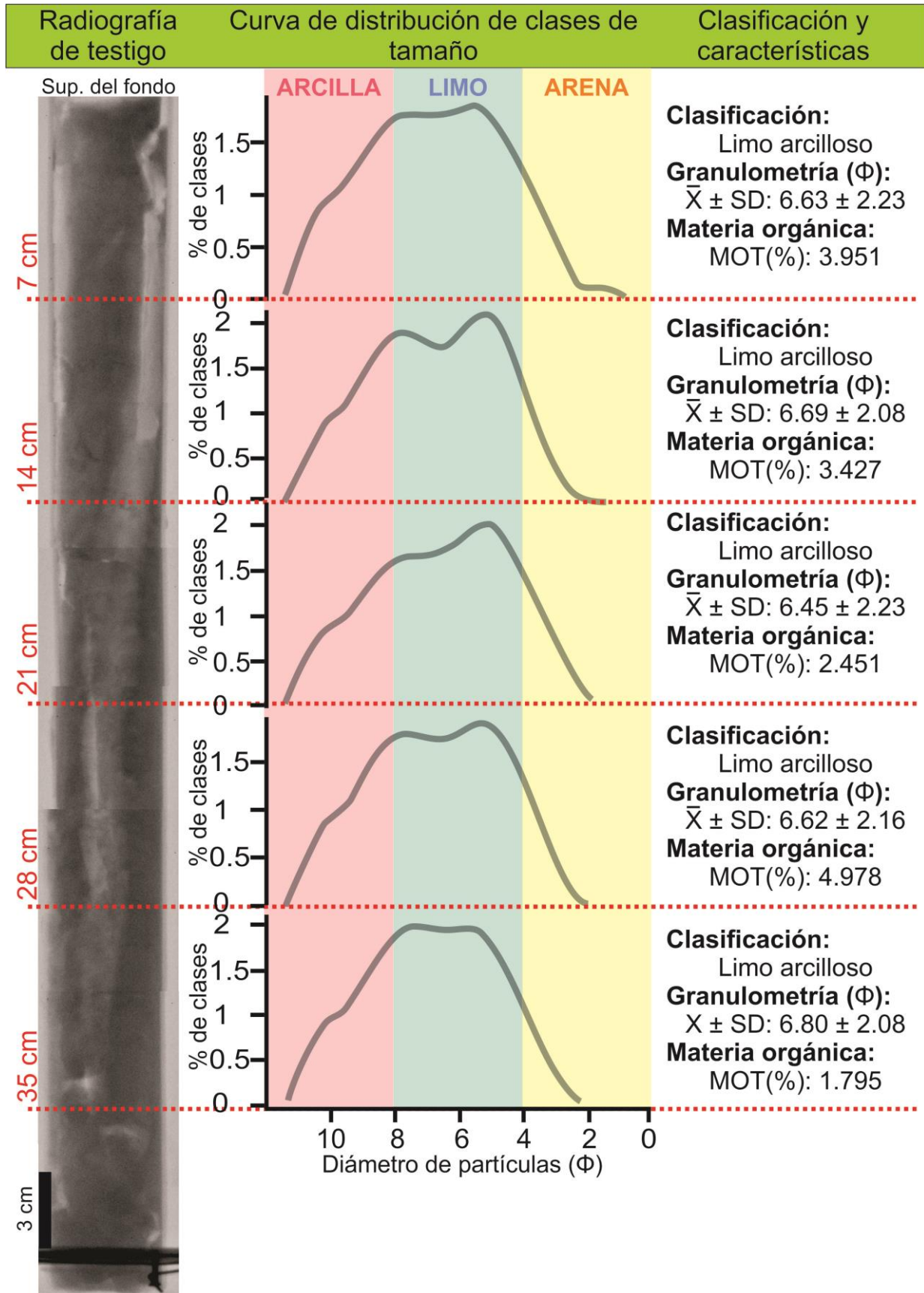


Figura 23. En este gráfico se representa la imagen obtenida con rayos X en sentido longitudinal a un testigo tomado en el sitio con gas junto con sus características sedimentológicas para cada sección de la columna de sedimentos.

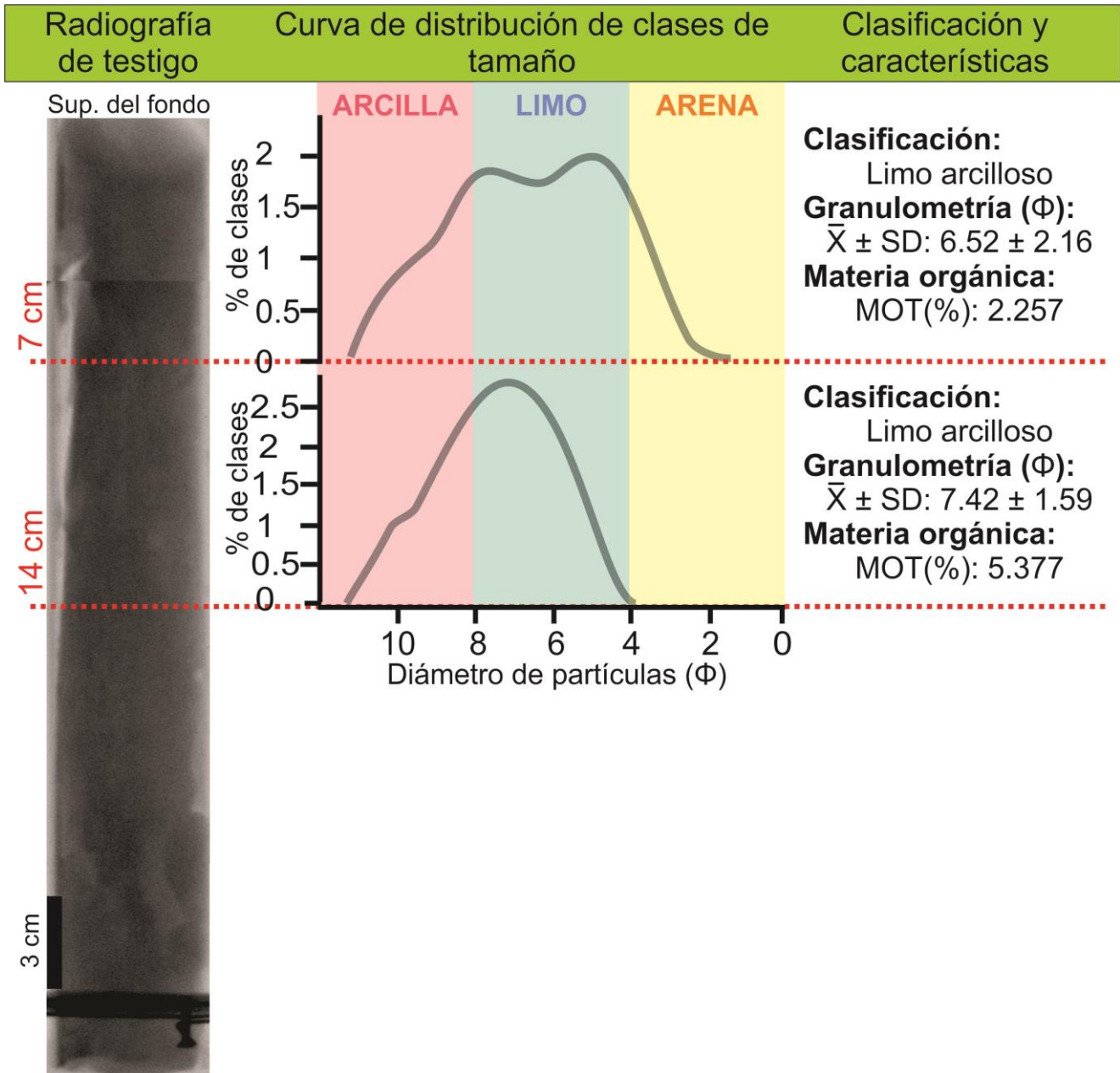


Figura 24. En este gráfico se representa la imagen obtenida con rayos X en sentido longitudinal a un testigo tomado en el sitio con gas junto con sus características sedimentológicas para cada sección de la columna de sedimentos.

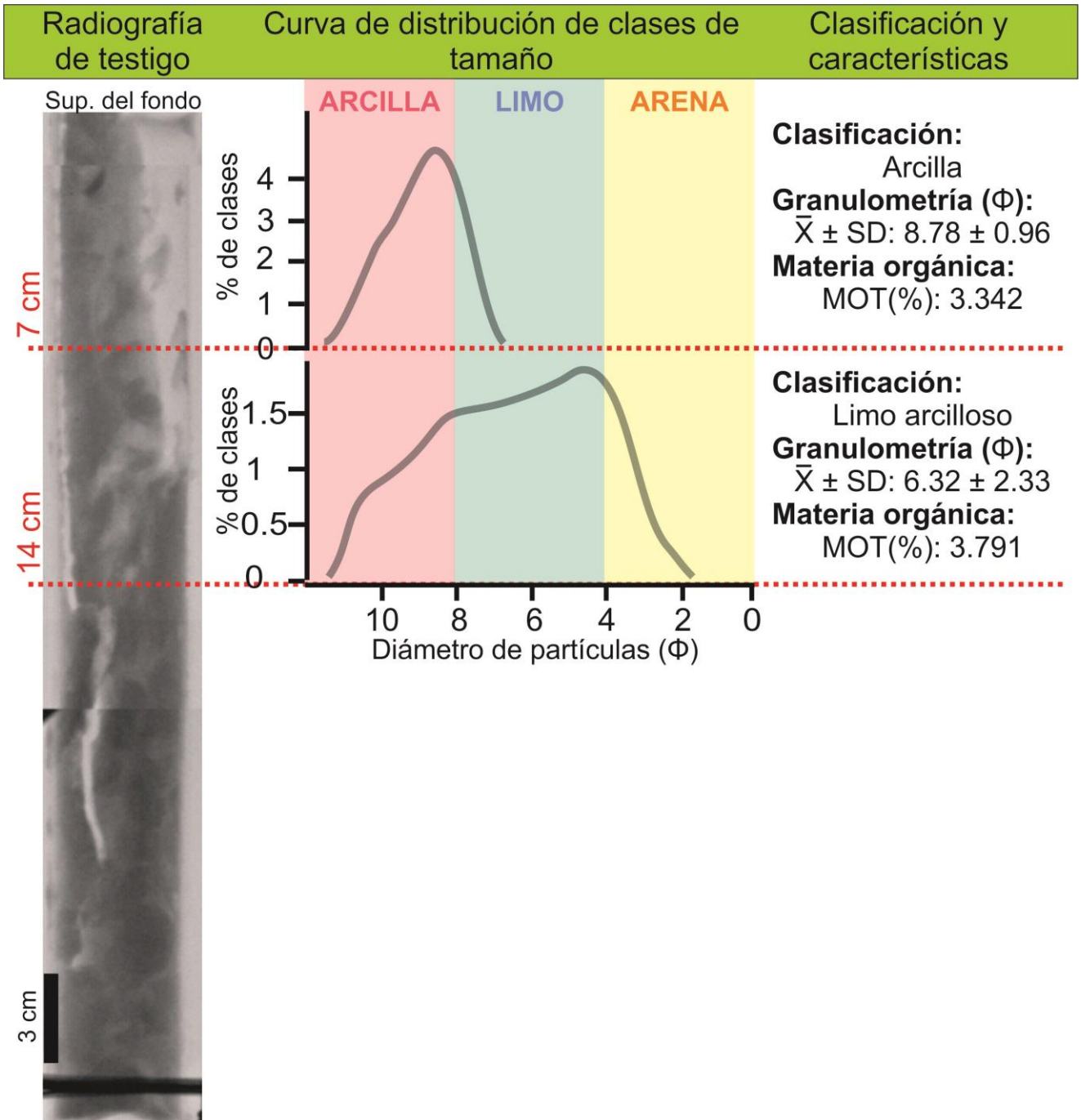


Figura 25. En este gráfico se representa la imagen obtenida con rayos X en sentido longitudinal a un testigo tomado en el sitio con gas junto con sus características sedimentológicas para cada sección de la columna de sedimentos.



### 10.4 Medición cualitativa de gas metano

El análisis preliminar con HPLC - *head space* permitió confirmar la presencia de gas metano en la muestra de sedimentos gasíferos analizada. En la Figura 26 se puede observar el resultado de la medición. En la imagen de arriba (Fig. 26) se muestra el pico correspondiente al análisis de una muestra de metano pura tomada de un tubo con 100% metano (muestra de referencia) con un tiempo de retención del metano en la columna de 3,057 minutos. Este resultado se empleó para identificar el pico correspondiente a metano en la muestra de sedimentos gasíferos. De este modo, en la imagen de abajo (Fig. 26) se observa la señal correspondiente a la muestra de sedimentos gasíferos. Allí se evidencia la existencia de metano. Esto indica que el método es útil para la realización de análisis cualitativos del gas en los

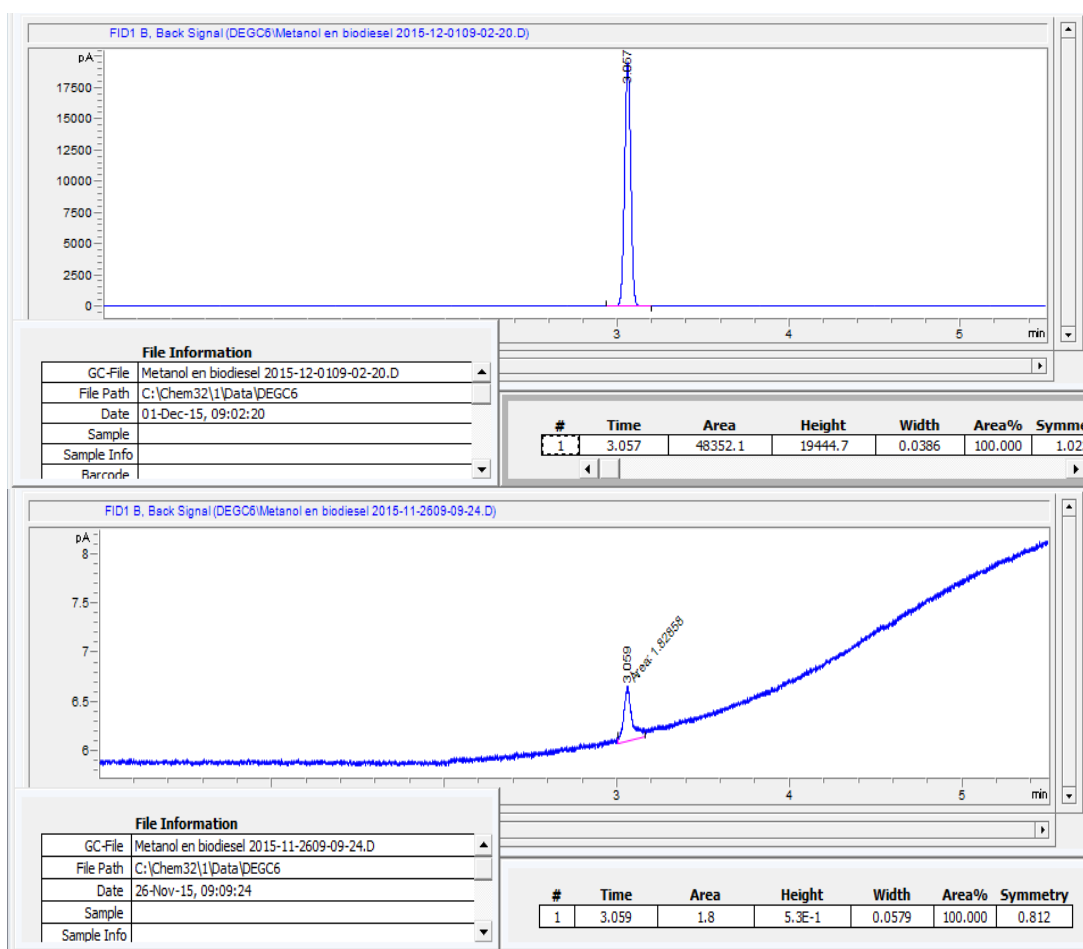


Figura 26. En esta figura se pueden observar los resultados de la medición con HPLC del metano en la muestra de sedimento del sitio con gas. Arriba: inyección del estándar de metano con un tiempo de retención de 3.057 minutos. Abajo: inyección de la muestra con un tiempo de retención del pico de 3.059.

sedimentos y, también podría ser útil para medir la concentración del metano en los sedimentos.

## **11. Caracterización estructural de la comunidad bentónica de sedimentos gasíferos**

### **11.1 Matriz de datos ambientales**

La construcción de la matriz de datos ambientales se realizó en base al análisis de la granulometría y el contenido de materia orgánica de los sedimentos asociados a los organismos bentónicos. La media granulométrica mostró diferencias en su dispersión entre los sitios con gas y control (test de Levene,  $F_{(1,34)} = 12.81$ ,  $p < 0.001$ ). La transformación de los datos no resolvió el problema con el supuesto de homocedasticidad, por lo tanto, las diferencias entre sitios fueron analizadas interpretando los diagramas de Shepard y los gráficos de burbujas (Fig. 27). La media granulométrica de los sedimentos en ambos sitios pudo ser caracterizada como fango arenoso. El análisis multivariado de los sedimentos (Fig. 27 A) no exhibió diferencias entre sitios. Analizando los gráficos de burbujas se pudieron distinguir tres clases de sedimento: arena limo arcillosa, limo areno arcilloso y limo arcillo arenoso.

Los diagramas de Shepard de ambos sitios (Fig. 27 B) mostraron que la mayoría de las muestras del sitio control se encontraron en el sector de limo arenoso y arena limo arcillosa, del mismo modo que las muestras del sitio con gas. Sin embargo, en el sitio control se encontró una mayor dispersión de las muestras dado que tres muestras fueron clasificadas como arena limosa. De este modo, los gráficos de burbujas mostraron resultados similares a aquellos encontrados en el diagrama de Shepard donde la mayoría de las muestras, tanto las que pertenecieron al sitio con gas como al sitio control, se encuentran en la fracción de limo areno arcilloso.

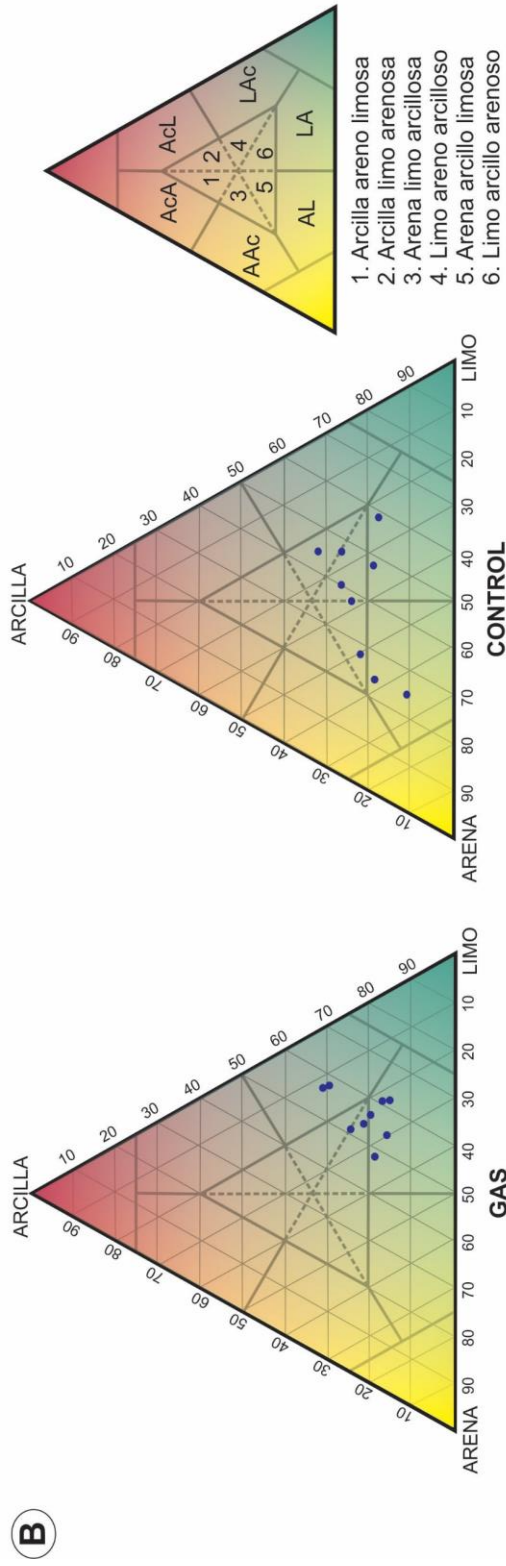
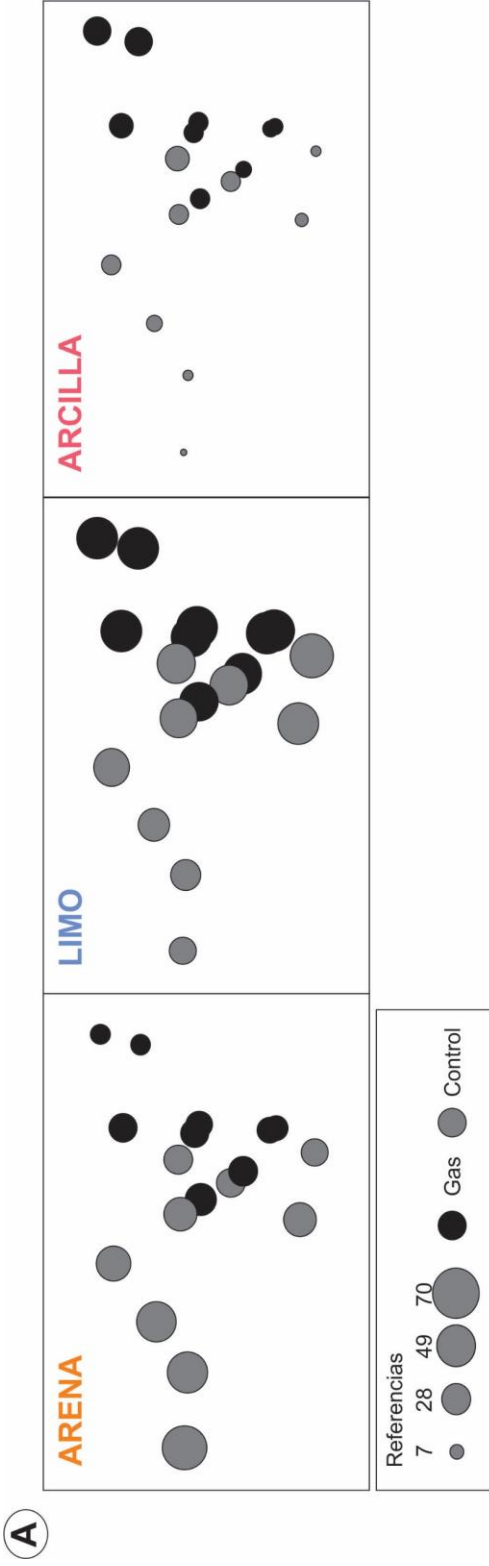


Figura 27. Análisis textural de los sedimentos asociados al bentos. A) Gráficos de burbujas representando la importancia relativa de los principales grupos de clases de sedimentos (arena, limo y arcilla) para cada muestra. 2D stress: 0.04. B) Diagrama de Shepard mostrando las características sedimentológicas de los sitios con gas (izquierda) y control (derecha). AL: arena limosa, LA: limo arenoso, AAC: arena arcilloso, LAC: limo arcilloso, ACA: arcilla limosa, AcL: arcilla arenosa.

Los resultados del ANOVA a dos vías (presencia de gas, estaciones) indican que el contenido promedio de materia orgánica de los sedimentos (Fig. 28) fue diferente entre sitios y estaciones, y que no hubo interacción entre ambos factores (ANOVA,  $F_{(1,32)} = 1.05$ ,  $p = 0.31$ ). En ambas estaciones, el contenido de materia orgánica resultó más alto en el sitio con gas que en el sitio control (ANOVA,  $F_{(1,33)} = 18.8$ ,  $p < 0.001$ ). En ambos sitios, durante primavera también fue más alta en comparación con invierno (ANOVA,  $F_{(1,33)} = 39.4$ ,  $p < 0.001$ ).

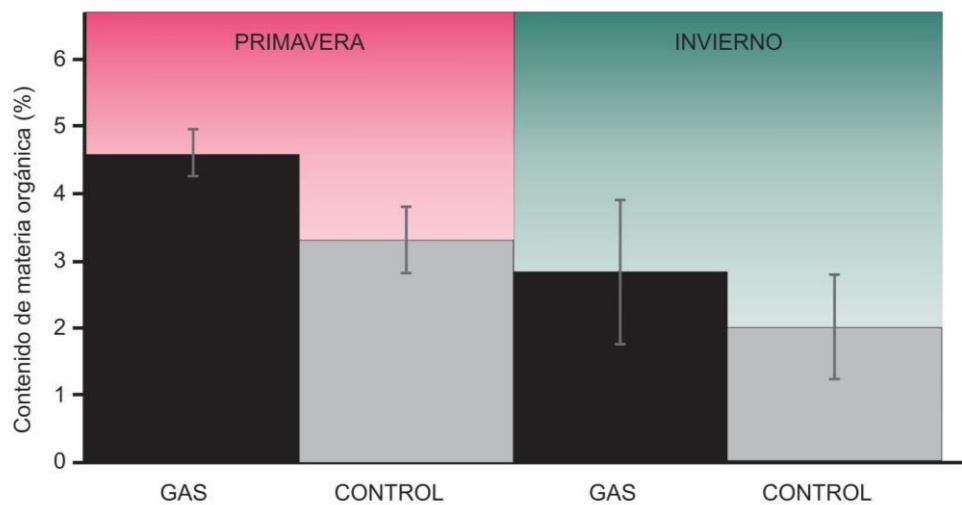


Figura 28. Gráfico de barras comparando la media y desvío estándar del contenido de materia orgánica (en porcentaje) entre sitios (gas y control) y estaciones (primavera e invierno).

### 11.2 Diversidad y estructura comunitaria en base a muestras de draga

Durante todo el muestreo se colectaron un total de 4840 organismos pertenecientes a 95 morfoespecies (Fig. 29, 30). El análisis estadístico de los datos fue realizado sin tener en cuenta a las especies coloniales. Los organismos coloniales estuvieron representados por briozoos (13 especies) y cnidarios de la clase Hydrozoa (5 especies). En general, la abundancia total fue mayor en el sitio control que en el sitio con gas y en primavera más que en invierno (Tabla 1). Los grupos más abundantes y diversos fueron los poliquetos seguidos por los crustáceos en ambos sitios y estaciones (Fig. 31, A). Además, los poliquetos fueron más abundantes



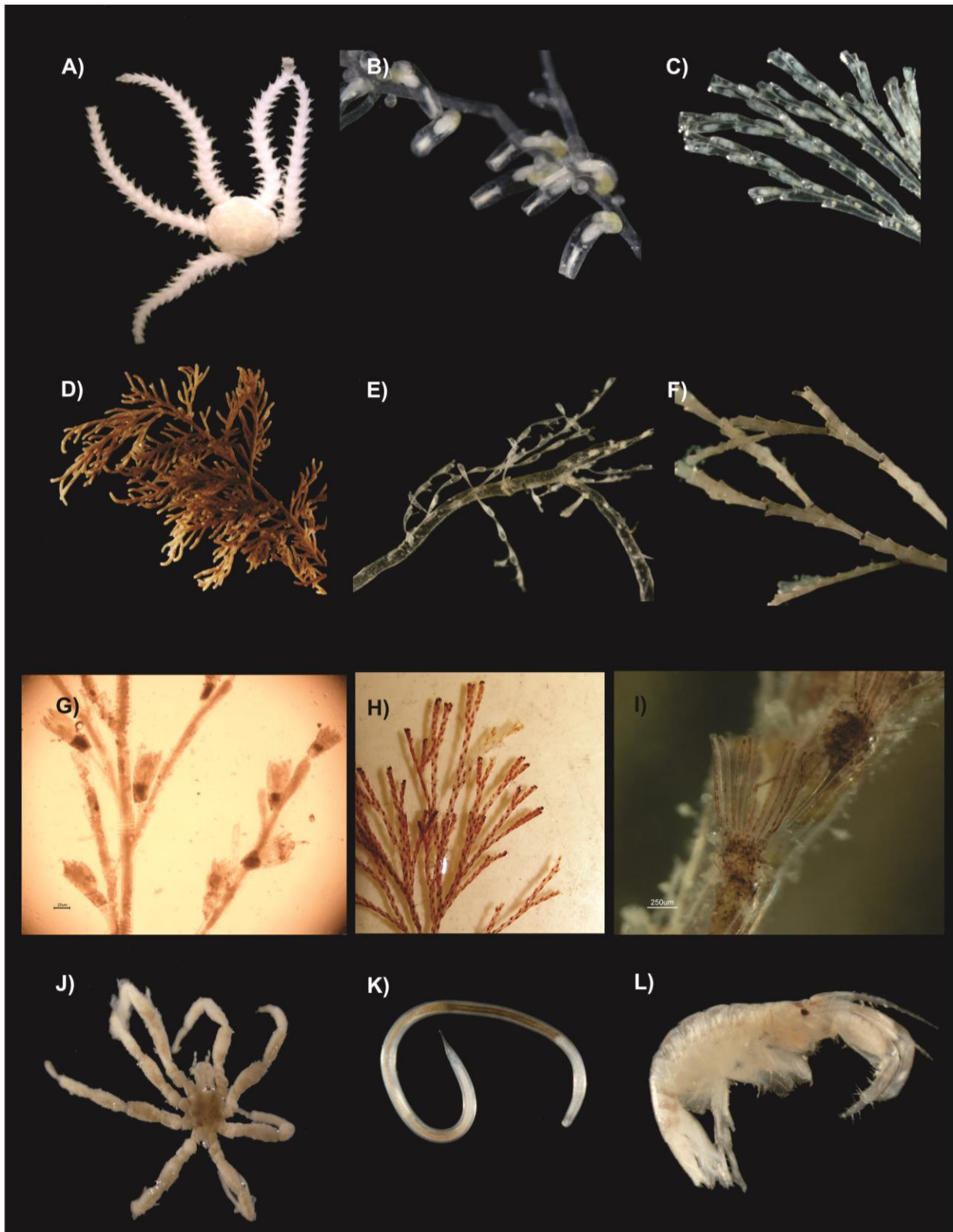


Figura 29. Imágenes de algunas de las especies de macroinvertebrados bentónicos encontrados en este estudio A) Ophiurida indeterminada, B) *Amathia imbricata*, C) *Bugulina stolonifera*, D) *Anguinella* sp., E) *Scruparia ambigua*, F) *Crisia* sp., G) *Obelia* spp., H) *Bugula neritina*, I) Detalle de polipidio de *Bugula neritina*, J) *Anoplodactylus* sp., K) Nematode indeterminado, L) *Monocorophium insidiosum*.

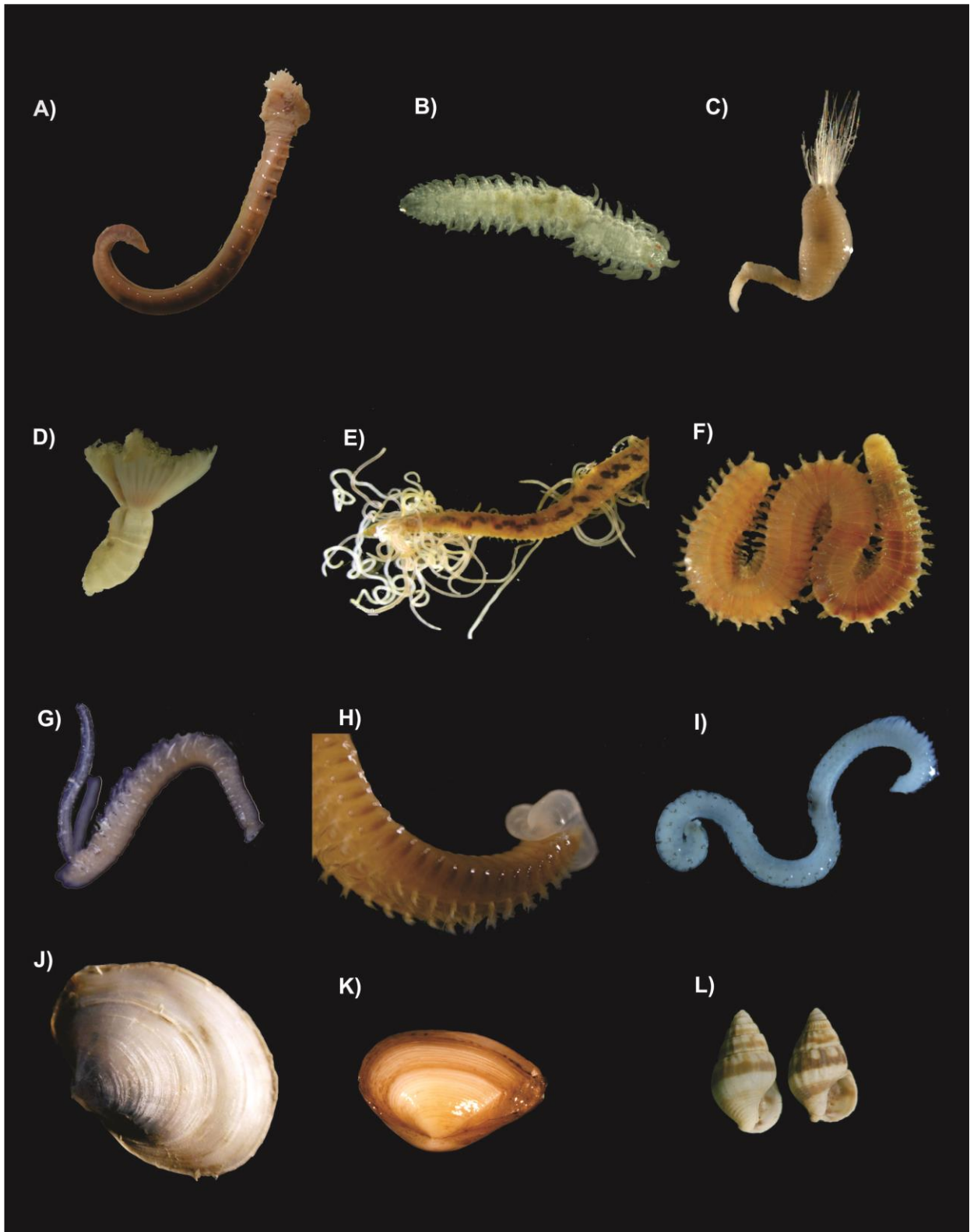


Figura 30. Imágenes de algunas de las especies de macroinvertebrados bentónicos encontrados en este estudio. A) *Terebellides totae*, B) *Syllis* spp., C) Flabelligeridae, D) *Chone* sp., E) *Aphelochaeta* sp., F) Lumbrineridae, G) *Polydora cornuta*, H) *Leodamas verax*, detalle tórax, I) *Aricidea* sp., J) *Pitar rostratus*, K) *Corbula patagonica*, L) *Anachis* sp.

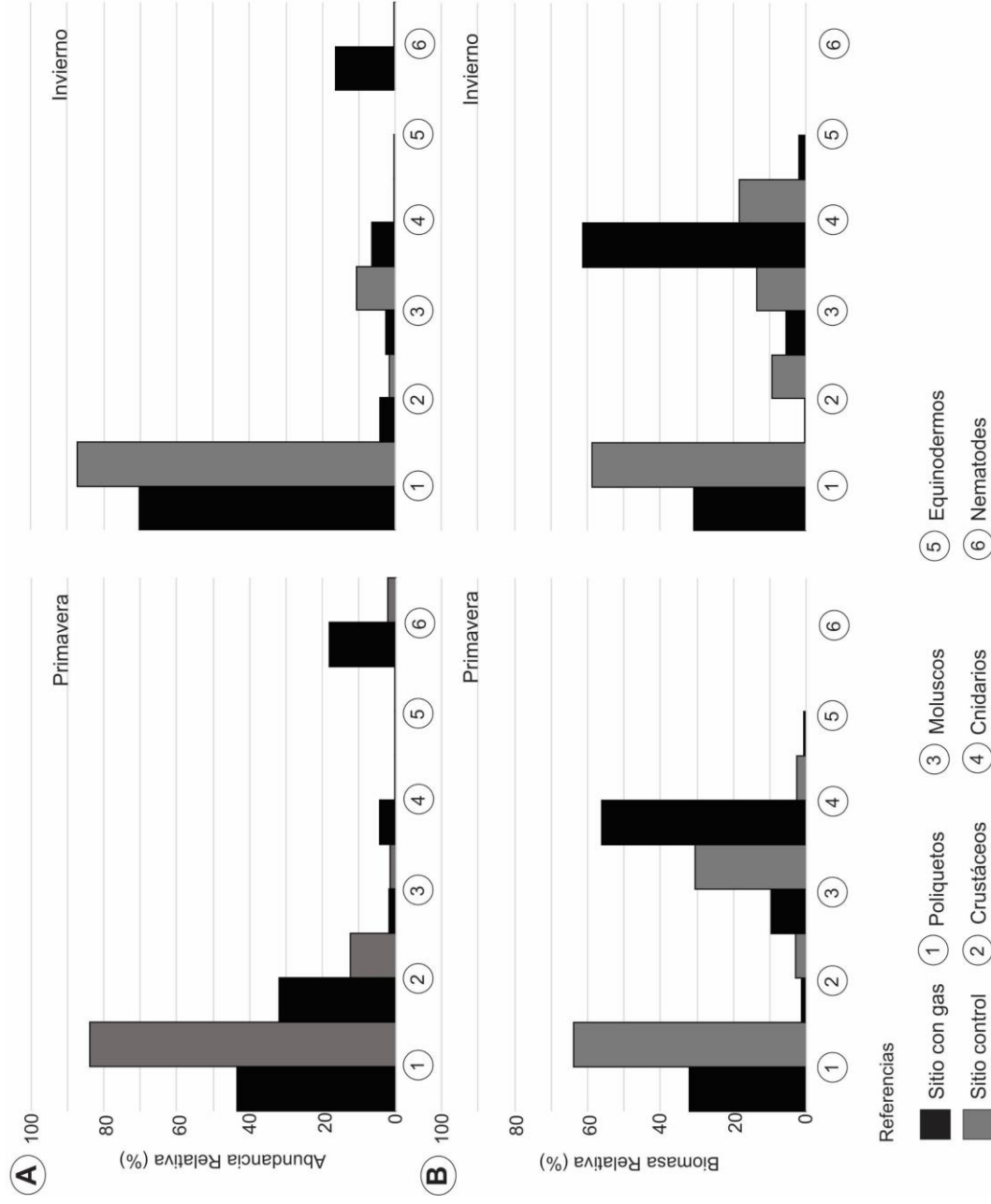


Figura 31. Abundancia (A) y biomasa (B) relativa en cada sitio de muestreo por estación para los principales grupos taxonómicos (cuando representaron más del 0.5%)

en el sitio control que en el sitio con gas. Los nematodos y cnidarios estuvieron casi ausentes en el sitio control, aunque tuvieron una representación relativamente alta en el sitio con gas, siendo más abundantes durante primavera en este sitio. Al comparar estaciones se observó que en el sitio con gas hubo una mayor abundancia de poliquetos en invierno que en primavera, mientras que los crustáceos estuvieron bien representados en ambas estaciones. Por otro lado, en el sitio control, los crustáceos fueron el segundo grupo en términos de dominancia durante primavera, mientras que en invierno fueron los moluscos.

La biomasa fue mayor en primavera y el sitio con gas que en invierno y el sitio control (Tabla 1). Esto fue debido a la mayor abundancia del cnidario *Stylatula darwini* en el sitio con gas. Al analizar la contribución relativa de los taxa a la biomasa total (Fig. 31, B), se observó que en el sitio control los poliquetos fueron dominantes en biomasa seguidos por los moluscos en primavera, mientras que en invierno fueron seguidos por cnidarios, moluscos y crustáceos. En general, los crustáceos tuvieron una abundancia relativamente alta pero baja biomasa, aunque los moluscos mostraron una tendencia opuesta. Esto se debió a que los crustáceos estuvieron principalmente representados por pequeños anfípodos. Por el contrario, los moluscos estuvieron representados por pocos organismos, pero de tamaño corporal relativamente grande como *Buccinanops deformis*, *Malletia cumingii* y *Pitar rostratus*.

	<b>GP</b>	<b>CP</b>	<b>GI</b>	<b>CI</b>
<b>Abundancia</b>				
Poliquetos	522	1487	422	1095
Crustáceos	383	218	25	20
Moluscos	23	28	15	4
Cnidarios	54	2	38	1
Equinodermos	2	1	1	0
Nematodes	219	40	99	4
Total	1203	1776	600	1124
<b>Biomasa</b>				
Poliquetos	28.24	38.66	14.59	3.56
Crustáceos	0.14	3.19	0.13	0.56
Moluscos	8.57	18.42	5.66	0.814
Cnidarios	49.2	1.57	29.05	1.107
Equinodermos	0.5	0	0	0
Nematodes	0	0	0	0
Total	86.65	61.84	49.43	6.041

Tabla 1. Comparación de la abundancia (individuos/muestra) y biomasa total (gramos/muestra) para los principales grupos taxonómicos, así como de la abundancia y biomasa total para cada sitio y estación. **GP**: sitio con gas – primavera, **CP**: sitio control – primavera, **GI**: sitio con gas – invierno, **CI**: sitio control – invierno.

La riqueza específica, la abundancia y la diversidad fueron mayores en primavera y en el sitio control que en invierno y el sitio con gas (Fig. 32). El test ANOVA a dos vías (Fig. 32) no encontró interacciones significativas entre la presencia de gas y las estaciones para la abundancia total ( $F_{(1,32)} = 1.77$ ,  $p = 0.19$ ), la riqueza de especies ( $F_{(1,32)} = 0.02$ ,  $p = 0.89$ ) ni los índices de diversidad ( $p > 0.46$ ). La abundancia total y la riqueza de especies resultaron significativamente mayores en primavera que en invierno ( $F_{(1,32)} = 4.87$ ,  $p < 0.05$  ;  $F_{(1,32)} = 25.94$ ,  $p < 0.001$ , respectivamente). Los índices de diversidad también presentaron diferencias significativas entre estaciones ( $p < 0.01$ ). La presencia de gas mostró un efecto marginalmente significativo en la abundancia total ( $F_{(1,32)} = 3.82$ ,  $p = 0.06$ ) y no afectó significativamente ninguna de las otras variables ( $p > 0.15$ , Fig. 32).

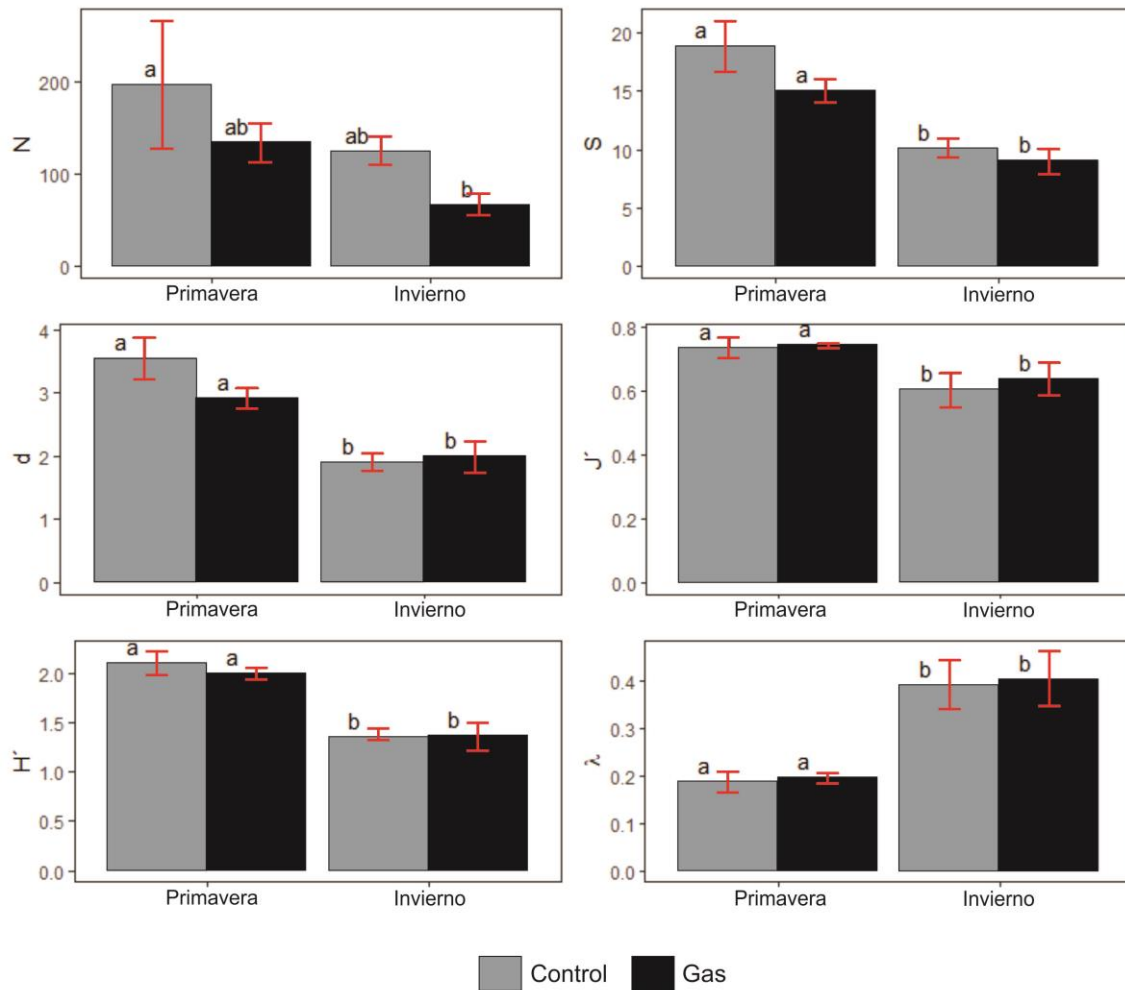


Figura 32. Gráficos de barras mostrando los valores en cada sitio y estación de las siguientes variables biológicas: abundancia total (N), riqueza específica (S), riqueza de Margalef (d), equitatividad de Pielou (J'), índice de Shannon-Wiener (H'), índice de Simpson ( $\lambda$ ). Letras similares indican que no hay diferencias significativas de acuerdo al test de a pares de Tukey ( $p=0.05$ ).

La rutina SIMPER encontró una disimilitud promedio entre el sitio con gas y el sitio control de 81.36% e identificó 11 especies que fueron las que más contribuyeron (82,08%) a la diferencia entre los sitios (Tabla 2, A). La mayoría de las especies fueron poliquetos, la principal diferencia fue debido a una alta abundancia en el sitio control de *Polydora cornuta* y de *Aricidea* sp. en el sitio con gas. Al comparar primavera e invierno se encontró una disimilitud promedio de 77.02% explicada en un 80.11% por diez especies (Tabla 2, B). Las especies más importantes para explicar dichas diferencias fueron las mismas mencionadas anteriormente. En este caso, *Aricidea* sp. fue más abundante en primavera que en invierno y lo opuesto en el caso de *Polydora cornuta*.

<b>A</b>	Gas	Control
<i>Polydora cornuta</i>	0.89	31.12
<i>Aricidea</i> sp.	28.16	22.88
<i>Laeonereis acuta</i>	1.74	17.12
Nematoda indet.	16.68	2.59
Phoxocephalidae indet.	15.16	0.35
<i>Leodamas verax</i>	11.89	8.88
Cirratulidae indet.	1.47	23.71
<i>Monocorophium insidiosum</i>	2.63	7.35
<i>Aphelochaeta</i> sp.	0.89	14.59
<i>Terebellides totae</i>	2.05	6.88
Lumbrineridae indet.	0.53	3.82

<b>B</b>	Primavera	Invierno
<i>Aricidea</i> sp.	31.11	20.22
<i>Polydora cornuta</i>	1.44	28.89
Phoxocephalidae indet.	15.17	1.17
<i>Leodamas verax</i>	17.11	3.83
Nematoda indet.	14.33	5.72
<i>Laeonereis acuta</i>	1.44	16.56
<i>Monocorophium insidiosum</i>	8.83	0.89
Cirratulidae indet.	22.72	1.22
<i>Terebellides totae</i>	8.61	0.06
<i>Aphelochaeta</i> sp.	14.22	0.50

Tabla 2. Resultados del análisis SIMPER. A) Diferencias promedio en la abundancia de especies que más contribuyeron a la disimilitud entre sitios con gas y control. B) Diferencias promedio en la abundancia de especies que más contribuyeron a la disimilitud entre estaciones.

En base a la estructura de la comunidad bentónica se generaron cuatro grupos de muestras en el gráfico obtenido del análisis N-MDS (Fig. 33). La formación de estos grupos estuvo asociada tanto a la presencia de gas como a las estaciones. Las diferencias entre los sitios con gas y control fueron mayores en invierno que en primavera. Las especies que representaron el 50% del mejor ajuste a los ejes fueron diez. *Stylatula darwini* ( $r^2 = 0.37$ ,  $p < 0.01$ ) y un poliqueto indeterminado de la familia Paraonidae ( $r^2 = 0.28$ ,  $p < 0.01$ ) estuvieron principalmente asociados al grupo correspondiente al sitio con gas en invierno. En tanto que, el sitio con gas durante primavera estuvo principalmente representado por *Aricidea* sp. ( $r^2 = 0.04$ ,  $p = 0.55$ ), un nematode indeterminado ( $r^2 = 0.15$ ,  $p = 0.07$ ) y un anfípodo indeterminado



perteneciente a la familia Phoxocephalidae ( $r^2 = 0.17$ ,  $p = 0.03$ ). En el caso del sitio control, durante primavera estuvo dominado por *Terebellides totae* ( $r^2 = 0.51$ ,  $p < 0.01$ ), mientras que durante invierno estuvo principalmente asociado con un poliqueto indeterminado perteneciente a la familia Lumbrineridae ( $r^2 = 0.43$ ,  $p < 0.01$ ), *Laeonereis acuta* ( $r^2 = 0.41$ ,  $p < 0.01$ ), *Malacoceros* sp. ( $r^2 = 0.47$ ,  $p < 0.01$ ) y *Polydora cornuta* ( $r^2 = 0.48$ ,  $p < 0.01$ ). En cuanto al análisis del ajuste relativo de las variables ambientales (Fig. 33) los resultados indicaron que tanto la granulometría de los sedimentos ( $r^2 = 0.27$ ,  $p < 0.01$ ) como la materia orgánica ( $r^2 = 0.55$ ,  $p < 0.01$ ) estuvieron significativamente correlacionadas a los ejes. Sin embargo, en el caso de la granulometría, esta mostró una correlación débil, por lo tanto, la materia orgánica es la variable ambiental que explica mejor los resultados del ordenamiento.

El test PERMANOVA presentó resultados similares en cuanto a la relación entre datos biológicos y ambientales. La estructura de la comunidad resultó afectada principalmente por la presencia de gas ( $r^2 = 0.17$ ,  $F_{(1,31)} = 7.63$ ,  $p < 0.001$ ) y secundariamente por las estaciones ( $r^2 = 0.05$ ,  $F_{(1,31)} = 2.36$ ,  $p < 0.001$ ) y la materia orgánica ( $r^2 = 0.08$ ,  $F_{(1,31)} = 3.5$ ,  $p < 0.001$ ) y no por la granulometría ( $r^2 = 0.02$ ,  $F_{(1,31)} = 0.82$ ,  $p = 0.68$ ). Sin embargo, los resultados del PERMANOVA no son concluyentes debido a que el test de permutaciones para homogeneidad de la dispersión multivariada mostró diferente dispersión entre los sitios con gas y control considerando la distancia de cada muestra al centroide ( $F_{(1,34)} = 7.78$ ,  $p < 0.01$ ).



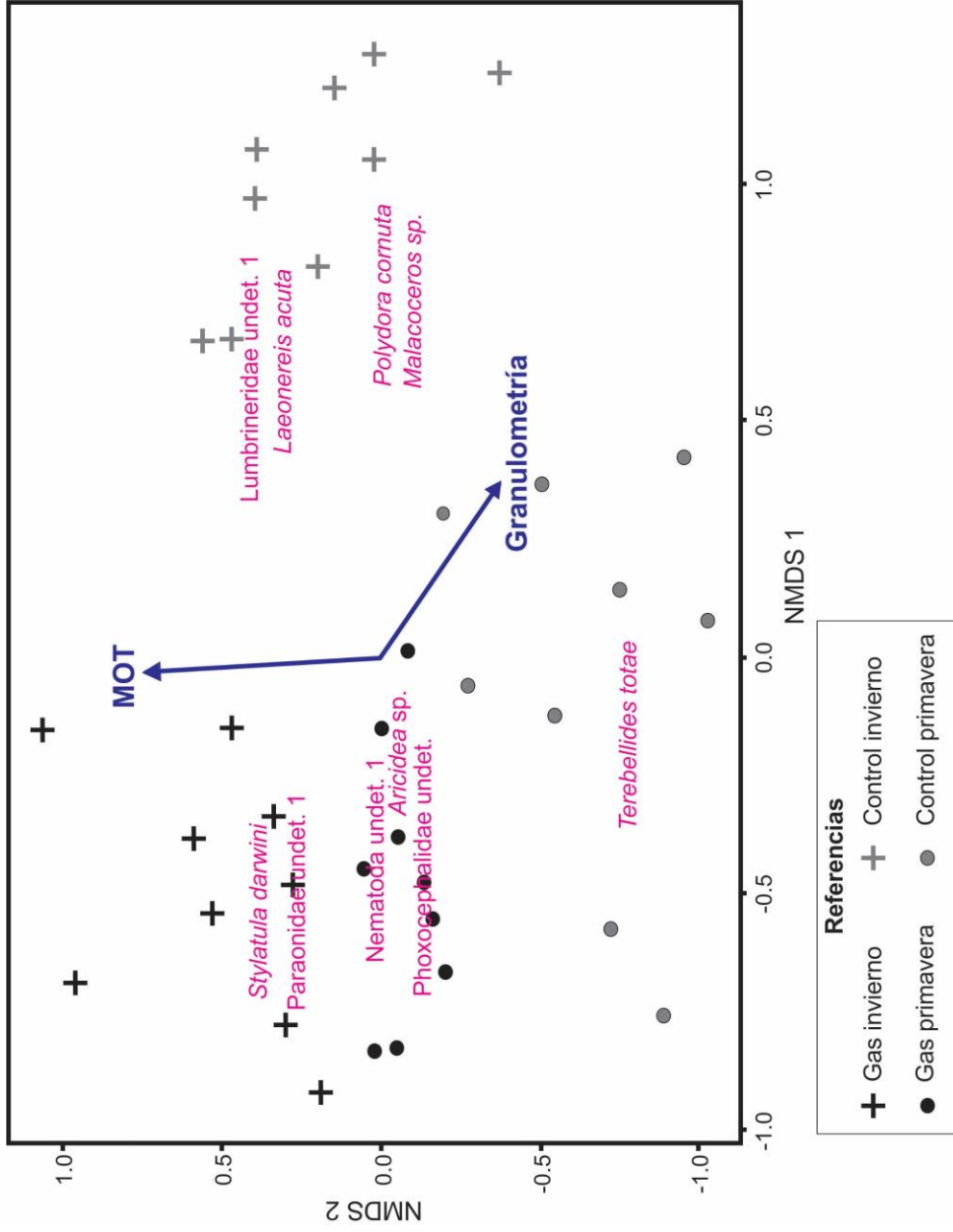


Figura 33. Ordenamiento N-MDS de la composición de la comunidad bentónica ( $R^2 = 0.976$ , stress= 0.15). El mismo diferencia cuatro grupos de acuerdo a la presencia de gas y a las estaciones. Se muestran las especies más frecuentes ( $\geq 20\%$ ) que presentaron el mejor ajuste al ordenamiento espacial con un 50%. Las variables ambientales se muestran como flechas: granulometría estuvo débilmente correlacionada ( $r^2=0.27$ ,  $p = 0.006$ ) y la materia orgánica estuvo correlacionada ( $r^2=0.56$ ,  $p = 0.001$ ) con el ordenamiento espacial.

### 11.3 *Diversidad y estructura comunitaria en base a muestras de rastra*

Se identificaron 56 taxa en el total del muestreo, con diferente representación para cada sitio y estación (Tabla 3). El grupo más diverso fueron los poliquetos seguidos por los crustáceos. La abundancia total de organismos (Fig. 34) fue menor en el sitio con gas (80 individuos en invierno y 357 en primavera) que en el sitio control (138 individuos en invierno y 724 individuos en primavera). En términos de diversidad y equitatividad también se encontraron diferencias entre ambos sitios y estas fueron más marcadas en primavera que en invierno (Fig. 34). En invierno hubo una diversidad y equitatividad similar entre sitios, pero con una levemente mayor dominancia en el sitio control. Por el contrario, en primavera la riqueza específica, la diversidad y la equitatividad fueron marcadamente mayores en el sitio control que en el sitio con gas. Asimismo, la riqueza específica, la diversidad y la equitatividad fueron mayores, al comparar sitio control, en primavera que en invierno. Mientras que, en el sitio con gas se observó una levemente mayor riqueza específica, diversidad y equitatividad en invierno que en primavera. La especie más abundante, tanto en invierno como en primavera, en el sitio con gas fue el poliqueto *Aricidea* sp. Mientras que, en el sitio control, este poliqueto fue poco abundante tanto en invierno como en primavera. De este modo, a diferencia del sitio con gas, en el sitio control resultaron dominantes dos especies, el anfípodo *Monocorophium insidiosum* en primavera y el gasterópodo *Anachis aff. isabellei* en invierno.

La comparación de las abundancias y biomasa relativas de los niveles taxonómicos superiores mostró diferencias entre sitios y estaciones (Fig. 35). En primavera, en el sitio con gas los poliquetos y cnidarios fueron dominantes en abundancia y biomasa respectivamente, mientras que, en el sitio control los crustáceos fueron dominantes en abundancia y los poliquetos dominaron en biomasa. Por otro lado, en invierno, no hubo diferencias en la dominancia relativa de los grupos entre sitios. De este modo, en ambos sitios resultaron dominantes los poliquetos y moluscos en abundancia y biomasa, respectivamente. La biomasa total fue mayor en primavera que

	Taxa	RGI	RCI	RGP	RCP
Cnidaria	<i>Stylatula darwini</i>			X	
	<i>Obelia</i> spp.				X
Mollusca	<i>Malletia</i> sp.	X			
	<i>Pitar rostratus</i>		X	X	X
	Bivalvo indet. 1		X		
	<i>Heleobia australis</i>	X			
	<i>Buccinanops deformis</i>		X		
	<i>Ostrea</i> sp.				X
	<i>Anachis</i> aff. <i>isabellei</i>			X	
Crustacea	<i>Neomysis americana</i>			X	
	<i>Arthromysis magellanica</i>			X	X
	Caprellidae indet.				X
	<i>Pagurus criniticornis</i>		X	X	X
	Phoxocephalidae indet.	X			
	<i>Monocorophium insidiosum</i>		X	X	X
	Ostracoda indet.			X	
	<i>Peisos petrunkevitchi</i>			X	
	<i>Cyrtograpsus altimanus</i>			X	X
	Amphipoda indet. 1			X	
Pycnogonida	<i>Anoplodactylus</i> sp.				X
Annelida	<i>Leodamas verax</i>	X	X	X	X
	Cirratulidae indet. 1	X	X	X	X
	<i>Aphelochaeta</i> sp.		X		
	<i>Aricidea</i> sp.	X	X	X	X
	Paraonidae indet. 1			X	
	<i>Malacoceros</i> sp.	X	X	X	
	<i>Polydora cornuta</i>		X	X	X
	Eusyllinae indet.		X	X	X
	<i>Syllis</i> spp.		X	X	
	<i>Eteone</i> sp.		X	X	X
	Harmothoinae indet.		X		X
	<i>Onuphis setosa</i>			X	X
	<i>Terebellides totae</i>			X	

Tabla 3. Lista de taxa presentes en las muestras obtenidas con rastra en los sitios con gas en invierno (RGI), control en invierno (RCI), con gas en primavera (RGP) y control en primavera (RCP). Continúa en la siguiente página.

	Taxa	RGI	RCI	RGP	RCP
Annelida	<i>Terebella plagiostoma</i>		X		X
	<i>Laeonereis acuta</i>			X	X
	<i>Chone sp.</i>				X
	<i>Halosydna patagonica</i>				X
	<i>Melinna uruguayi</i>			X	X
	Nereididae indet. 1		X		
	<i>Lumbrineriopsis mucronata</i>				X
	<i>Lumbrineris tetraura</i>		X		X
	Lumbrineridae indet. 1		X	X	X
	<i>Glycera americana</i>			X	
Nematoda	Nematoda Indet.	X		X	X
Bryozoa	<i>Crisia sp.</i>		X		
	<i>Conopeum sp.</i>		X		X
	Bryozoa indet. 1				X
	<i>Bugulina simplex</i>		X		
	<i>Bugulina stolonifera</i>	X	X		
	<i>Bugula neritina</i>	X	X		
	<i>Anguinella sp.</i>		X		
	Bryozoa indet. 2				X
Echinodermata	Ophiuroidea indet.			X	
Nemertea	Nemertea indet.		X		
Phylum indet. 1					X
Phylum indet. 2				X	

Tabla 3. Continuación de la lista de taxa presentes en las muestras obtenidas con rastra en los sitios con gas en invierno (RGI), control en invierno (RCI), con gas en primavera (RGP) y control en primavera (RCP).

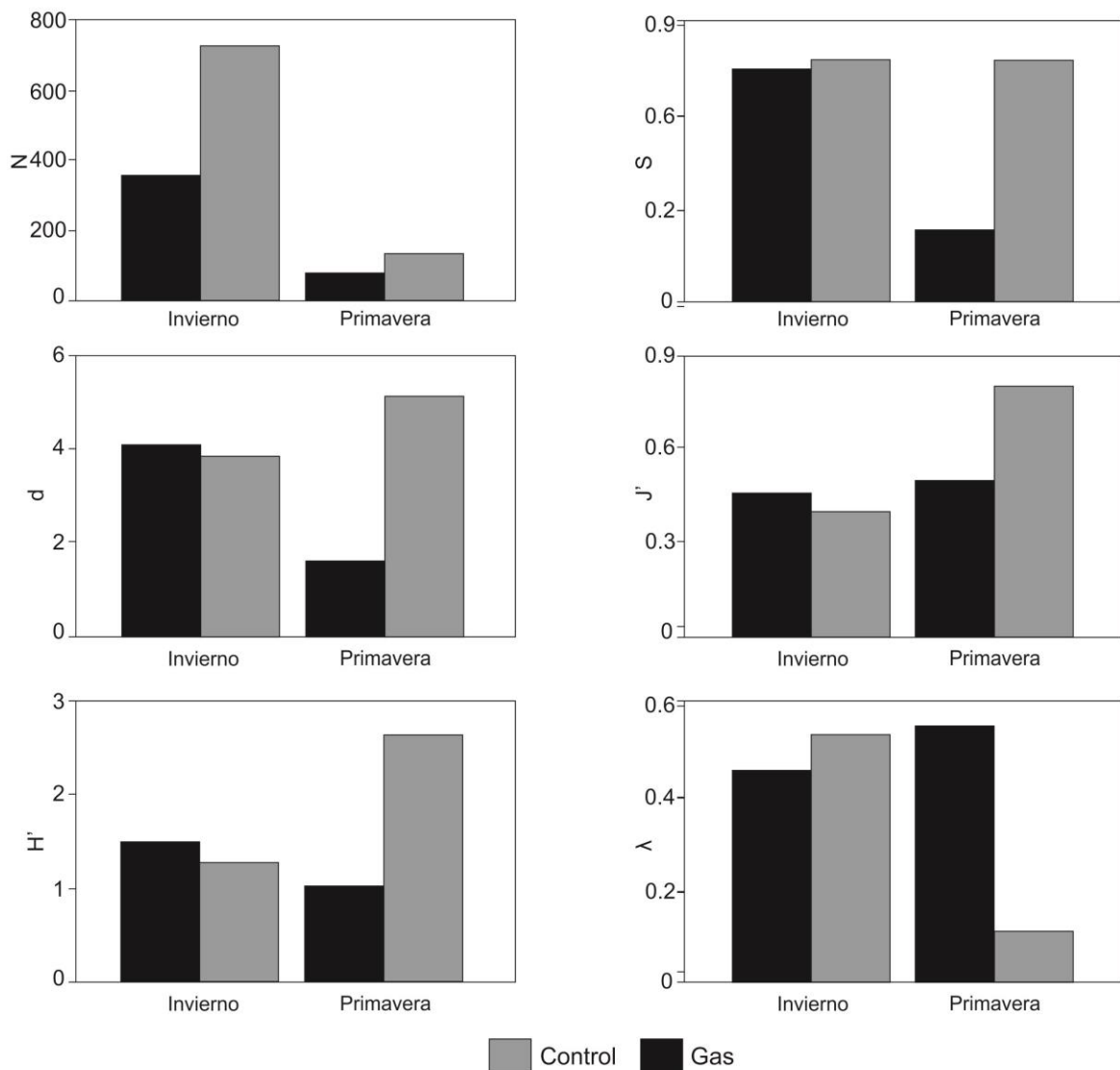


Figura 34. Gráficos de barras mostrando los valores en cada sitio y estación de las siguientes variables biológicas: abundancia total (N), riqueza específica (S), riqueza de Margalef (d), equitatividad de Pielou (J'), índice de Shannon-Wiener (H'), índice de Simpson ( $\lambda$ ).

en invierno. Al comparar entre sitios, la biomasa total fue mayor en el sitio con gas en primavera, principalmente, como resultado de la contribución del cnidario *S. darwini* que estuvo ausente en el sitio control. Mientras que, en invierno fue mayor la biomasa total en el sitio control que en el sitio con gas, siendo en ambos sitios dominantes los moluscos.

El índice de Sørensen fue diferente para sitios y estaciones. El mismo fue mayor al comparar el sitio con gas y control en primavera ( $I_s = 0.51$ ) que en invierno ( $I_s = 0.33$ ). Además, al comparar estaciones para los mismos sitios se encontró una

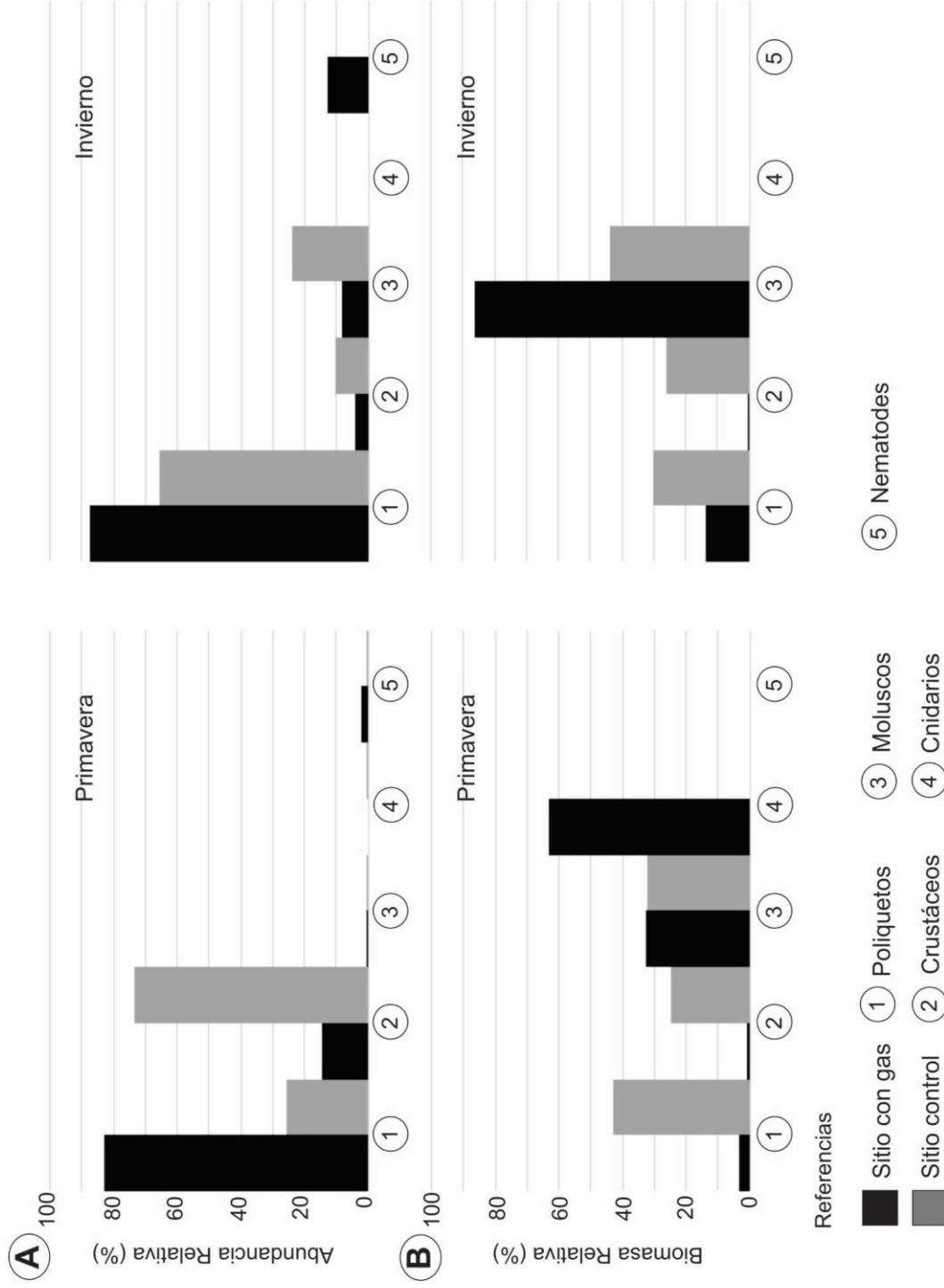


Figura 35. Abundancia (A) y biomasa (B) relativa en cada sitio de muestreo por estación para los principales grupos taxonómicos (cuando representaron más del 0.5%)

mayor disimilitud entre estaciones para el sitio con gas ( $I_s= 0.34$ ) que para el sitio control ( $I_s= 0.55$ )

#### ***11.4 Comparación de distintas metodologías de muestreo (draga Van Veen y rastra)***

Al comparar la estructura comunitaria evidenciada por ambos tipos de muestreadores se encontró que en base a los datos de draga Van Veen los poliquetos resultaron dominantes en ambos sitios y estaciones en abundancia. Mientras que, los análisis realizados en base a muestras de rastra encontraron diferencias entre sitios y estaciones. De esta forma, en el sitio control dominaron los crustáceos en primavera y los poliquetos en invierno, mientras que en el sitio con gas dominaron los poliquetos en ambas estaciones. En términos de biomasa en base a los datos obtenidos por medio de draga Van Veen no se encontraron diferencias entre estaciones, pero sí entre sitios, ya que, en el sitio con gas dominaron los cnidarios, mientras que, en el sitio control dominaron los poliquetos. En las muestras de rastra se hallaron diferencias tanto entre sitios como estaciones en los patrones de la biomasa de grandes taxa. De modo que, en el sitio con gas dominaron los cnidarios en primavera y los moluscos en invierno, mientras que, en el sitio control dominaron los poliquetos en primavera y los moluscos en invierno.

En cuanto a los índices de diversidad, estos mostraron la misma tendencia en los resultados obtenidos en base a muestras de draga y de rastra. En ambos casos se evidenció una mayor riqueza específica, abundancia total y equitatividad en el sitio control que en el sitio con gas con diferencias más marcadas en primavera que en invierno entre ambos sitios.

Los resultados de la comparación de los taxa obtenidos con rastra respecto de aquellos obtenidos con draga Van Veen se pueden observar en la Tabla 4. Dichos resultados evidenciaron un menor número de especies en las muestras obtenidas

con rastra que en aquellas obtenidas con draga Van Veen. Al comparar la estructura comunitaria utilizando el índice de Sørensen se encontró que la diferencia entre sitios con gas y control para la misma estación fue mayor en las muestras de rastra ( $Is_{GAS - CONTROL (INVIERNO)}=0.33$ ;  $Is_{GAS - CONTROL (PRIMAVERA)}=0.51$ ) que en las muestras de draga Van Veen ( $Is_{GAS - CONTROL (INVIERNO)}=0.55$ ;  $Is_{GAS - CONTROL (PRIMAVERA)}=0.59$ ). También se sostuvo una mayor diferencia en la estructura comunitaria debido a las estaciones en las muestras de rastra ( $Is_{INVIERNO - PRIMAVERA (GAS)}=0.34$ ;  $Is_{INVIERNO - PRIMAVERA (CONTROL)}=0.55$ ) respecto a aquellas obtenidas con draga ( $Is_{INVIERNO - PRIMAVERA (GAS)}=0.61$ ;  $Is_{INVIERNO - PRIMAVERA (CONTROL)}=0.89$ ). A su vez, la diferencia en la estructura fue similar al comparar entre estaciones y al comparar entre sitios. Por último, la diferencia entre muestreadores fue mayor en el sitio con gas ( $Is_{DRAGA - RASTRA (GAS, INVIERNO)}=0.4$ ;  $Is_{DRAGA - RASTRA (GAS, PRIMAVERA)}=0.54$ ) que en el sitio control ( $Is_{DRAGA - RASTRA (CONTROL, INVIERNO)}=0.77$ ;  $Is_{DRAGA - RASTRA (CONTROL, PRIMAVERA)}=0.56$ ).



Taxa	DGI	DCI	DGP	DCP	RGI	RCI	RGP	RCP
<i>Leodamas verax</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
Orbiniidae indet.	X							
<i>Aricidea</i> sp.	X	X	X	X	X	X	X	X
Paraonidae indet. 1	X		X	X			X	
Paraonidae indet. 2	X		X	X			X	
<i>Melinna uruguayi</i>			X	X			X	X
<i>Aphelochaeta</i> sp.		X	X	X		X	X	
Cirratulidae indet. 1	X	X	X	X	X	X	X	X
Cirratulidae indet. 2			X	X				
<i>Glycera americana</i>	X	X	X	X			X	
<i>Axiothella</i> sp.		X	X	X				
<i>Polydora cornuta</i>		X	X	X		X	X	X
<i>Malacoceros</i> sp.	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Eteone</i> sp.		X	X	X		X	X	X
<i>Chone</i> sp.				X				X
Nereididae Indet. 1		X		X		X		
<i>Lumbrineris tetraura</i>		X		X		X		X
Poliquito indet. 1		X		X				
Poliquito indet. 2				X				
<i>Terebellides totae</i>	X	X	X	X		X	X	
<i>Nephtys</i> sp.			X	X				
Polynoidea indet. 1			X	X				
Lepidonotinae indet.		X		X				
Harmothoinae indet.		X		X		X		X
<i>Halosydna patagonica</i>								X
<i>Laeonereis acuta</i>		X	X	X			X	X

Tabla 4. Comparación de los datos colectados con rastra y draga referidos a los taxa presentes en los distintos sitios y estaciones. DGI: draga en sitio con gas en invierno, DCI: draga en el sitio control en invierno, DGP: draga en sitio con gas en primavera, DCP: draga en el sitio control en primavera, RGI: rastra en el sitio con gas en invierno, RCI: rastra en el sitio control en invierno, RGP: rastra en el sitio control en primavera, RCP: rastra en el sitio control en primavera. (Continúa en la siguiente página)

Taxa	DGI	DCI	DGP	DCP	RGI	RCI	RGP	RCP
<i>Lumbrineriopsis mucronata</i>				X				X
Lumbrineridae indet. 1	X	X		X		X	X	X
Lumbrineridae indet. 2		X		X				
Lumbrineridae indet. 3		X		X				
Nephtyidae indet. 1				X				
Terebellidae indet. 1				X				
<i>Terebella plagiostoma</i>		X		X		X		X
Pectinariidae indet. 1				X		X		X
<i>Onuphis setosa</i>		X	X	X		X		X
<i>Syllis</i> sp.		X		X		X		X
Eusyllinae indet. 1	X	X		X		X	X	X
Eunicidae indet. 1			X	X				
Flabelligeridae indet. 1				X				
Phoxocephalidae indet. 1	X		X	X	X		X	
<i>Monocorophium insidiosum</i>	X	X	X	X		X	X	X
Ischyroceridae indet. 1				X				
Amphipoda indet. 1		X	X	X		X		
<i>Cyrtograpsus altimanus</i>		X		X		X		X
<i>Arthromysis magellanica</i>			X	X			X	X
<i>Neomysis americana</i>			X	X			X	X
Caprellidae indet. 1			X	X				
Ostracoda indet. 1	X		X	X			X	
<i>Pagurus criniticornis</i>	X	X		X		X	X	X
<i>Peisos petrunkevitchi</i>		X		X		X		

Tabla 4. Comparación de los datos colectados con rastra y draga referidos a los taxa presentes en los distintos sitios y estaciones. DGI: draga en sitio con gas en invierno, DCI: draga en el sitio control en invierno, DGP: draga en sitio con gas en primavera, DCP: draga en el sitio control en primavera, RGI: rastra en el sitio con gas en invierno, RCI: rastra en el sitio control en invierno, RGP: rastra en el sitio control en primavera, RCP: rastra en el sitio control en primavera. (Continúa en la siguiente página)

Taxa	DGI	DCI	DGP	DCP	RGI	RCI	RGP	RCP
Sphaeromatidae indet. 1		X		X				
<i>Idothea</i> sp.				X				
Alpheidae indet. 1				X				
<i>Anoplodactylus</i> sp.				X				X
<i>Lyonsia hyalina</i>			X					
<i>Anachis aff. isabellei</i>	X	X	X	X	X	X		
<i>Buccinanops deformis</i>	X	X				X		
<i>Ennucula puelcha</i>	X		X	X				
<i>Nucula semiornata</i>				X				
<i>Tellina petitiiana</i>			X					
<i>Corbula patagonica</i>	X		X	X				
<i>Malletia</i> sp.	X		X		X			
<i>Malletia cumingi</i>	X		X					
<i>Pitar rostratus</i>		X		X		X	X	X
<i>Crepidula argentina</i>				X				
Bivalvo indet. 1	X	X				X		
<i>Barnea</i> sp.		X						
<i>Brachidontes rodriguezii</i>				X				
<i>Ostrea</i> sp.								X
Nematoda indet. 1	X	X	X	X	X		X	X
Nematoda indet. 2			X					
Ophiurida indet. 1	X		X	X			X	
Priapulidae indet. 1			X					
<i>Stylatula darwini</i>	X	X	X	X			X	
<i>Amphisbetia operculata</i>			X	X				
<i>Symplectoscyphus</i> sp.	X		X	X				
<i>Sertularella</i> sp.			X					

Tabla 4. Comparación de los datos colectados con rastra y draga referidos a los taxa presentes en los distintos sitios y estaciones. DGI: draga en sitio con gas en invierno, DCI: draga en el sitio control en invierno, DGP: draga en sitio con gas en primavera, DCP: draga en el sitio control en primavera, RGI: rastra en el sitio con gas en invierno, RCI: rastra en el sitio control en invierno, RGP: rastra en el sitio control en primavera, RCP: rastra en el sitio control en primavera. (Continúa en la siguiente página)

Taxa	DGI	DCI	DGP	DCP	RGI	RCI	RGP	RCP
<i>Clytia</i> sp.		X	X	X				
<i>Obelia</i> spp.	X	X	X	X				X
<i>Amathia imbricata</i>	X	X	X	X				
<i>Bugulina simplex</i>	X	X			X			
<i>Bugulina stolonifera</i>	X	X	X		X			
<i>Bugula neritina</i>	X	X	X		X			
<i>Anguinella</i> sp.	X	X	X	X				
<i>Crisia</i> sp.	X	X	X	X				
<i>Conopeum</i> sp.	X	X	X	X				X
Briozoo indet. 1	X	X		X				X
Briozoo indet. 2		X		X				
Briozoo indet. 3	X		X	X				X
<i>Cryptosula pallasiana</i>	X	X		X				
Briozoo indet. 3		X		X				
<i>Scruparia ambigua</i>	X			X				
<i>Folliculina</i> sp.	X							
Nemertea indet.		X				X		
Asciacea indet. 1		X						
Phylum indet. 1	X							X
Phylum indet. 2							X	

Tabla 4. Comparación de los datos colectados con rastra y draga referidos a los taxa presentes en los distintos sitios y estaciones. DGI: draga en sitio con gas en invierno, DCI: draga en el sitio control en invierno, DGP: draga en sitio con gas en primavera, DCP: draga en el sitio control en primavera, RGI: rastra en el sitio con gas en invierno, RCI: rastra en el sitio control en invierno, RGP: rastra en el sitio con gas en primavera, RCP: rastra en el sitio control en primavera.

### **11.5 *Ecología funcional***

La clasificación de los diferentes taxa según sus características biológicas se muestra en la Tabla 5. La Figura 36 presenta el ordenamiento espacial del análisis N-MDS y la importancia relativa de cada gremio trófico para cada sitio y estación. Los gremios tróficos más representados fueron los depositívoros superficiales y sub-superficiales y los omnívoros. El sitio con gas, en ambas estaciones, estuvo dominado, en orden de importancia, por: depositívoros sub-superficiales, omnívoros y depositívoros superficiales. Sin embargo, hay que destacar que hubo diferencias en la representatividad de estos grupos entre estaciones. Tal es así que tanto los omnívoros como los depositívoros superficiales fueron más abundantes en primavera que en invierno en este sitio. En tanto que, el sitio control estuvo dominado, en ambas estaciones, por depositívoros superficiales, mientras que los segundos gremios en orden de importancia relativa fueron diferentes para cada estación del año. En primavera un gremio relativamente importante fueron los depositívoros sub-superficiales mientras que en invierno lo fueron los omnívoros.

Taxa	Dieta	Modo de vida	Tamaño del cuerpo	Movilidad	Calcificación	Referencias
<i>Leodamas verax</i>	DSS	Cavador	Medio	Discreta	No	Elías1987, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014
Orbiniidae indet.	DSS	Cavador	Medio	Discreta	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014
<i>Aricidea</i> sp.	DSS	Cavador	Pequeño	Discreta	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Paraonidae indet. 1	DSS	Cavador	Pequeño	Discreta	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Paraonidae indet. 2	DSS	Cavador	Pequeño	Discreta	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositívoro sub-superficial, DS: depositívoro superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

<i>Melinna uruguayi</i>	DS	Tubícola	Medio	Sésil	No	Elías 1987, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018 Elías & Rivero 2009, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
<i>Aphelochaeta</i> sp.	DS	Cavador	Pequeño	Discreta	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Cirratulidae indet. 1	DS	Cavador	Pequeño	Discreta	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Cirratulidae indet. 2	DS	Cavador	Pequeño	Discreta	No	Elías 1987, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
<i>Glycera americana</i>	OMN	Cavador	Medio	Móvil	No	Elías 1987, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositivo sub-superficial, DS: depositivo superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

<i>Axiiothella</i> sp.	DSS	Tubícola	Medio	Sésil	No	Elías 1987, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018 Faulwetter et al. 2014, Bertasi 2016, Bumber & Rocha 2016, WORMS 2018
<i>Polydora cornuta</i>	DS	Tubícola	Pequeño	Sésil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
<i>Malacoceros</i> sp.	DS	Cavador	Medio	Discreta	No	Orensanz 1973a, Elías 1987, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
<i>Eteone</i> sp.	B	Errante	Medio	Móvil	No	Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositívoro sub-superficial, DS: depositívoro superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.



<i>Chone</i> sp.	F	Tubícola	Medio	Sésil	No	Elías 1987, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Nereididae Indet. 1	OMN	Errante	Medio	Móvil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
<i>Lumbrineris tetraura</i>	OMN	Cavador	Medio	Móvil	No	Orensanz 1973b, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Poliqueto indet. 1	NA	NA	NA	NA	No	
Poliqueto indet. 2	NA	NA	NA	NA	No	
<i>Terebellides totae</i>	DS	Tubícola	Medio	Sésil	No	Bremec & Elías 1999, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositivo sub-superficial, DS: depositivo superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

<i>Nephtys</i> sp.	OMN	Errante	Medio	Móvil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Polynoidae indet. 1	CARN	Errante	Medio	Móvil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Lepidonotinae indet.	OMN	Errante	Medio	Móvil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Harmothoinae indet.	CARN	Errante	Medio	Móvil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
<i>Laeonereis acuta</i>	OMN	Errante	Medio	Móvil	No	Elías & Ieno 1993
<i>Lumbrineriopsis mucronata</i>	OMN	Cavador	Medio	Móvil	No	Orensanz 1973b, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositívoro sub-superficial, DS: depositívoro superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

Lumbrineridae indet. 1	OMN	Cavador	Medio	Móvil	No	Orensanz 1973b, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Lumbrineridae indet. 2	OMN	Cavador	Medio	Móvil	No	Orensanz 1973b, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Lumbrineridae indet. 3	OMN	Cavador	Medio	Móvil	No	Orensanz 1973b, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Nephtyidae indet. 1	OMN	Errante	Medio	Móvil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositivo sub-superficial, DS: depositivo superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

								Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Terebellidae indet. 1	DS	Tubícola	Medio	Sésil	No			Elías 1987, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
<i>Terebella plagiostoma</i>	DS	Tubícola	Medio	Sésil	No			Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Pectinariidae indet. 1	DSS	Tubícola	Medio	Sésil	No			Orensanz 1974, Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
<i>Onuphis setosa</i>	DS	Tubícola	Medio	Sésil	No			Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
<i>Syllis</i> sp.	CARN	Errante	Pequeño	Móvil	No			Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositivo sub-superficial, DS: depositivo superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

Eusyllinae indet. 1	B	Errante	Pequeño	Móvil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Eunicidae indet. 1	B	Errante	Medio	Móvil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Flabelligeridae indet. 1	DSS	Tubícola	Medio	Sésil	No	Fauchald 1977, Faulwetter et al. 2014, WORMS 2018
Phoxocephalidae indet. 1	OMN	Errante	Pequeño	Móvil	Parcial	Alonso de Pina et al. 2008, Hagerthey et al. 2002
<i>Monocorophium insidiosum</i>	OMN	Tubícola	Pequeño	Sésil	Parcial	Alonso de Pina et al. 2008, Hagerthey et al. 2002
Ischyroceridae indet. 1	OMN	Errante	Pequeño	Móvil	Parcial	Alonso de Pina et al. 2008
Amphipoda indet. 1	OMN	Errante	Pequeño	Móvil	Parcial	Alonso de Pina et al. 2008

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositívoro sub-superficial, DS: depositívoro superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

<i>Cyrtograpsus altimanus</i>	DS	Errante	Medio	Móvil	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014
<i>Arthromysis magellanica</i>	DS	Errante	Medio	Móvil	Parcial	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014
<i>Neomysis americana</i>	DS	Errante	Medio	Móvil	Parcial	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014
Caprellidae indet. 1	OMN	Errante	Medio	Móvil	Parcial	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014
Ostracoda indet. 1	DS	Errante	Pequeño	Móvil	Parcial	Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014
<i>Pagurus criniticornis</i>	OMN	Errante	Medio	Móvil	Parcial	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DS: depositívoro sub-superficial, DS: depositívoro superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

<i>Sphaeromatidae</i> indet. 1	OMN	Errante	Medio	Móvil	Parcial	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014
<i>Idothea</i> sp.	OMN	Errante	Medio	Móvil	Parcial	Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014
<i>Anoplodactylus</i> sp.	OMN	Errante	Medio	Móvil	Parcial	Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014
<i>Lyonsia hyalina</i>	F	Cavador	Medio	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Anachis aff. Isabellei</i>	H	Errante	Pequeño	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositivo sub-superficial, DS: depositivo superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.z

<i>Buccinanops deformis</i>	OMN	Errante	Medio	Móvil	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Eunucula puelcha</i>	DSS	Cavador	Pequeño	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Nucula semiornata</i>	DSS	Cavador	Pequeño	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Tellina pettitiana</i>	DSS	Cavador	Medio	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositivo sub-superficial, DS: depositivo superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.



<i>Corbula patagonica</i>	F	Cavador	Medio	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Malletia</i> sp.	DSS	Cavador	Medio	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Malletia cumingi</i>	DSS	Cavador	Medio	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Pitar rostratus</i>	F	Cavador	Medio	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositívoro sub-superficial, DS: depositívoro superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

<i>Crepidula argentina</i>	F	Sésil	Pequeño	Sésil	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
Bivalvo indet. 1	F	Cavador	Medio	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Barnea sp.</i>	B	Cavador	Medio	Discreta	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Brachidontes rodriguezii</i>	F	Sésil	Pequeño	Sésil	Alta	Boschi et al. 1992, Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014, WORMS 2018
Nematoda indet. 1	OMN	Cavador	Pequeño	Móvil	No	Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositívoro sub-superficial, DS: depositívoro superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado. Continúa en la siguiente página.

Nematoda indet. 2	OMN	Cavador	Pequeño	Móvil	No	Boschi & Cousseau 2004, Calcagno 2014
Ophiurida indet. 1	DS	Errante	Grande	Móvil	Alta	Calcagno 2014, WORMS 2018
<i>Stylatula darwini</i>	F	Sésil	Grande	Sésil	Parcial	MacGinitie 1938, Watling et al. 2011, Turner 2014, Williams 2015

Tabla 5. Características biológicas de los organismos bentónicos. DSS: depositívoro sub-superficial, DS: depositívoro superficial, OMN: omnívoro, B: bacterívoro, F: filtrador, CARN: carnívoro, H: herbívoro, NA: no asignado.

La diversidad de gremios tróficos fue similar al comparar entre sitios con gas y control. Debido a que, además de los gremios mencionados anteriormente, en ambos sitios se encontraron filtradores, bacterívoros, carnívoros y herbívoros. Sin embargo, la estructura trófica fue diferente en relación a la importancia relativa de estos grupos en los sitios. Los organismos filtradores y herbívoros fueron más abundantes en el sitio con gas, mientras que, los bacterívoros y carnívoros lo fueron en el sitio control. No obstante, los bacterívoros estuvieron más representados en el sitio control en invierno del mismo modo que los herbívoros fueron más abundantes en el sitio con gas en primavera.

En cuanto al modo de vida dominaron los cavadores en ambos sitios (Fig. 37). Sin embargo, hubo diferencias en el sitio control entre estaciones siendo dominantes los cavadores en invierno mientras que, en primavera la mayoría de los organismos fueron errantes o tubícolas. En el sitio con gas se encontraron diferencias en la diversidad de modos de vida de los macroinvertebrados entre estaciones. Esto se debe a que en primavera también fueron relativamente abundantes los organismos errantes y tubícolas, mientras que, en invierno sólo estuvieron bien representados los cavadores. Por lo tanto, en general, en primavera hubo una mayor representación de diversos modos de vida en ambos sitios.

Se hallaron marcadas diferencias en los niveles de motilidad de los macroinvertebrados bentónicos entre sitios y estaciones (Fig. 38). En el sitio con gas en primavera la mayoría de los organismos se categorizaron como móviles y discretamente móviles, mientras que, en invierno se caracterizaron por presentar un nivel de motilidad discreto. Por otro lado, en el sitio control la mayoría de los organismos se encontraron en la categoría de motilidad discreta en primavera, mientras que, en invierno dominaron en abundancia los organismos de tipo móvil y sésil.

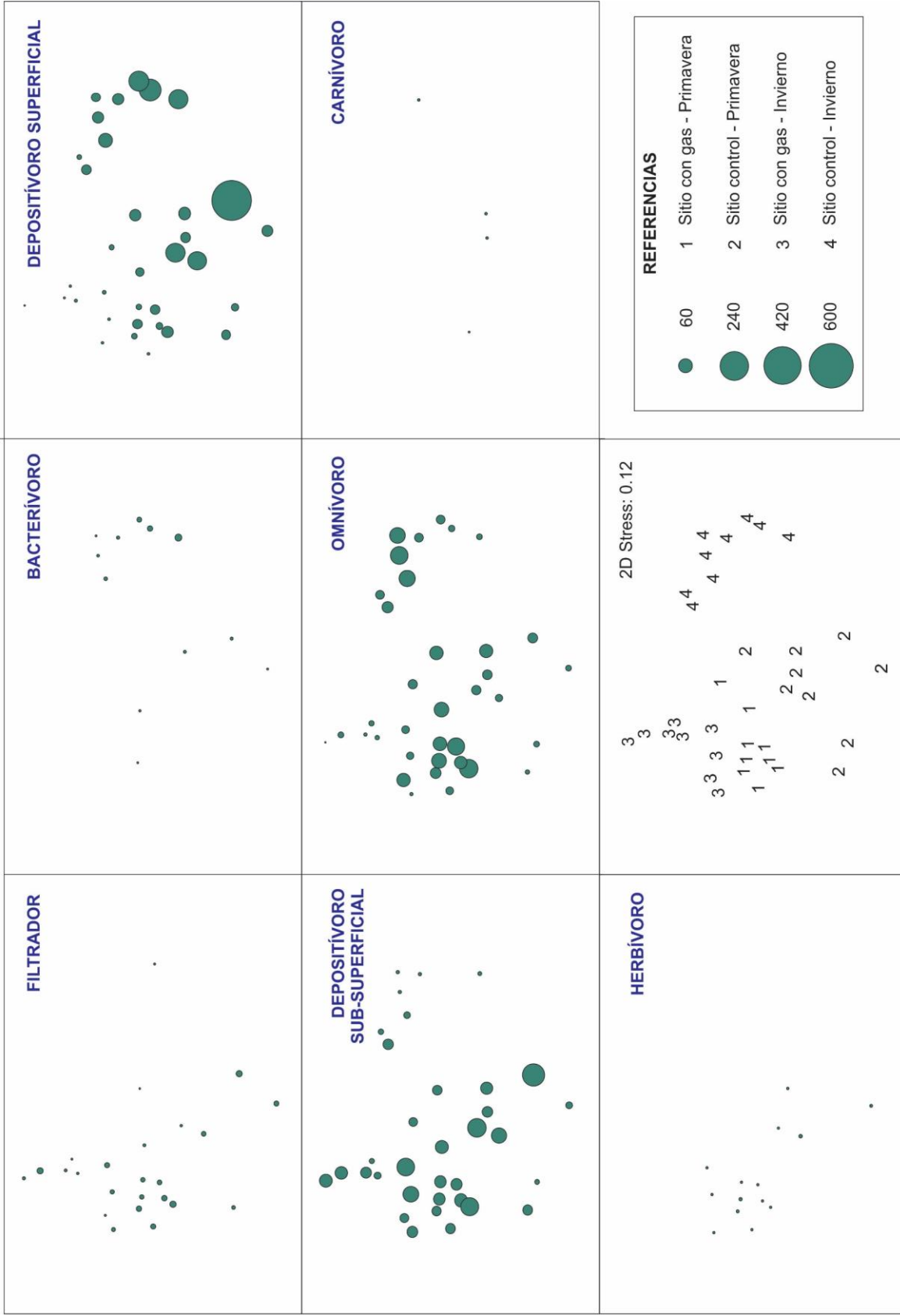


Figura 36. Gráficos de burbujas representando la importancia relativa de los gremios tróficos para cada muestra en relación al ordenamiento espacial de dichas muestras por el análisis N-MDS.

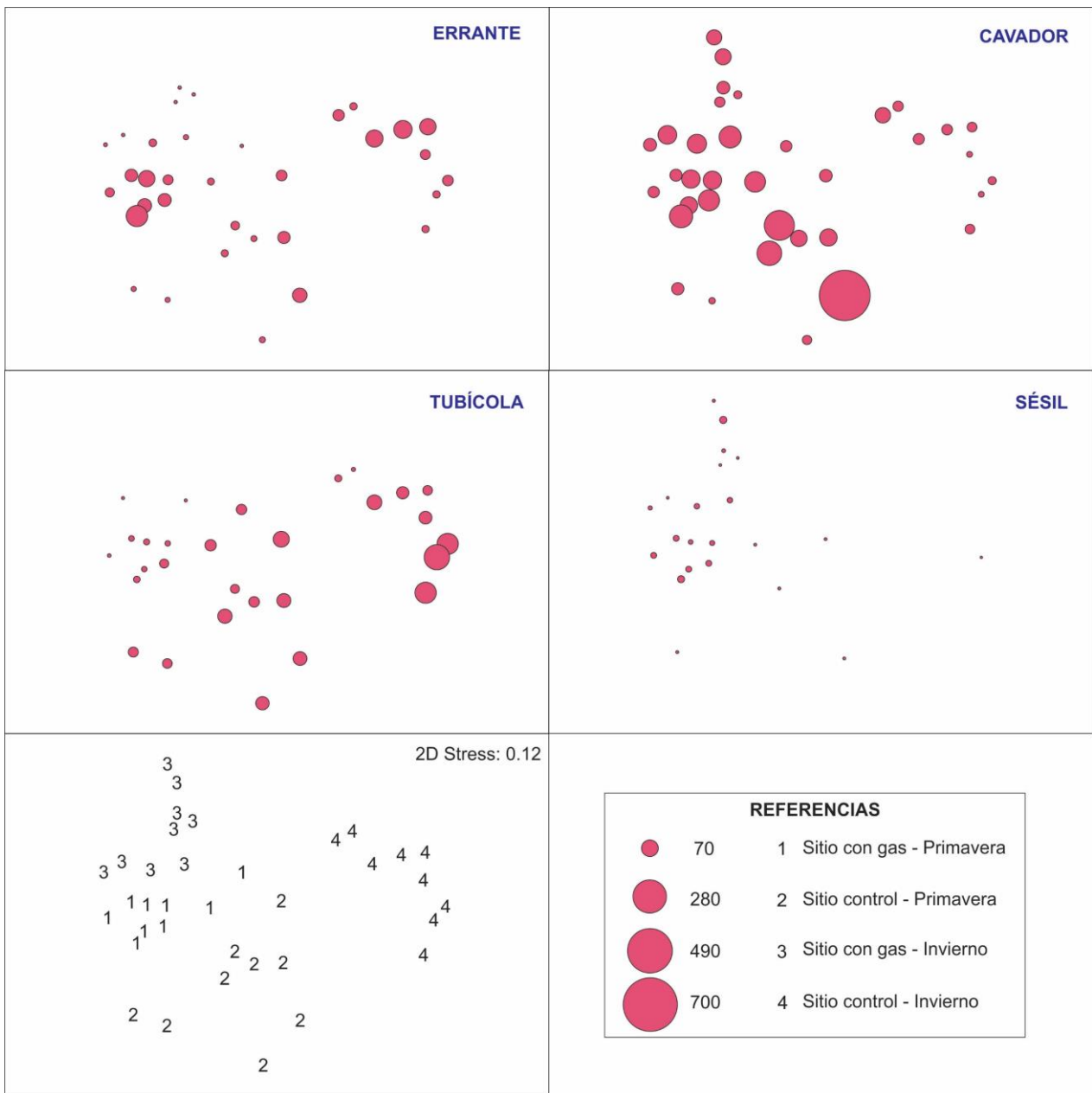


Figura 37. Gráficos de burbujas representando la importancia relativa de los diferentes modos de vida de los organismos bentónicos para cada muestra en relación al ordenamiento espacial de dichas muestras por el análisis N-MDS.

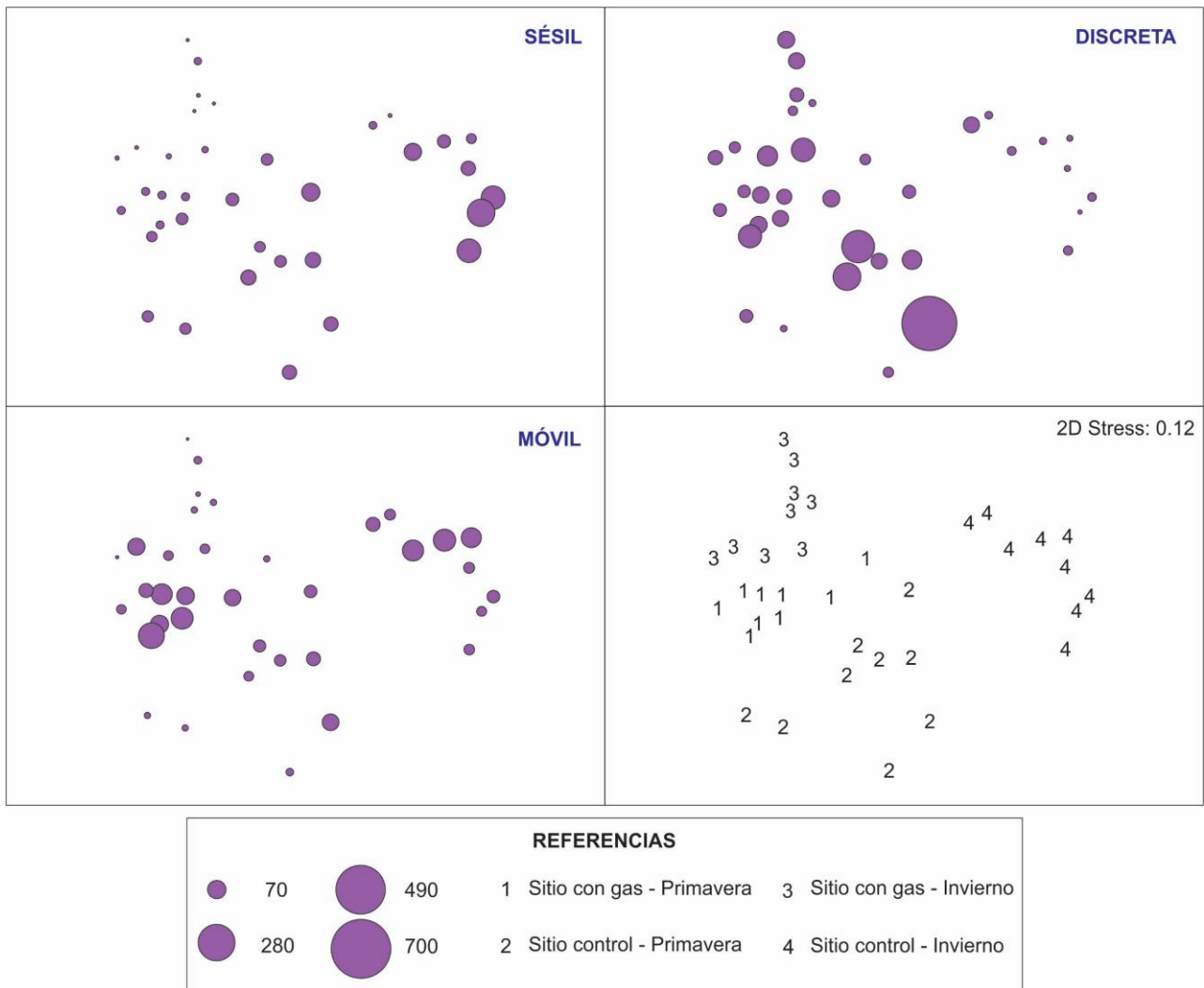


Figura 38. Gráficos de burbujas representando la importancia relativa de los distintos niveles de motilidad para cada muestra en relación al ordenamiento espacial de dichas muestras por el análisis N-MDS.

Se encontraron similitudes entre sitios y estaciones en cuanto a la importancia relativa de los diferentes rangos de tamaño del cuerpo (Fig. 39). La mayoría de los organismos bentónicos fueron pequeños y medianos. Por otro lado, cabe destacar que los invertebrados bentónicos clasificados como de tamaño corporal grande fueron poco abundantes, pero estuvieron casi exclusivamente presentes en el sitio con gas tanto en invierno como en primavera.

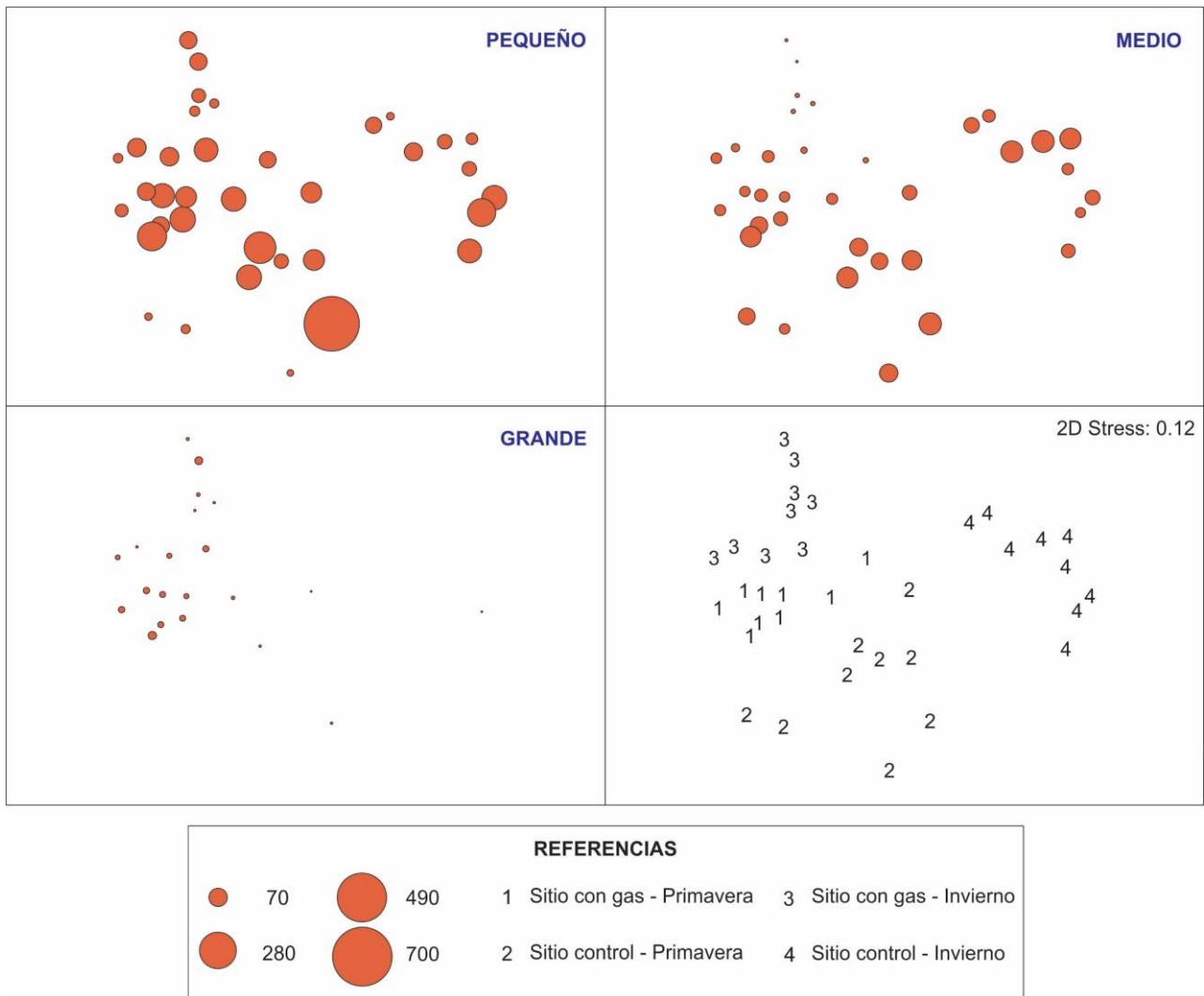
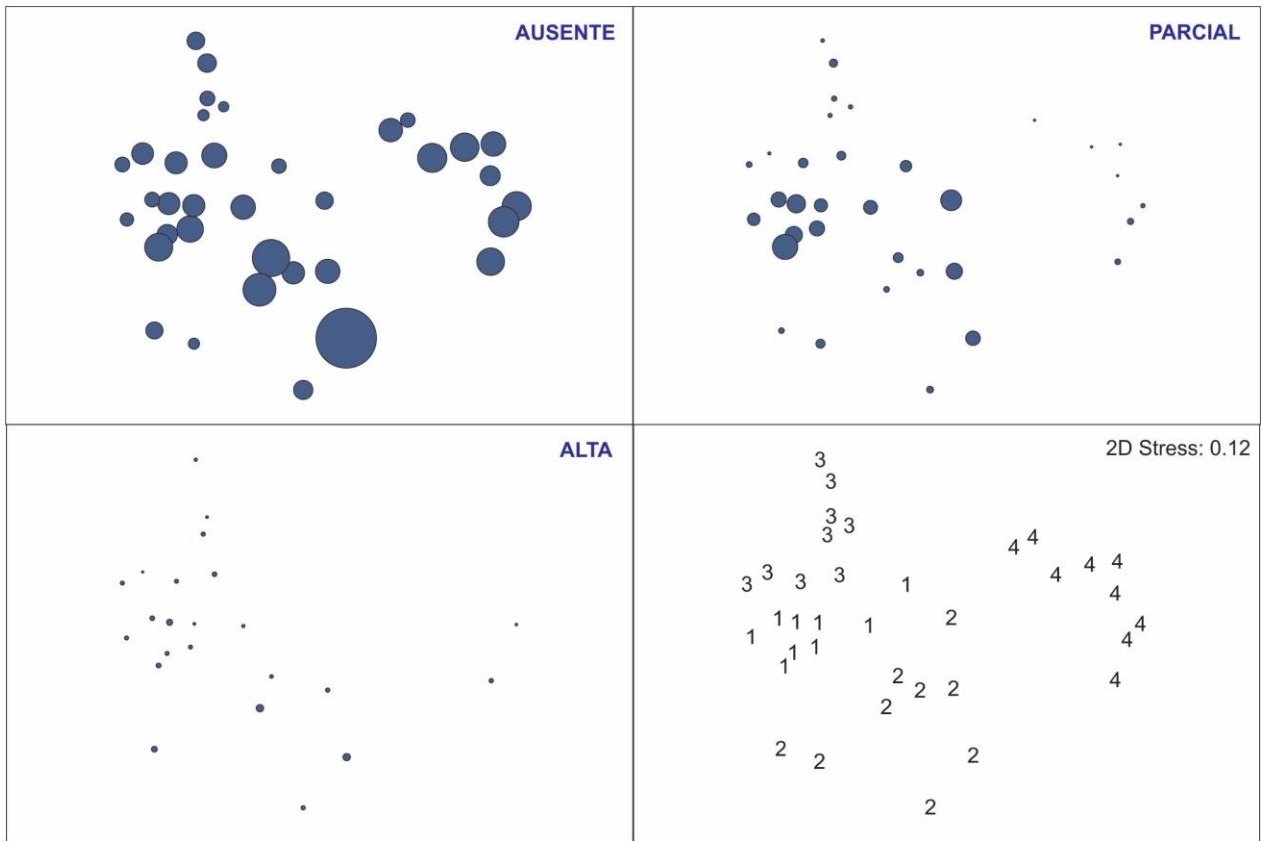


Figura 39. Gráficos de burbujas representando la importancia relativa de los diferentes rangos de tamaño de los organismos bentónicos para cada muestra en relación al ordenamiento espacial de dichas muestras por el análisis N-MDS.

La mayoría de los organismos bentónicos no presentaron calcificación o bien presentaron un grado de calcificación parcial (Fig. 40). Al comparar los sitios se observó que el sitio con gas presentó más organismos con un grado parcial o alto de calcificación que el sitio control. Por otro lado, al comparar ambos sitios entre estaciones, se encontró una mayor representatividad de organismos con nivel parcial o alto de calcificación en primavera que en invierno.





REFERENCIAS			
	70		280
	490		700
1	Sitio con gas - Primavera	3	Sitio con gas - Invierno
2	Sitio control - Primavera	4	Sitio control - Invierno

Figura 40. Gráficos de burbujas representando la importancia relativa de los diferentes grados de calcificación que presentaron los organismos bentónicos para cada muestra en relación al ordenamiento espacial de dichas muestras por el análisis N-MDS.

# **CAPÍTULO IV**

## **Discusión**

## 12. Sedimentos gasíferos del estuario de Bahía Blanca

El factor más importante que controla la acumulación del gas, tanto en sentido lateral como vertical, es la estratigrafía (Magariños-Alvarez et al. 2002; Weschenfelder et al. 2016). La columna sismoestratigráfica de la zona interna del estuario de Bahía Blanca se caracteriza por la presencia de cinco secuencias sísmicas del Pleistoceno tardío-Holoceno (Aliotta et al. 2014), que han sido descritas siguiendo el orden de su posición estratigráfica. El basamento se encuentra conformado por sedimentos arcillo-limosos y limo-arenosos muy compactados. Estos materiales corresponden a un paleoambiente sedimentario fluvial-continental correlacionado con la Formación Arroyo Chasicó (S1) y la Formación Pampiana (S2). En tanto que, las secuencias S3 y S4 corresponden a un paleoambiente fluvio-deltaico. Estas difieren en que la secuencia S3 contiene estratos en configuración oblicua progradante conformados de arena arcillosa, mientras que, la secuencia S4 indica un período de reactivación y redistribución del drenaje con la formación de paleocanales y una marcada inclinación de los reflectores en sentido Este-Sudeste. Por último, la configuración de la secuencia S5 denota que, con el aumento del nivel del mar ocurrido en el Holoceno medio, arenas medias cubrieron gran parte de los depósitos deltaicos mientras que sedimentos limo arcillosos dominaron en los sectores más someros del estuario. En la Figura 41 se esquematizan y resumen las características de todas las secuencias sísmicas mencionadas.

Teniendo en cuenta las características sismoestratigráficas del sub-fondo marino del área, se puede inferir el origen de los depósitos de gas somero en el estuario de Bahía Blanca. El gas somero se encontró en la secuencia S5 y se habría originado en la secuencia S3 producto de la oxidación microbiana de la materia orgánica de origen fluvio-deltaico. Los datos de perforación sugieren que los sedimentos gasíferos se componen de un fino limo arenoso gris y están pobremente compactados (Aliotta et al. 2009). Estas características sedimentológicas de los depósitos de gas en el estuario de Bahía Blanca son coincidentes con las descripciones realizadas en el Sur de Brasil (Laguna de los Patos, plataforma continental de Río Grande do Sul, estuario Santos, Bahía Guanabara, Weschenfelder

et al. 2016), en la costa Este de Sudáfrica (Durban Bay y Lago Santa Lucía, Weschenfelder et al. 2016), en la costa Este de Estados Unidos (Bahía Chesapeake, Hill et al. 1992), en la costa Oeste de España (Ría de Vigo y Ría de Muros-Noia, García-García et al. 1999, Magariños-Álvarez et al. 2002, Iglesias & García-Gil 2007), en la costa Este de Italia (delta del Río Po y Oeste del Mar Adriático, García-García et al. 2007), entre otros. El gas atrapado en los sedimentos habría logrado difundir desde S3 hasta llegar a la altura en la columna de sedimentos donde se encuentra S5 gracias a la permeabilidad de los estratos suprayacentes.

El gas somero se encuentra principalmente en la forma de blanqueamiento acústico en el estuario de Bahía Blanca. Aliotta et al. (2002) describió por primera vez la presencia de muchos sectores con gas somero en el fondo marino del estuario de Bahía Blanca. Los mayores depósitos de gas fueron mapeados por Aliotta et al. (2009, 2011) en el sector externo del área, sobre el canal principal. Por lo tanto, la distribución del gas evidenciado en forma de blanqueamiento acústico abarca la zona media del estuario hasta la plataforma continental adyacente, es decir, el área conocida como “El Rincón” (Weschenfelder et al. 2016, Andreoli 2018). Estas

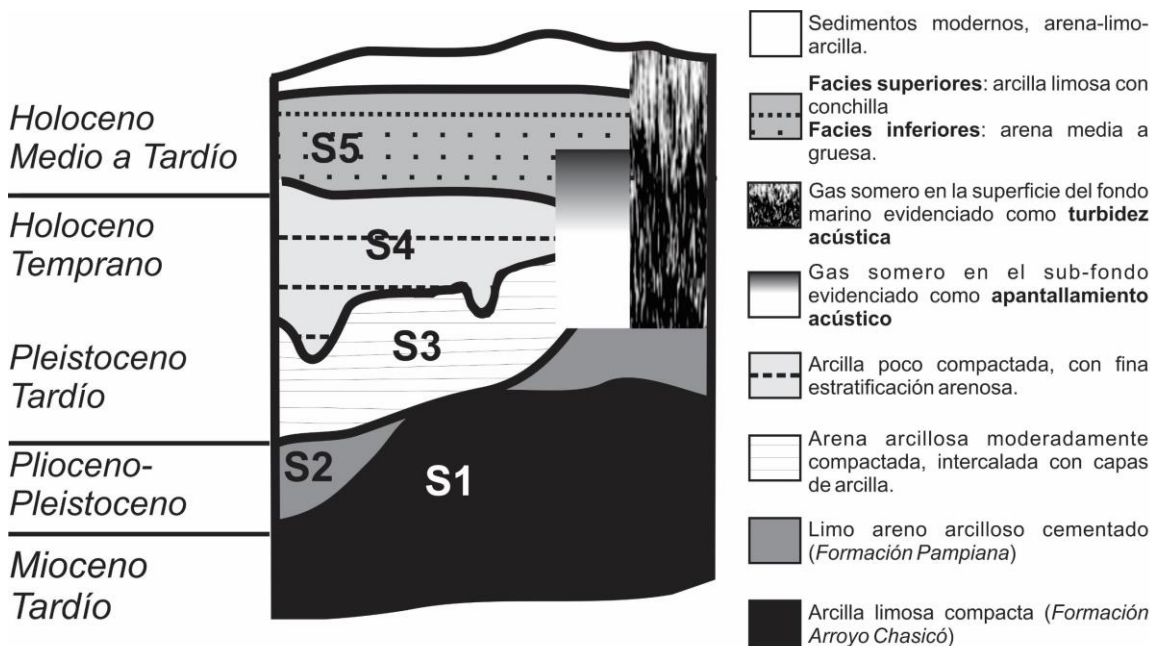


Figura 41. Representación esquemática de las características sismoestratigráficas del sub-fondo del área de estudio. Tomado con modificaciones de Aliotta et al. (2014)

acumulaciones de gas en el sub-fondo se encontraron en el presente trabajo de Tesis ocupando tamaños variables, siendo el tamaño máximo de 600 m o más. Las distancias relativas entre los depósitos de gas y el fondo varían desde 2 a 12 m. Estos depósitos de gas se encuentran principalmente asociados a paleocanales en la zona externa y a los veriles de los canales tanto en la zona interna como en la zona externa (Giagante et al. 2008, Aliotta et al. 2009, 2011).

Los depósitos de gas en el estuario de Bahía Blanca se encuentran, en general, asociados con depresiones topográficas antiguas y, en algunos casos, con una configuración sísmica de progradación sigmoidal a lo largo de una superficie de discontinuidad erosiva (Aliotta et al. 2002, 2009). La configuración sísmica de progradación sigmoidal se asocia con paleovalles y paleocanales que constituyen el paleoambiente desarrollado durante el Pleistoceno tardío – principios del Holoceno (Aliotta et al. 1999, Giagante et al. 2008), previo a la última ingresión marina. El aumento gradual del nivel del mar durante el Holoceno causó el soterramiento de la materia orgánica por sedimentos marinos. La degradación del carbono mediada por arqueas bajo condiciones anóxicas dio lugar a la formación del metano, mientras que las facies sedimentarias controlaron la migración del gas en la columna de sedimentos. Estas últimas conforman el techo de los depósitos de gas, lo que se evidencia como un falso reflector en los perfiles sísmicos que enmascara parcialmente la estratificación infrayacente (Aliotta et al. 2009). Bajo estas condiciones, entonces, se considera que el origen del gas en el estuario de Bahía Blanca es biogénico asociado a la evolución geológica del ambiente costero durante el período Cuaternario. De este modo, el gas somero biogénico en el estuario de Bahía Blanca se originó bajo procesos evolutivos similares a los que originaron depósitos de gas somero biogénico en sistemas costeros de todo el mundo (Fig. 1, Parker & Paterlini 1990, Aliotta et al. 2000, 2002, Fleischer et al. 2001, Missiaen et al. 2002, García-Gil 2003, Bujalesky et al. 2004, Emeis et al. 2004, Lee et al. 2005, Orange et al. 2005, Schwarzer et al. 2006, Iglesias & García-Gil 2007, Laier & Jensen 2007, Rollet et al. 2009, Sun et al. 2012, Green et al. 2015, Weschenfelder et al. 2016, Ramírez-Pérez et al. 2017).

Por otro lado, es interesante analizar la relación entre la distribución de las evidencias sísmicas del gas somero con las distribuciones texturales de los sedimentos del fondo marino en el estuario de Bahía Blanca. La dominancia de turbidez acústica en la zona interna del estuario coincide con la mayor proporción de sedimentos arcillosos. Esto concuerda con el modelo propuesto por Judd & Hovland (1992) y con los resultados obtenidos en la Ría Muros-Noia por Magariño-Alvarez et al. (2002) quienes encontraron los depósitos de gas asociados a sedimentos arcillosos, lo que, a su vez, coincide con la composición sedimentaria de la secuencia S3 reportada en el área interna del estuario (Giagante et al. 2008). La secuencia S3 se caracteriza por la presencia de paleocanales que frecuentemente presentan depósitos de gas (Fig. 4, Giagante et al. 2008). Las evidencias de turbidez acústica pueden encontrarse en los sedimentos con concentraciones de gas menores al 1% (Judd & Hovland 1992) mientras que el blanqueamiento acústico está relacionado a concentraciones gasíferas mayores en los sedimentos (Magariño-Alvarez et al. 2002).

Analizando con más detalle el proceso de migración del gas en sentido vertical a lo largo de la columna de sedimentos se puede decir que, en términos generales, depende de la naturaleza de los estratos que conforman el techo de los mismos. Según Weschenfelder et al. (2016) cuando estos estratos están conformados por arena tienen una permeabilidad suficiente como para que el gas migre hacia la superficie del fondo marino o incluso escape a la columna de agua. Por otro lado, otro factor que se considera influyente en la posición de los depósitos de gas en la columna de sedimentos es el régimen hidrodinámico local (mareas, circulación de olas, Weschenfelder et al. 2016). Debido a que, las características hidrodinámicas pueden afectar la efectividad oclusiva del techo de los depósitos de gas promoviendo una mayor permeabilidad y difusión del gas (Weschenfelder et al. 2016). De acuerdo a esto, en distintos sectores del estuario que se encuentran sometidos a erosión, los estratos superiores al depósito gasífero pueden ser afectados de manera que podría esperarse el escape del hidrocarburo.

En cuanto a la geomorfología del área de estudio se observaron las características que se detallan a continuación. En base al análisis de los registros obtenidos con sonar de barrido lateral se pudieron distinguir diferentes tipos de fondo marino en el sector del canal Principal analizado. Entre los tipos de fondo se distingue uno de tipo rocoso muy reflectivo y otro de material fino no consolidado en tonos grises. El fondo rocoso se encuentra en la zona más profunda y central del canal Principal, mientras que el material fino se encuentra restringido a los veriles de dicho canal.

El fondo rocoso coincide con aquel previamente identificado y caracterizado por varios autores en el área (Aliotta et al. 1992, 1996, Lizasoain 2006, Giagante 2009). El material que constituye este fondo ha sido caracterizado como sedimento limo arenoso de color castaño amarillento o castaño rojizo (Lizasoain 2006). El mismo presenta un alto grado de compactación y cementación con carbonato de calcio (Lizasoain 2006). En base a la litología, el color, así como el grado de compactación de este material se considera que corresponde a "*sedimentos pampianos*" (Fidalgo et al. 1975, Aliotta et al. 1992, 1996, Lizasoain 2006, Giagante 2009). Por lo tanto, el fondo rocoso encontrado en el área de estudio de esta Tesis corresponde a afloramientos del basamento rocoso de la Formación Pampiana (Fidalgo et al. 1975, Aliotta et al. 1992, 1996, Lizasoain 2006, Giagante 2009). Cabe destacar que el afloramiento del basamento rocoso en el sector estudiado no es natural, sino que se debe a una intensa tarea de dragado de profundización. Dicha obra de profundización fue realizada con draga cortadora entre 1989 y 1992. Pese a que transcurrieron más de 26 años desde la ejecución de estas tareas de dragado aún pueden visualizarse las marcas con el sonar de barrido lateral. Esto por un lado puede ser explicado como una evidencia de que el ambiente de fondo presenta exigua sedimentación arenosa (Lizasoain 2006). Aunque, por otro lado, puede estar relacionado con las tareas de profundización con draga de succión realizadas en 2013.

Existe un canal de navegación profundizado por tareas de dragado de diferentes tipos que generaron escalones en ambos lados de los veriles. Las tareas de dragado en los canales de acceso a los complejos portuarios de Ingeniero White

y Galván originan marcas y desniveles artificiales sobre el fondo. Dichas marcas se pueden adjudicar a dos clases de draga utilizadas en función del material que constituye el fondo, así como al tipo de marca de dragado. Por un lado, en el centro del canal de navegación en la zona de Ingeniero White y Galván se encuentran marcas de dragado en la forma de surcos curvos, semicirculares dispuestos de forma transversal al eje del canal (Fig. 17, 18). Este tipo de marca se encuentra labrado sobre un fondo compacto y corresponde a marcas realizadas por la acción de una draga de corte y succión. Su funcionamiento se basa en el uso de una corona de corte o trépano y una bomba que succiona los materiales del fondo correspondientes al frente de ataque y, en simultáneo deposita los sedimentos en el sitio previamente establecido para tal fin (Lizasoain 2006). Otro tipo de marcas de dragado son surcos longitudinales paralelos al eje del canal Principal. Este tipo de marcas sobre fondo blando son típicas de las tareas de dragado realizadas con una draga hidráulica de succión. A diferencia de la draga de corte y succión este tipo de draga es autopropulsada y se utiliza en fondos constituidos por materiales sueltos o poco compactados (Lizasoain 2006). Esta draga succiona los materiales del fondo y los vuelca en una tolva mientras navega (Lizasoain 2006). Cuando está colmatada, la draga se dirige hacia el lugar asignado para descargar el material dragado en el fondo marino (Lizasoain 2006).

En el veril norte del canal Principal, las profundidades son máximas debido a la existencia de los muelles y zonas de amarre. En el veril sur, en cambio, por encima del último escalón observado con el sonar, se desarrolla un sector submareal poco profundo de baja pendiente y sin rasgos morfológicos destacables. Acústicamente, es notable sobre esta franja una diferencia en la reflectividad del sonar, que evidencia una menor respuesta acústica (tono claro) en el sector con gas, a diferencia del sitio control donde la reflexión acústica es comparable (tono más oscuro) con los demás sectores relevados. Esto estaría indicando que, el bajo esfuerzo de corte de los sedimentos gasíferos genera una respuesta acústica diferente en el sonar de barrido lateral, pese a las similitudes granulométricas de los sedimentos respecto al sitio control.



En ambos veriles se encontró un fondo marino constituido por material fino no consolidado sobre el cual no se evidenciaron depósitos de sedimento arenoso movilizado por el fondo. A su vez se pudo inferir por los rasgos geomorfológicos que el veril sur presentó rasgos erosivos, es decir, una escarpa erosiva escalonada. En este sector, por encima del último escalón (el más somero) se observa una topografía suave de escasa pendiente. Además, la presencia de las escarpas erosivas escalonadas también fue observada por otros autores, tanto en el sector comprendido dentro de nuestra área de estudio, como en otros sectores del estuario de Bahía Blanca (Giagante et al. 2009, Ginsberg et al. 2009, Ginsberg & Aliotta 2011). Los sedimentos que se disponen sobre los materiales con diverso grado de compactación conformando las escarpas, en todo el sector aquí analizado, corresponderían a extensas planicies de marea originadas durante la ingresión holocena (Aliotta & Perillo 1987, Aliotta & Farinati 1990). Cabe destacar que, en este trabajo de Tesis se determinó, tanto con sísmica como con sonar, una mayor estratificación en el área adyacente al sitio control. En el sitio con gas, en cambio, los datos obtenidos por medio de sísmica y sonar no revelan este tipo de estructuras. Esta característica podría vincularse con la diferencia en el esfuerzo de corte de los materiales pertenecientes a ambos sitios de estudio.

Como se mencionó anteriormente en los sonogramas se observaron rasgos antrópicos, es decir, características del fondo asociadas a la actividad humana. De acuerdo a su naturaleza, los rasgos antropogénicos le adjudican al fondo marino un patrón característico que, en general, sólo es identificable a través de registros de sonar de barrido lateral. Entre estos se encontraron marcas de draga, marcas de arrastre de pesca y pozos.

En el sector sur del canal Principal de navegación se hallaron marcas de arrastre de pesca o de anclas y pozos que parecen estar asociados a actividades antrópicas. Las marcas de arrastre de anclas y redes de pesca se forman por el desplazamiento del material que origina el arrastre conformando pequeñas lomadas o albardones a ambos lados del surco, especialmente si el sedimento del fondo es fino y con cierto grado de cohesividad (Lizasoain 2006). La incidencia del haz sónico sobre los albardones genera una línea oscura (muy reflectiva) a ambos

lados de la zanja que se observa con tono gris claro en el sonograma (Lizasoain 2006). Cuando el material tiende a ser más arenoso solamente se puede observar el surco dejado por el arrastre del ancla o de las redes de pesca (Lizasoain 2006). En este estudio se observaron los surcos en tono gris (zona de sombra) con una línea oscura a un solo lado de los mismos (Fig. 18). Por lo tanto, estas marcas, encontradas en la zona del sitio control, son coincidentes con las que Lizasoain (2017) describe como marcas de arrastre de anclas y redes de pesca. Por otro lado, en base a la descripción realizada por Lizasoain (2017) se puede deducir que la falta de cohesividad de los sedimentos gasíferos puede explicar la ausencia de estas marcas en el sitio con gas.

La granulometría de los sedimentos fue definida a través de los muestreos realizados en ambos sitios. Al comparar los sedimentos entre sitios se encontró una menor cohesividad en los sedimentos gasíferos respecto a aquellos del sitio control. En términos de granulometría los sedimentos de ambos sitios fueron principalmente caracterizados como fango arenoso, con una mayor proporción de arena en el sitio control y de arcilla en el sitio con gas. Como se mencionó anteriormente, el mayor contenido de arcilla de los sedimentos gasíferos ya ha sido descrito para otros ambientes estuariales (Hill et al. 1992, Judd & Hovland 1992, García-García et al. 1999, 2007, Magariños-Alvarez et al. 2002, Iglesias & García-Gil 2007, Weschenfelder et al. 2016). Además, estudios previos en otros sectores del estuario de Bahía Blanca realizados por Aliotta et al. (2009) encontraron las mismas características en sedimentos gasíferos ubicados a mayor profundidad en la columna de sedimentos a través de datos de perforación.

En el análisis de testigos debido a la falta de cohesividad de los sedimentos gasíferos no se encontró una estructura marcada en la columna. Sin embargo, en el sitio control se observó una estructura tanto desde el análisis granulométrico como a partir del análisis con rayos X. En el caso de la granulometría se observó una mayor proporción de arena a mayor profundidad en la columna. En tanto que, el análisis de rayos X permitió observar una estratificación fina a lo largo de la columna de sedimentos obtenida en un testigo (30 cm). Esto podría estar relacionado con las características sismoestratigráficas encontradas por Aliotta et al. (2014). De

acuerdo con estos autores los sedimentos que se encuentran en superficie en el área de muestreo forman parte de la secuencia S5 (Fig. 41). Dicha secuencia está compuesta por arena media a gruesa medianamente densa y con conchilla a mayor profundidad mientras que, en superficie cambia a limo arcilloso gris con diferentes proporciones de conchilla. Esta secuencia presenta una estratificación subhorizontal, principalmente en la parte más superficial. Aliotta et al. (2014) consideran que esta configuración sismoestratigráfica indica la distribución y deposición de los estratos de material sedimentario fino en el ambiente de baja energía que intervino en el proceso transgresivo-regresivo marino Holoceno. Entonces es posible que la columna de sedimentos colectada en los testigos comprenda la parte más superficial de la secuencia S5 que evidenció, en coincidencia con lo hallado por estos autores, tanto la estratificación, como la textura del sedimento y la presencia de conchilla.

En cuanto al contenido de materia orgánica de los testigos se encontraron diferencias entre sitios. Se halló un mayor contenido de materia orgánica en el sitio con gas respecto al sitio control. Cabe destacar que el sitio con gas a una profundidad de entre 28 y 35 cm evidenció un valor muy bajo de materia orgánica. Según Jessen et al. (2017) en los sedimentos marinos existe una estrecha relación entre la disponibilidad de oxígeno, la actividad microbiana y la remineralización de la materia orgánica. De este modo, en condiciones óxicas la degradación bacteriana de la materia orgánica ocurre rápidamente, sin embargo, a medida que aumenta la profundidad en la columna de sedimento, a menos que exista bioturbación que genera oxigenación del sedimento, las condiciones anaeróbicas generan una disminución en la tasa de metabolización microbiana de la materia orgánica favoreciendo entonces la preservación de la materia orgánica contenida en sedimentos profundos (Jessen et al. 2017). La tendencia a una mayor concentración de materia orgánica a mayor profundidad es opuesta a lo que sucede en sectores con sedimentos gasíferos (Hill et al. 1992). Es decir, cuando se trata de sedimentos gasíferos sucede que el contenido de carbono orgánico antiguo, a profundidad, decae lentamente para producir metano, por lo tanto, al ascender en la columna de sedimentos se observa una mayor preservación de la materia orgánica en el sedimento superficial (Hill et al. 1992). Entonces una vez enterrado este sedimento

produce metano para preservar el carbono fresco depositado en superficie, y así sucesivamente (Hill et al., 1992). Por lo tanto, este hallazgo en el sitio con gas, podría ser un indicio del decaimiento del contenido de materia orgánica producto de su oxidación anaeróbica actual.

Las radiografías de rayos X a testigos han sido útiles para revelar la ocurrencia de cambios granulométricos en la columna de sedimentos en base a diferencias en la atenuación, así como de características de bioturbación y la presencia de burbujas en la Bahía Marennes-Oléron, Francia (Bertin & Chaumillon 2005). En base a la interpretación realizada por Bertin & Chaumillon (2005) se puede inferir que los estratos encontrados en un testigo sin gas corresponderían a sedimentos más finos cuando el estrato presenta una baja atenuación de rayos X (gris claro) y sedimentos más gruesos cuando se observan en tono gris oscuro. Este tipo de evidencia ha sido observado anteriormente en otros sectores del estuario de Bahía Blanca por Farinati et al. (1992). Dichos autores utilizaron el análisis de rayos X de testigos para la evaluación de fósiles de *Tagelus plebeius* en posición de vida en estratos que corresponden a planicies de marea del Holoceno.

Por otro lado, según Bertin & Chaumillon (2005) existe una menor atenuación de los rayos X cuando hay una mayor microporosidad, que no se puede distinguir a ojo desnudo, asociada a la presencia de acumulaciones de gas en los sedimentos. Sin embargo, en este trabajo de Tesis, no se encontraron dichas diferencias en la atenuación de la señal entre sitios. Otra evidencia de la presencia de gas que se observó en análisis de rayos X de testigos en la Bahía Marennes-Olerón (Bertin & Chaumillon 2005), en las Rías Baixas (España, García-Gil 2003) y en la Bahía Chesapeake (Schubel 1974) es la presencia de “huecos”. A diferencia de estos estudios, en este trabajo de Tesis no se encontraron evidencias en forma de “huecos” en los análisis de rayos X. Esto se puede deber al pequeño tamaño de los intersticios del sedimento y por lo tanto de las burbujas.

Existen muchos antecedentes de mediciones de la concentración del gas metano en los sedimentos gasíferos en el mundo. Sin embargo, casi la totalidad de estas estimaciones se han realizado en sitios con escapes de gas de origen

termogénico (Reeburgh 2007, Hamdam & Wickland 2016). Para realizar estas mediciones se han empleado diversas técnicas, que van desde el uso de metodologías convencionales como el empleo de cromatografía gaseosa (CG) y líquida (HPLC) (Reeburgh 2007) hasta mediciones de plumas de gas teñidas con colorante fluorescente en columna de agua a través de buzos y en atmósfera a través de aviones (Leifer et al. 2006). El mayor interés en la estimación de la concentración de gas termogénico reside principalmente en sus importantes aportes a la atmósfera (Kvenvolden & Rogers 2005). Tal es así, que estimaciones recientes de las emisiones totales de metano desde ambientes costeros y estuarinos, cuya principal fuente son los hidratos de metano (Hamdam & Wickland 2016), son de 13 gT CH<sub>4</sub> por año y 7 gT por año respectivamente (Borges et al. 2016). De este modo, el orden de magnitud de la concentración del gas metano biogénico en los sedimentos es mucho menor, estando generalmente expresada en unidades de ppb. Entre los escasos estudios donde se midió el metano biogénico en los sedimentos se puede mencionar aquel realizado por García-Gil (2003). Al igual que en este trabajo de Tesis esta autora realizó una medición cualitativa del gas, aunque utilizando cromatografía gaseosa, y confirmó la presencia de metano asociada a las evidencias sismoacústicas de gas en los sedimentos. En el estuario de Bahía Blanca se puede deducir, por el tamaño del pico observado en el cromatograma, que el gas se encontraría en una concentración ubicada en el rango de las ppb. Por lo tanto, hay que destacar que la metodología desarrollada en esta Tesis puede resultar de utilidad para futuros estudios tanto cualitativos como cuantitativos del metano en los sedimentos. Para la medición de la concentración del metano en futuros estudios utilizando HPLC-*headspace* se debe contar con una columna de metano que sirva de referencia.

Hasta el momento no se habían realizado estudios detallados de las características de los sedimentos superficiales del área de estudio. Sin embargo, en términos generales, estudios previos consideraron predominantes a las fracciones psamíticas en los sedimentos del fondo del área interna del canal principal. Así, se considera que, en el fondo del canal principal, generalmente, la arena es de tipo mediana, con cierto porcentaje de grava (Montesarchio & Lizasoain 1981, Ginsberg 1991, Aliotta et al. 1996). En tanto que en las planicies de marea los sedimentos son de tipo limo areno arcilloso con cierta cohesividad, elevado grado de saturación

hídrica y baja densidad (NEDECO-ARCONSULT 1982). De este modo, las características granulométricas de los sedimentos encontradas en este trabajo de Tesis son similares a las encontradas en estudios previos en las planicies de marea.

Los depósitos de gas somero frecuentemente están asociados a precipitación de cemento carbonático y litificación local del sedimento. La formación de carbonatos derivados de metano fue observada en Dinamarca (Jensen et al. 1992; Jorgensen 1992) a profundidades similares a aquellas en las que fue realizado este estudio. El proceso de formación de carbonatos de metano ocurre en condiciones de oxidación microbiana del metano tanto aeróbicas como anaeróbicas (Jorgensen 1992). Esto produce un aumento de alcalinidad acarreado un  $pCO_2$  excepcionalmente alto en el agua intersticial de los sedimentos gasíferos y esto puede resultar en la precipitación de carbonato (Jorgensen, 1992). En Dinamarca, los sedimentos con gas se caracterizan frecuentemente por la presencia de sustrato duro mientras que en el área de estudio de esta Tesis no se observó la precipitación de carbonato, sino que se encontró que el fango arenoso presentó un menor esfuerzo de corte produciendo una menor cohesividad debido a la presencia de burbujas de gas. Esto también ha sido evidenciado en forma de turbidez acústica en los registros sísmicos y en una menor reflectividad (tono más claro) en los registros de sonar. Este efecto de las burbujas de gas ha sido hipotetizado por Hill et al. (1992) quienes, además, argumentaron que la baja cohesividad de los sedimentos portadores de gas los hace más susceptibles a la re-suspensión. Las condiciones hidrodinámicas elevadas podrían ser las causantes de la ausencia de precipitación de carbonato en el fondo marino del estuario de Bahía Blanca.

### **13. Efectos de los sedimentos gasíferos sobre la comunidad bentónica**

Las medias granulométricas de las muestras de sedimentos mostraron diferencias en la dispersión entre los sitios con gas y control, siendo mayor en el sitio control. Sin embargo, tanto el N-MDS plot como el diagrama de Shepard mostraron que los sedimentos de ambos sitios tuvieron textura similar y pueden ser

caracterizados como fango arenoso. Al igual que en el presente trabajo, los sedimentos gasíferos han sido frecuentemente caracterizados como arcillosos (Judd & Hovland 1992, Magariños-Alvarez et al. 2002, Giagante et al. 2008).

Los sedimentos del sitio con gas tuvieron un mayor contenido de materia orgánica que aquellos del sitio control. Esto también fue observado por Hill et al. (1992) en la Bahía Chesapeake. Los sedimentos gasíferos podrían tener un mayor contenido de materia orgánica debido al uso de carbono del metano como una fuente alternativa para la actividad microbiana, de este modo, reduciendo la disponibilidad de capacidad oxidativa para degradación bacteriana de geopolímeros en los sedimentos (Hill et al. 1992). De este modo, se espera que la comunidad bentónica asociada a los sedimentos gasíferos se encuentre dominada por depositívoros resistentes a condiciones adversas como la falta de estabilidad del sedimento, alto contenido de materia orgánica, así como posiblemente altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno (Hill et al. 1992).

El estuario de Bahía Blanca se caracteriza por una alta diversidad de especies bentónicas contando entre los grupos con mayor riqueza específica a los poliquetos (Elías 1987, 1992, 1995, Elías & Bremec 1994, IADO 2014, 2016). En este trabajo, todo el muestreo totalizó el hallazgo de 97 taxa para el área de estudio. En el mismo sector las comunidades bentónicas fueron estudiadas por última vez hace 30 años por Elías (1987). Si bien en este trabajo se encontraron más taxa que los mencionados por este autor para el mismo sector del estuario, en general, se encontraron las mismas especies caracterizando el área.

Los sedimentos gasíferos mostraron una menor abundancia total de organismos bentónicos y diversidad. Lo que sugiere que el gas en los sedimentos actúa como un agente de disturbio, empobreciendo la comunidad bentónica. Por otro lado, el efecto de las estaciones fue marcado en ambos sitios de estudio, tanto para la abundancia como para la diversidad. Este marcado efecto estacional es

común en los estuarios templados. Como en nuestro estudio, el invierno comúnmente tiene valores mínimos en abundancia y diversidad, mientras que el máximo se encuentra en la primavera luego de la floración del fitoplancton (Chainho et al. 2006, Guinder et al. 2015, Quiroga et al. 2016). Por lo tanto, si bien el gas en los sedimentos genera una disminución en la abundancia y diversidad, estos parámetros se ven más afectados por la estacionalidad.

Por otro lado, las tendencias al comparar los índices de diversidad fueron las mismas entre ambos muestreadores. Tal es así que, en ambos casos la riqueza específica, la abundancia total y la equitatividad fueron mayores en el sitio control que en el sitio con gas con una mayor diferencia entre sitios en primavera que en invierno. La mayoría de los estudios de los efectos de los sedimentos gasíferos sobre el bentos reportan un enriquecimiento en términos de diversidad como resultado de la presencia de carbonatos derivados del metano (Dando & Hovland 1992, Jensen et al. 1992, Dando et al. 1994) o una fauna bentónica dependiente del metano (Dando et al. 1991a, Luth et al. 1999). Sin embargo, en escapes de gas desde un área intermareal de la Bahía Torry, Judd et al. (2002) observaron que los escapes parecen no tener efectos en la composición faunística y la diversidad. La ausencia de patrones de diferenciación en las comunidades bentónicas en sedimentos gasíferos también fue reportada en campos de gas somero del Golfo de Cadiz (Rueda et al. 2012). Por otro lado, empobrecimientos en términos de diversidad se observaron en sedimentos cargados de metano de origen termogénico (Dando et al. 1991, Levin 2005). No existen estudios previos referidos a los efectos ecológicos de los depósitos de gas biogénico en aguas someras sobre las comunidades bentónicas. Aunque los estudios realizados en Dinamarca por Dando et al. (1994) y en Inglaterra por Judd et al. (2002) se realizaron en aguas someras, estos son poco comparables con el presente trabajo debido a que se realizaron en playa e intermareal con escapes de gas y cementación de carbonatos derivada del metano. Por lo tanto, este trabajo de Tesis es el primer antecedente en la temática y, en coincidencia con los otros parámetros, se puede concluir que el gas disminuye la diversidad y la abundancia de las comunidades bentónicas en el área de estudio.



La estructura comunitaria analizada difiere entre sitios con gas y sin gas, así como entre estaciones, siendo más marcada la diferencia entre sitios en invierno. Los sedimentos gasíferos parecen afectar la abundancia total y la biomasa comunitaria, incluso cambiando los patrones de contribución relativa de diferentes taxa a la estructura comunitaria. El sitio con gas tiene menos abundancia total, con ambas metodologías de muestreo, pero más biomasa que el sitio control. La menor riqueza específica en el sitio con gas indicaría la sensibilidad de algunas especies a los sedimentos ricos en sulfuro de hidrógeno que usualmente se encuentran asociados a los depósitos de metano (Meadows et al. 1981) o bien a las características físicas de los sedimentos gasíferos como hábitat.

La dominancia relativa de los grandes taxa entre sitios y estaciones fue semejante independientemente de la metodología de muestreo empleada (rastra o draga). En términos de abundancia en las muestras de draga dominaron los poliquetos en ambos sitios y estaciones. En tanto que, en las muestras de rastra el sitio control estuvo dominado por crustáceos en primavera y poliquetos en invierno, mientras que, el sitio con gas estuvo dominado por poliquetos en ambas estaciones. La mayor representación de crustáceos en las muestras de rastra podría deberse a la mayor efectividad del muestreador para capturar organismos vágiles epibentónicos (Gage 1975).

En términos de biomasa por taxa las muestras de rastra mostraron diferencias entre sitios sólo para la estación primavera. En primavera, en el sitio con gas dominaron los cnidarios y en el sitio control los poliquetos, mientras que en invierno los moluscos fueron el taxón que más aportó a la biomasa en ambos sitios. La diferencia en la biomasa entre ambos sitios se debe principalmente a la presencia de la pluma marina *S. darwini* en el sitio con gas, lo cual fue observado con ambos muestreadores.

Cabe destacar que *Stylatula darwini* fue la especie que exhibió una diferencia más marcada entre los sitios con gas y control. En el sitio con gas fue la principal contribuyente en términos de biomasa, mientras que, se encontró prácticamente ausente en el sitio control. Al igual que con el resto de las especies pertenecientes al orden Pennatulacea (Turner 2014), hay una significativa falta de información en lo referido a sus preferencias de hábitat y distribución. Aunque existen algunos estudios de distribución de *S. darwini* (Bremec 1990, da Silva y Castro 2011) no se han realizado investigaciones hasta la fecha sobre la presencia de esta especie en asociación a los depósitos de gas en los sedimentos (Bravo et al. 2018). La asociación de la pluma de mar a los depósitos de gas en el estuario coincide con hallazgos de organismos pertenecientes al Orden Pennatulacea asociados a hidrocarburos en otros lugares del mundo (Barrie et al. 2011, Bigham 2016, Palomino et al. 2016). Esto indica una preferencia de hábitat de *S. darwini* por los sedimentos cargados de gas. Dado que los sedimentos gasíferos son más susceptibles a resuspensión, quizás esto conlleva una resuspensión de materia orgánica y, por lo tanto, una mayor disponibilidad de alimento para organismos suspensívoros como *S. darwini*. Otra posibilidad sería la exclusión de competidores sensibles a la presencia del gas en los sedimentos.

La comparación de la estructura comunitaria con ambos tipos de muestreadores entre sitios y estaciones utilizando el índice de Sørensen, mostró la misma tendencia que los análisis estructurales de las muestras de draga. Es decir, una marcada diferencia en la estructura comunitaria entre sitios más pronunciada en invierno. A diferencia de lo esperado (Gage 1975), no se encontraron diferencias claras en la representatividad de especies epifaunales y vágiles respecto a las infaunales entre muestreadores. La principal diferencia entre muestreadores fue una menor riqueza y abundancia en todos los grandes taxa en las muestras de rastra. Esto podría deberse a un menor esfuerzo de muestreo comparado con el de draga Van Veen.

En cuanto a las especies más representativas de cada sitio y estación (SIMPER) se hallaron diferencias debido a la presencia de gas y las estaciones. Las principales diferencias se debieron a la dominancia de *Aricidea* sp. en el sitio con gas y de *Polydora cornuta* en el sitio control. La significativa abundancia de *Aricidea* sp. en el sitio con gas podría estar indicando la tolerancia de esta especie a los hidrocarburos presentes en los sedimentos. Aunque los poliquetos de la familia Paraonidae no han recibido mucha atención como bioindicadores (Dean, 2008) a menudo se los encontró asociados con filtraciones de hidrocarburos naturales (Levin 2005, Washburn et al., 2016).

Por otro lado, se ha reportado al poliqueto *P. cornuta* como especie invasora en muchas regiones del mundo, siendo principalmente introducida accidentalmente por medio del agua de lastre en el transporte marítimo (Bertasi 2016). Pese a que se considera parte de la poliquetofauna de Argentina (Elías com. pers.), hasta la actualidad, esta especie exótica potencialmente invasora no había sido citada en el estuario de Bahía Blanca. *Polydora cornuta* es considerada una especie oportunista con tolerancia a un amplio rango de salinidad y temperatura, al mismo tiempo que posee características que le permiten colonizar rápidamente áreas disturbadas tales como: maduración temprana y alta producción de larvas (Bertasi 2016, Bumber & Rocha 2016). *Polydora cornuta* se ha correlacionado positivamente con temperaturas bajas en el Mar de Mármara (Karhan et al., 2008). Esto es coincidente con el hecho de que en el área de estudio esta especie se encontró en mayores abundancias durante el invierno. Aunque se trata de una especie oportunista, en el sitio con gas, que presenta salinidad y textura de los sedimentos apropiadas para las preferencias de *P. cornuta*, esta especie se encontró en baja abundancia. Tomando esto en cuenta, junto con los resultados del N-MDS, se puede inferir una sensibilidad de esta especie a la presencia de gas.

Una situación similar a la de *Polydora cornuta* es la del anfípodo invasor *Monocorophium insidiosum* que fue más abundante en el sitio control que en el sitio con gas. Judd et al. (2002) también encontraron una disminución en la abundancia

de un anfípodo perteneciente a la familia Corophiidae en un sitio con escapes de gas en el intermareal de Bahía Torry. Estos autores adjudicaron la menor abundancia de esta especie en sitios con escapes de gas a una sensibilidad del anfípodo a los sedimentos ricos en sulfuro de hidrógeno. Esta explicación también podría ajustarse a los resultados obtenidos en este estudio en relación a la menor abundancia de *M. insidiosum* indicando una sensibilidad de este anfípodo a los sedimentos ricos en sulfuro de hidrógeno (Meadows et al., 1981).

Es posible identificar cuatro grupos con diferentes asociaciones de especies. El grupo asociado a sedimentos gasíferos en invierno está caracterizado por *S. darwini*, *Aricidea* sp., un poliqueto de la familia Paraonidae y un nematode indeterminado. Existen registros de nematodes asociados con sedimentos gasíferos que utilizan el carbono del metano como fuente de energía en las costas del Mar Báltico (Jensen et al., 1992). La alta abundancia de este taxón en el sitio con gas, en el estuario de Bahía Blanca, podría indicar la obtención de un beneficio del gas atrapado en los sedimentos. Por otro lado, el grupo gas - primavera estuvo dominado por *Leodamas verax*, un cirratúlido indeterminado y un anfípodo de la familia Phoxocephalidae. Elías (1987) describió a *L. verax* en el estuario de Bahía Blanca como un poliqueto depositívoro no selectivo, dominante en la zona mixohalina y con mayor afinidad por los sedimentos fango arenosos de la zona interna. Este grupo de poliquetos a menudo se encuentra en asociación con ambientes enriquecidos con materia orgánica (Elías 1987). Esta especie parece tener más capacidad para competir con otros organismos depositívoros en el sitio con gas o incluso beneficiarse por la alta disponibilidad de materia orgánica, logrando un mayor dominio en abundancia. Todas las especies incluidas en los grupos del sitio con gas han sido mencionadas por otros autores como especies oportunistas (Elías 1987, Alonso de Pina et al. 2008). Por otro lado, el grupo control - invierno estuvo dominado por *Laeonereis acuta* y *Polydora cornuta*, mientras que aquel correspondiente a control - primavera estuvo dominado por *Monocorophium insidiosum*, *Aphelochaeta* sp. y *Terebellides totae*. Esto podría estar indicando una sensibilidad de estos taxa a la presencia de gas en los sedimentos.

Los resultados del *Envfit* y el PERMANOVA indican que la textura de los sedimentos tiene un efecto débil al explicar las diferencias en la estructura de la comunidad en comparación con la presencia de gas, las estaciones y la materia orgánica. Por lo tanto, es importante destacar que, si bien la granulometría de los sedimentos explicaría las distribuciones de las comunidades bentónicas a una escala de zonas del estuario de Bahía Blanca (Elías 1987), no es el factor determinante de las diferencias a una escala menor (entre sitios de muestreo). La presencia de burbujas de gas que confiere una menor cohesividad a los sedimentos genera restricciones para la distribución de algunos taxa y favorece a otros en forma directa o indirecta. Hill et al. (1992) plantearon la hipótesis de que los sedimentos gasíferos actúan como sustrato y hábitat hostil para el asentamiento de organismos sésiles y cavadores. Este tipo de hábitat es similar al generado por altas densidades de bioturbadores (Levinton 1995). En ambos casos generaría la exclusión de grupos funcionales que no presentan adaptaciones para sobrevivir en las condiciones de sedimentos acuosos e inestables.

El contenido de materia orgánica de los sedimentos fue una variable significativa para explicar las diferencias en los patrones comunitarios entre estaciones y sitios (*Envfit*). El vector se encuentra dirigido hacia las muestras con gas, lo que podría explicarse por el mayor contenido de materia orgánica en el sitio con gas en ambas estaciones. Por otro lado, la dirección del vector también está parcialmente asociada con la separación de los grupos por estaciones y esto podría deberse a la mayor concentración de materia orgánica en los sedimentos en primavera que en invierno. Es importante destacar que un alto contenido de materia orgánica actúa como un agente de disturbio *per se*, por lo que, esto podría explicar las diferencias observadas entre sitios.

Aunque la diversidad es similar comparando entre sitios con gas y control, la estructura taxonómica es marcadamente diferente. Los depósitos de gas en contacto con la superficie del fondo marino actuarían como un hábitat hostil para los organismos bentónicos infaunales caracterizados por baja estabilidad y

cohesividad, así como por un alto contenido de materia orgánica. El sitio con gas se caracteriza por estar habitado por especies oportunistas, así como por algunos taxa que podrían estar obteniendo un beneficio energético del carbono del metano. Resultaría a su vez un tipo de hábitat excluyente para especies sensibles comunes en el área de estudio.

Los organismos encontrados en el área de estudio de esta Tesis son principalmente depositívoros, caracterizándose el sitio con gas por presentar organismos depositívoros sub-superficiales, mientras que, en el sitio control los organismos fueron principalmente depositívoros superficiales. En invierno los omnívoros fueron relativamente abundantes, principalmente en el sitio control. En primavera omnívoros y depositívoros superficiales fueron abundantes en los sedimentos gasíferos mientras que en el sitio control lo fueron los depositívoros sub-superficiales. Estas diferencias en la estructura trófica marcadas tanto entre sitios como entre estaciones están directamente relacionadas con los cambios de estructura taxonómica. A diferencia de lo esperado (Levin et al. 2017), los bacterívoros fueron más abundantes en el sitio control. En términos generales, la diversidad de gremios tróficos fue mayor en el sitio con gas que en el sitio control. Por lo tanto, se puede inferir que el gas en los sedimentos genera modificaciones en la estructura trófica del bentos en el estuario.

En la Bahía Torry (Escocia) Judd et al. (2002) encontraron que *Eteone longa*, *Mysta picta*, *Polydora ciliata*, *Capitella capitata*, *Littorina obtusata* caracterizaron el sitio con gas mientras que *Hediste diversicolor*, *Littorina littorea*, *Hydrobia* sp. y *Corophium volutator* sólo se encontraron en el sitio control. Si bien estos autores no analizaron las características biológicas de estos taxa, en esta Tesis, al realizar un análisis bibliográfico del modo de alimentación de los mismos (Geiselman & McConnell 1981, Watson & Norton 1987, Hagerthey et al. 2002, Faulwatter et al. 2014) se encontró que en el sitio con gas principalmente son predadores seguidos por depositívoros sub-superficiales y herbívoros, mientras que, aquellos del sitio control presentan mayormente hábitos alimenticios omnívoros seguidos por

depositívoro superficial, suspensívoro, herbívoro y omnívoro. Es importante notar que, Judd et al. (2002) concluyeron que la estructura taxonómica no fue afectada por el gas en los sedimentos, pero el análisis de sus dietas realizado en esta Tesis demuestra marcadas diferencias en la estructura trófica debidas al gas. Esto coincide con los hallazgos de este trabajo de Tesis, al mismo tiempo que resalta la importancia del análisis de ecología funcional.

Tanto los modos de vida, como el grado de calcificación presentaron una mayor diversidad en primavera que en invierno, principalmente en el sitio con gas. Esto también está relacionado a una mayor diversidad taxonómica en primavera. Por otro lado, la motilidad y el tamaño corporal no mostraron cambios debido a la estacionalidad.

El tamaño corporal de los organismos macrobentónicos del área de estudio varió de pequeño a mediano. Según algunos autores la distribución del tamaño corporal de los organismos bentónicos está principalmente determinada por la energía hidrodinámica y el contenido de materia orgánica (McLachlan & Dorvlo 2007, Defeo & McLachlan 2011, 2013, MacDonald et al. 2012, Losi et al. 2013, Donadi et al. 2015). Según Donadi et al. (2015) el tamaño corporal de la macrofauna bentónica disminuye en función de la disminución del estrés hidrodinámico. Es decir que en ambientes con menor intensidad de corrientes los organismos bentónicos serían principalmente de tamaño corporal pequeño. Esto estaría relacionado con la capacidad de re-suspensión de los pequeños organismos que tendrían los ambientes de mayor energía (Bouma et al. 2001). A su vez, se considera que el menor tamaño corporal está asociado a ciclos de vida cortos permitiendo una recolonización más rápida de ambientes disturbados, promoviendo una mayor resiliencia (Piló et al. 2016). En el estuario de Bahía Blanca se encuentra la misma tendencia que, a su vez, está asociada a la granulometría de los sedimentos, encontrándose organismos de mayor tamaño en la zona externa que en la zona interna (obs. pers.). Cabe destacar que el principal contribuyente a la clase de tamaño corporal grande fue *S. darwini* en el sitio con gas, lo que resulta opuesto a lo

esperado para un ambiente disturbado. Esto podría indicar un beneficio obtenido por *S. darwini* de la presencia del gas en los sedimentos, debido a su ausencia en el sitio control y a que se trata de una especie suspensívora, hábito alimenticio que suele asociarse a altas concentraciones de materia orgánica en los sedimentos (Donadi et al. 2015).

En relación a la motilidad, en este estudio los organismos móviles se distribuyeron en forma diferencial, estando más representados en el sitio con gas. Una mayor motilidad en organismos asociados a ambientes disturbados puede resultar ventajosa para evadir el disturbio físico (Hinchey et al. 2006). Por otro lado, presentar una alta movilidad puede beneficiar a especies que dependen de fuentes de alimento quimiosintéticas, ya que les permitiría responder a los cambios en la productividad microbiana inducidos por las variaciones de los escapes de gas (Levin et al. 2017). Por otra parte, la mayor abundancia de organismos móviles en el sitio con gas podría ser ventajosa dada la inestabilidad de los sedimentos gasíferos, lo que resultaría un sustrato inadecuado para el asentamiento de organismos sésiles. De este modo, los organismos asociados a sedimentos gasíferos en el estuario de Bahía Blanca presentaron niveles de motilidad similares a aquellos encontrados en ambientes enriquecidos con materia orgánica (Piló et al. 2016) y sometidos a escapes de gas metano (Levin et al. 2017).

Al igual que en el trabajo de Levin et al. (2017) en este trabajo se encontró un mayor grado de calcificación en los organismos asociados a sedimentos gasíferos. Según estos autores la oxidación del metano asociada a los escapes de gas genera las condiciones químicas favorables para la precipitación de carbonato tanto autigénico como biogénico. Además, Levin et al. (2017) proponen que los sedimentos gasíferos generan una alta disponibilidad de alimento para los gasterópodos en la forma de producción microbiana. Esto podría explicar la mayor calcificación observada en los invertebrados bentónicos en el sitio con gas respecto a aquellos del sitio control en el estuario de Bahía Blanca.



El sitio con gas, en el estuario de Bahía Blanca, se caracterizó por presentar organismos bentónicos depositívoros sub-superficiales, cavadores, móviles a discretamente móviles, pequeños a medianos con una tendencia a un mayor grado de calcificación. Mientras que, en el sitio control los organismos fueron principalmente depositívoros superficiales, pequeños a medianos con menor grado de calcificación. Por lo tanto, se puede inferir que el gas en los sedimentos genera modificaciones en el modo de alimentación, el modo de vida, el tamaño corporal, la motilidad y el grado de calcificación de los organismos, afectando entonces, la diversidad funcional de la comunidad bentónica de macroinvertebrados del estuario de Bahía Blanca. El gas en los sedimentos del estuario generaría un aumento de roles ecológicos en la comunidad bentónica. Esto a su vez, indica que los resultados del análisis de ecología funcional están en consonancia con aquellos obtenidos en base al análisis taxonómico. Este es el primer estudio de los efectos del gas somero biogénico sobre la ecología funcional de las comunidades bentónicas. Los resultados son similares a aquellos obtenidos en áreas de escapes de metano asociadas a hidratos de metano en mar profundo (Levin et al. 2017).

A pesar de que el análisis de las características biológicas en ecología marina es una línea de investigación que presenta un creciente interés en el mundo (Beauchard et al. 2017), a nivel local no está desarrollado. Este estudio aporta los primeros resultados en este sentido que permiten inferir que la aplicación de este tipo de análisis es de utilidad para evaluar los efectos de diferentes tipos de disturbio a los que se encuentran sometidas las comunidades bentónicas del estuario. Del mismo modo que resultaron útiles para complementar el análisis taxonómico de los efectos de los sedimentos gasíferos sobre los macroinvertebrados bentónicos. El enriquecimiento con materia orgánica de los sedimentos ha sido señalado como uno de los principales factores que contribuyen a los cambios en la funcionalidad ecológica, principalmente en términos de tipo de dieta, así como de la relativa dominancia de especies oportunistas (Piló et al. 2016). De acuerdo con esto, en el presente trabajo las principales diferencias se encontraron en el tipo de dieta y también en el nivel de movilidad que fue mayor en el sitio con gas. Entonces las condiciones de baja estabilidad del sedimento y la alta concentración de materia

orgánica podrían ser los factores que explican los cambios funcionales observados en las comunidades bentónicas del estuario.

# CAPÍTULO V

## 14. Conclusiones

Como conclusión del presente trabajo de Tesis se describen a continuación las respuestas obtenidas para cada objetivo planteado.

- El relevamiento y mapeo de distribución areal de los reservorios gasíferos, permitió establecer que los mismos se hallan ampliamente distribuidos en el estuario y se encuentran cerca o incluso en contacto con la superficie del fondo marino de la zona interna del estuario de Bahía Blanca, principalmente, en cercanías del complejo portuario White-Galván. Los principales tipos de evidencias sismoacústicas de la presencia de gas fueron turbidez acústica y apantallamiento acústico. Considerando la columna estratigráfica de la región costera marina del estuario de Bahía Blanca, se concluye que la acumulación gasífera considerada se corresponde a un depósito del Holoceno Medio (4000-5000 años AP).
- La caracterización sedimentológica de los materiales del fondo marino en ambos sitios permitió inferir que los mismos sólo difirieron en la presencia de hidrocarburos. Los efectos de la presencia del gas en los sedimentos se evidenciaron tanto macroscópicamente en la menor cohesividad de los mismos como en un mayor contenido de materia orgánica. Mientras que, en términos granulométricos ambos ambientes sedimentológicos fueron equivalentes, caracterizados como fango arenoso. En particular, las fracciones más representadas fueron: limo arcilloso, limo arcillo arenoso y limo arenoso.
- Al evaluar los sonogramas se pudo determinar que el fondo marino del área de estudio presenta características geomorfológicas típicas de los canales de marea del estuario, pero con un marcado disturbio antropogénico. Esto se evidenció principalmente en las marcas de dragado y en segundo lugar en marcas que evidencian las actividades pesqueras.

- Se encontraron diferencias debido a la presencia de gas en los sedimentos al comparar estructura, diversidad, abundancia, biomasa y funcionalidad ecológica de las comunidades bentónicas submareales. La comunidad bentónica asociada a sedimentos gasíferos se caracterizó por la presencia de especies oportunistas y la exclusión de especies comunes en el área de estudio, presentando en consecuencia una estructura taxonómica particular. Esto a su vez se vio reflejado en una funcionalidad ecológica diferente del bentos asociado a los depósitos de gas, lo que se traduciría en un efecto ecosistémico de la presencia del gas en la superficie del fondo marino. En términos de diversidad se encontraron valores similares entre sitios, pero la riqueza específica fue menor en el sitio con gas. Tanto los análisis de biomasa como los de abundancia permiten concluir que la pluma de mar *Stylatula darwini* tiene una marcada dominancia en el sitio con gas que podría indicar una preferencia de esta especie por las características de los sedimentos gasíferos como hábitat.

Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos se puede aceptar la hipótesis de trabajo planteada: *“dentro del estuario de Bahía Blanca las concentraciones superficiales de gas metano afectan la estructura y diversidad de las comunidades bentónicas marinas”*.

En cuanto a las predicciones se puede confirmar en base a los resultados que se cumplió la siguiente: *“Sectores con iguales características ambientales, sedimentológicas e hidrológicas, que difieren en la presencia/ausencia de depósitos de gas somero presentarán diferencias en sus descriptores biológicos, así como también en su composición específica y función ecológica”*.

En cuanto a la predicción *“El gas metano disuelto en los sedimentos representa una fuente alternativa de carbono orgánico que propicia la abundancia de aquellos organismos capaces de utilizarla”* se puede aceptar parcialmente en base a los resultados obtenidos, ya que, para confirmar fehacientemente la misma se deberían

realizar comparaciones de mediciones de isótopos estables de C y N entre ambos sitios.

La predicción *“La toxicidad resultante de los gases asociados a estos depósitos de hidrocarburos en la superficie del fondo marino puede extinguir localmente a las especies sensibles”* se puede aceptar parcialmente en base a los resultados obtenidos, ya que, para confirmar fehacientemente la misma se deberían realizar experimentos ecotoxicológicos.

Por último, no se cumplió la predicción *“La presencia de metano en los sedimentos del fondo marino puede generar la formación de carbonatos derivados del metano o bien la disminución de la cohesividad de los sedimentos. De esta manera, el gas generaría un sustrato diferente para los organismos bentónicos, favoreciendo el asentamiento de organismos sésiles en el caso de presencia de carbonatos derivados del metano o bien limitando el asentamiento de organismos bentónicos infaunales en caso de disminuir la cohesividad de los sedimentos”* ya que, no se observaron carbonatos derivados del metano en los sedimentos del fondo marino.

A modo de conclusión general se puede decir que la presencia de gas en los sedimentos del fondo marino genera una hostilidad ambiental que se refleja en una comunidad bentónica con estructura taxonómica y funcional particular, empobrecida en términos de diversidad y abundancia, tanto en primavera como en invierno. De esta forma, y teniendo en cuenta su amplia distribución global, se sugiere que la presencia de gas en la superficie del fondo marino debe tenerse en cuenta como un factor modelador de hábitat a la hora de realizar estudios de ecología bentónica.

## 15. Bibliografía

- Aliotta, S., & Farinati, E. 1990. Stratigraphy of Holocene sand-shell ridges in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Geology*, 94(4), 353-360.
- Aliotta, S., Giagante, D.A., Ginsberg, S.S., Vecchi, L.G., Luna, N., Minor Salvatierra, M., 2011. Distribución de Sedimentos Gasíferos ("Shallow Gas") en el subsuelo marino de la región costera del sur de la Provincia de Buenos Aires. XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, Argentina, pp. 248-249.
- Aliotta, S., Ginsberg, S.S., Giagante, D., Vecchi, L., 2009. Acumulaciones gasíferas someras en sedimentos del subsuelo marino del estuario de Bahía Blanca (Argentina): consideraciones sismoestratigráficas y paleoambientales. V Congreso Latinoamericano de Sedimentología y I Congreso Venezolano de Geocientíficos del Petróleo. Puerto La Cruz, Venezuela, pp. 17-18.
- Aliotta, S. Ginsberg, S., Spagnuolo, J. Farinati, E., Giagante, D., Vecchi, L., 2013. Late Quaternary in a South Atlantic estuarine system: Stratigraphic and paleontologic indicators of coastal evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, 45, 194-208.
- Aliotta, S. & Lizasoain, G. 2004. Tipos de fondos y su caracterización geológica por métodos sismoacústicos. *Ecosistema del estuario de Bahía Blanca*. Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 51-59.
- Aliotta, S., Lizasoain, G. & Ginsberg, S. 2002. Hallazgo de acumulaciones de gas con sísmica de alta resolución en sedimentos del estuario de Bahía Blanca, Argentina. XV Congreso Geológico Argentino. El Calafate, Argentina, pp. 315-318.
- Aliotta, S., Lizasoain, G.O. & Ginsberg, S.S. 2004. Dinámica sedimentaria y evolución morfológica de un profundo canal del estuario de Bahía Blanca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(1), 14-28.

- Aliotta, S., Lizasoain, G., & Lizasoain, W. 1996. Facies fluvio-estuarina en el subsuelo del canal de acceso al Puerto de Ingeniero White, Bahía Blanca. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 3(2), 43-53.
- Aliotta, S. & Perillo, G.M.E. 1987. A sand wave field in the entrance to Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Geology*, 76:1-14.
- Aliotta, S., Lizasoain, G.O., & Lizasoain, W. 1992. Sedimentos subsuperficiales entre Puerto Galván e Ing. White, canal principal del estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Actas III Jornadas Geológicas Bonaerenses*, 1, 213-217.
- Aliotta, S., Spagnuolo, J.O., & Farinati, E.A. 2003. Evidencias geológicas del proceso transgresivo-regresivo holoceno en la entrada del estuario de Bahía Blanca, Argentina. In *Congresso do Associação Brasileira do Estudos do Quaternario* (Vol. 9), p. 1-5.
- Aliotta, S., Spagnuolo, J.O. & Farinati, E.A. 2006. Evaluación de parámetros tafonómicos y sedimentológicos asociados al proceso marino transgresivo-regresivo Holoceno, estuario de Bahía Blanca. *Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Argentina*, p. 239.
- Aliotta, S., Spagnuolo, J.O., Ginsberg, S.S., & Gelós, E.M. 1999. Sedimentos de fondo-subfondo y aspectos geomorfológicos de la plataforma continental entre el estuario de Bahía Blanca y bahía Anegada, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 6(1-2), 19-35.
- Aliotta, S., Spagnuolo, J.O., Ginsberg, S.S., & Minor-Salvatierra, M., 2014. Morfosedimentología del fondo marino en el sector de entrada al estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Geoacta*, 39, 85-98.



- Aliotta, S., Schnack, E.J., Isla, F.I., & Lizasoain, G.O. 2000. Desarrollo secuencial de formas de fondo en un régimen macromareal. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 7(1-2), 0-0.
- Alonso de Pina G.M., Rauschert M. & de Broyer C. 2008. A catalogue of the Antarctic and sub-Antarctic Phoxocephalidae (Crustacea:Amphipoda: Gammaridea) with taxonomic, distribution and ecological data. *Zootaxa* 1752: 1-40.
- Andreoli, A. 2018. Análisis de los rasgos morfosedimentológicos de fondo en un sector de la Plataforma Continental al sur de la provincia de Buenos Aires. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Sur.
- Appeltans, W., Ahyong, S. T., Anderson, G., Angel, M. V., Artois, T., Bailly, N., Bamber R., Barber A., Bartsch I., Berta A., Błazewicz-Paszkwycz M., Bock P., Boxshall G., Boyko C. B., Nunes Brandao S., Bray R. A., Bruce, N.L., Cairns, S.D., Chan, T.Y., Cheng, L., Collins, A.G., Cribb, T., Curini-Galletti, M., Dahdouh-Guebas, F., Davie, P.J.F., Dawson, M.N., De Clerck, O., Decock, W., De Grave, S., de Voogd, N.J., Domning, D.P., Emig, C.C., Erséus, C., Eschmeyer, W., Fauchald, K., Fautin, D.G., Feist, S.W., Franssen, C.H.J.M., Furuya, H., Garcia-Alvarez, O., Gerken, S., Gibson, D., Gittenberger, A., Gofas, S., Gómez-Daglio, L., Gordon, D.P., Guiry, M.D., Hernandez, F., Hoeksema, B.W., Hopcroft, R.R., Jaume, D., Kirk, P., Koedam, N., Koenemann, S., Kolb, J.B., Kristensen, R.M., Kroh, A., Lambert, G., Lazarus, D.B., Lemaitre, R., Longshaw, M., Lowry, J., Macpherson, E., Madin, L.P., Mah, C., Mapstone, G., McLaughlin, P.A., Mees, J., Meland, K., Messing, C.G., Mills, C.E., Molodtsova, T.N., Mooi, R., Neuhaus, B., Ng, P.K.L., Nielsen, C., Norenburg, J., Opresko, D.M., Osawa, M., Paulay, G., Perrin, W., Pilger, J.F., Poore, G.C.B., Pugh, P., Read, G.B., Reimer, J.D., Rius, M., Rocha, R.M., Saiz-Salinas, J.I., Scarabino, V., Schierwater, B., Schmidt-Rhaesa, A., Schnabel, K.E., Schotte, M., Schuchert, P., Schwabe, E., Segers, H., Self-Sullivan, C., Shenkar, N., Siegel, V., Sterrer, W., Stöhr, S., Swalla, B., Tasker, M.L., Thuesen, E.V., Timm, T., Todaro, M.A., Turon, X., Tyler, S., Uetz, P., van der Land, J., Vanhoorne, B., van Ofwegen, L.P., van Soest, R.W.M., Vanaverbeke, J., Walker-Smith G., Walter, T.C., Warren, A.,

- Williams, G.C., Wilson, S.P. & Costello, M.C. 2012. The magnitude of global marine species diversity. *Current Biology*, 22(23), 2189-2202.
- Åström, E.K., Carroll, M.L., Ambrose, W.G., Sen, Silyakova, A. & Carroll, J. 2017. Methane cold seeps as biological oases in the high-Arctic deep sea. *Limnology and Oceanography*.
- Baptista Neto, J.A., Silva, M.A.M., Figueiredo Jr., A.G. 1996. Sísmica de alta frecuencia e o padrao de distribuição de sedimentos na Enseada de Jurujuba (Baía de Guanabara) - RJ/Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica* 14 (1), 51-57.
- Barrie, J. V., Cook, S., & Conway, K. W. 2011. Cold seeps and benthic habitat on the Pacific margin of Canada. *Continental Shelf Research*, 31(2), S85-S92.
- Bastida, R. 1971. Las incrustaciones biológicas en el puerto de Mar del Plata, Período 1966/1967. *Revista del Museo de Ciencias Naturales. " Bernardino Rivadavia", Hidrobiología*, 3(2), 203-285.
- Bastida, R., L'Hoste, S., Spivak, E. & Adabbo, H. 1977. Las incrustaciones biológicas de Puerto Belgrano. I. Estudio de la fijación sobre paneles mensuales, período 1971/72. *Corrosión y Protección*, 8(11).
- Bastida, R. & Lichtschein de Bastida, V. 1978. Las incrustaciones biológicas de Puerto Belgrano. III. Estudio de los procesos de epibiosis registrados sobre paneles acumulativos. *CIDEPINT Anales, Serie II*, 368, 57-97.
- Beaman, R.J. & Harris, P.J. 2007. Geophysical variables as predictors of megabenthos assemblages from the northern Great Barrier Reef, Australia. *Geological Association of Canada*.
- Beauchard, O., Veríssimo, H., Queirós, A. M. & Herman, P.M.J. 2017. The use of multiple biological traits in marine community ecology and its potential in ecological indicator development. *Ecological indicators*, 76, 81-96.

- Bertasi, F. 2016. The occurrence of the alien species *Polydora cornuta* Bosc, 1802 (Polychaeta: Spionidae) in North Adriatic lagoons: an overlooked presence. *Italian Journal of Zoology*, 83(1), 77-88.
- Bertin, X. & Chaumillon, E. 2005. New insights in shallow gas generation from very high resolution seismic and bathymetric surveys in the Marennes-Oleron Bay, France. *Marine Geophysical Researches*, 26(2-4), 225-233.
- Bigham, K. 2016. Interpretation of the relationship between benthic fauna, geologic distributions, and methane seeps at Southern Hydrate Ridge, Oregon continental margin. *American Geophysical Union*, #OS41B-1961.
- Bøe, R., Rise, L., & Ottesen, D. 1998. Elongate depressions on the southern slope of the Norwegian Trench (Skagerrak): morphology and evolution. *Marine Geology*, 146(1-4), 191-203.
- Bonada, N., Doledec, S., & Statzner, B. 2007. Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: implications for future climatic scenarios. *Global Change Biology*, 13(8), 1658-1671.
- Borges, A.V., Champenois, W., Gypens, N., Delille, B., & Harlay, J. 2016. Massive marine methane emissions from near-shore shallow coastal areas. *Scientific reports*, 6, 27908.
- Botto F., Iribarne O.O., Martínez, M.M., Delhey, K. & Carrete M. 1998. The effect of migratory shorebirds on the benthic species of three southwestern Atlantic Argentinean estuaries. *Estuaries* 21:700–709
- Boschi, E. E., & Cousseau, M. B. 2004. *La vida entre mareas: vegetales y animales de la Costas de Mar del Plata*, INIDEP, Argentina. 383 p.

- Boschi, E.E., Fischbach, C.E., & Iorio, M.I., 1992. Catálogo ilustrado de los crustáceos estomatópodos y decápodos marinos de Argentina. *Frente Marítimo*, 10, 7–94.
- Bouma H., Duiker J.M.C., de Vries P.P., Herman P.M.J., Wolff W.J. 2001. Spatial pattern of early recruitment of *Macoma balthica* (L.) and *Cerastoderma edule* (L.) in relation to sediment dynamics on a highly dynamic intertidal sandflat. *Journal of Sea Research* 45:79–93.
- Bravo, M. E., Aliotta, S., Fiori, S., & Ginsberg, S. 2018. Distribution, vertical position and ecological implications of shallow gas in Bahía Blanca estuary (Argentina). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 202, 222-231.
- Bremec, C.S. 1990. Macrobentos del área de Bahía Blanca (Argentina). Inventario faunístico. *Revista Investigación Marina Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas*, 4, 175-190.
- Bremec, C. S., & Elias, R. 1999. Species of Terebellides from South Atlantic waters off Argentina and Brazil (Polychaeta: Trichobranchidae). *Ophelia*, 51(3), 177-186.
- Bremner, J., Rogers, S.I., & Frid, C.L.J. 2003. Assessing functional diversity in marine benthic ecosystems: a comparison of approaches. *Marine Ecology Progress Series*, 254, 11-25.
- Brown, C.J., & Collier, J.S. 2008. Mapping benthic habitat in regions of gradational substrata: an automated approach utilising geophysical, geological, and biological relationships. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78(1), 203-214.
- Bujalesky, G., Aliotta, S., & Isla, F. 2004. Facies del subfondo del canal Beagle, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(1), 29-37.
- Calcagno, J.A. 2014. Los invertebrados marinos. 1ª ed, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 354 p.

- Carriquiriborde, L., Borzone, C.A., Lizarralde, Z., Pombo, A., Martinez, R & Ichazo, M. 1982. Aspectos biocenológicos del Golfo Nuevo (Chubut, Argentina). VIII Simposio sobre Oceanografía Biológica, Montevideo, 8-11 diciembre, Uruguay, 14 pp.
- Cayocca, F., Cochonat, P., Bourillet, J.F., & Quéméneur, P. 1999. Submarine slope failure in a fluid migration environment offshore Gabon. In The Ninth International Offshore and Polar Engineering Conference. International Society of Offshore and Polar Engineers.
- Chainho, P., Costa, J.L., Chaves, M.L., Lane, M.F., Dauer, D.M., & Costa, M. J. 2006. Seasonal and spatial patterns of distribution of subtidal benthic invertebrate communities in the Mondego River, Portugal—a poikilohaline estuary. In Marine Biodiversity (pp. 59-74). Springer, Dordrecht.
- Clarke, K. R., & Gorley, R. N. 2006. Primer. Primer-E, Plymouth.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. 2001. Change in marine communities. An approach to statistical analysis and interpretation. Primer-E, Plymouth.
- Claypool, G.E. & I.R. Kaplan. 1974. The origin and distribution of methane in marine sediments. Natural gases in marine sediments: New York, Plenum Press. 99-139
- Cooper, K.M., Froján, C.R.B., Defew, E., Curtis, M., Fleddum, A., Brooks, L., & Paterson, D.M. 2008. Assessment of ecosystem function following marine aggregate dredging. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366(1-2), 82-91.
- Costa, E.A., & Figueiredo, A.G., 1998. Echo-character and sedimentary processes on the amazon continental shelf. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 70 (2), 87-200.

- Dando, P.R., 2010. Biological communities at marine shallow-water vent and seep sites. En: Kiel, S. (Ed.), *The Vent and Seep Biota*, Topics in Geobiology. Springer, Netherlands, pp. 333-378.
- Dando, P.R., Fenchel, T., O'Hara, S.C.M., Niven, S.J. & Schuster, U., 1991. Ecology of gassy, organic-rich sediment in a shallow subtidal area on the Kattegat coast of Denmark. *Marine Ecology Progress Series*, 100, 265-271.
- Dando, P.R., Jensen, P., O'Hara, S.C.M., Niven, S.J., Schmaljohann, R., Schuster, U. & Taylor, L. J., 1994. The effect of methane seepage at an intertidal/shallow subtidal site on the shore of the Kattegat, Vendsyssel, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 41, 65-79.
- Dando, P.R., & Hovland, M. 1992. Environmental effects of submarine seeping natural gas. *Continental Shelf Research*, 12(10), 1197-1207.
- da Silva, C.C., & de Castro, G.A. 2011. Nova ocorrência de *Stylatula darwinii* Kölliker, 1870 (Octocorallia, Virgulariidae) para o litoral sudeste do Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar*, 44(1).
- Davis, A.M. 1992. Shallow gas: an overview. *Continental Shelf Research*, 12(10):1077-1079.
- Dean, H.K. 2008. The use of polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review. *International Journal of Tropical Biology and Conservation* 56, 11-38.
- Defeo, O., & McLachlan, A. 2011. Coupling between macrofauna community structure and beach type: a deconstructive meta-analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 433, 29-41.
- Defeo, O., & McLachlan, A. 2013. Global patterns in sandy beach macrofauna: Species richness, abundance, biomass and body size. *Geomorphology*, 199, 106-114.

- Deming, D. 2004. 'Can a Single Bubble Sink a Ship?'. *Journal of Scientific Exploration*, 18(2), 307-312.
- Discroll N & E. Uchupi. 1997. The importance of gas and groundwater seepage in landscape and seascape evolution. *Thalassas*, 13: 355-448.
- Donadi, S., Eriksson, B. K., Lettmann, K. A., Hodapp, D., Wolff, J. O., & Hillebrand, H. 2015. The body-size structure of macrobenthos changes predictably along gradients of hydrodynamic stress and organic enrichment. *Marine Biology*, 162(3), 675-685
- Elias, R. 1985. Macrobentos del estuario de la Bahía Blanca (Argentina) I. Mesolitoral. *Spheniscus* 1: 1-33
- Elías, R. 1987. Estudio inventarial y ecológico del macrobentos de la Bahía Blanca. Tesis, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, La Plata, Argentina, no publicado.
- Elías, R. 1992. Quantitative Benthic Community Structure in Blanca Bay and Its Relationship with Organic Enrichment. *Marine Ecology*, 13, 189-201.
- Elías, R. 1995. The subtidal macroinfauna from soft-bottom substrate of the Blanca Bay (Argentina). *Thalassas*, 11, 73-86.
- Elías, R. & Bremec, C.S. 1994. Biomonitoring of water quality using benthic communities in Blanca Bay (Argentina). *The Science of the Total Environment*, 158, 45-49.

- Elías, R., & Ieno, E. 1993. La asociación de *Laeonereis acuta* Treadwell, 1923 (Polychaeta, Nereididae) en la Bahía Blanca, Argentina. *Iheringia Série Zoologia*, 75, 3-13.
- Elías, R., & Rivero, M.S. 2009. Two new species of Cirratulidae (Annelida: Polychaeta) from Mar del Plata, Argentina (SW Atlantic). *Zoosymposia*, 2(1), 139-148.
- Emeis, K.C., Brüchert, V., Currie, B., Endler, R., Ferdelman, T., Kiessling, A., Leipe, T., Noli-Peard, K., Struckd, U. & Vogt, T. 2004. Shallow gas in shelf sediments of the Namibian coastal upwelling ecosystem. *Continental Shelf Research*, 24, 627-642.
- Escofet, A. M., Olivier, S. R., Orensanz, J. M., Caravadossi, S. & Víctor, M. 1978. Biocenología bentónica del Golfo de San Matías (Río Negro, Argentina): Metodología, experiencias y resultados del estudio ecológico de un gran espacio geográfico en América Latina.
- Fakiris, E., Zoura, D., Papatheodorou, G., & Ferentinos, G. 2016. Automatic benthic habitat mapping in Lourdas gulf, Kefalonia, combining Side-scan Sonar and Sub-bottom Profiler data. 11th Panhellenic Symposium on Oceanography and Fisheries, Mytilene, Lesvos island, Greece, 1017-1020.
- Fannin, N.G.T. 1980. The use of regional geological surveys in the North Sea and adjacent areas in the recognition of offshore hazards. *Offshore Site Investigation*, (Ardu, D.A., Ed.), Graham and Trotman, London, 5-21.
- Farinati, E., Aliotta, S. & Ginsberg, S. 1992. Mass mortality of a Holocene *Tagelus plebeius* (Mollusca, Bivalvia) population in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Geology*, 106: 301-308.



- Farinati, E. A., & Aliotta, S. 1997. Análisis de tafofacias transgresivas-regresivas holocenas, estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52(1), 56-64.
- Fauchald, K. 1977. *The Polychaete Worms: Definitions and Key to the Orders, Families and Genera*. Natural History Museum of Los Angeles County, Science Series, 28, 1-190
- Faulwetter, S., Markantonatou, V., Pavloudi, C., Papageorgiou, N., Keklikoglou, K., Chatzinikolaou, E., Pafilis, E., Chatzigeorgiou, G., Vasileiadou, K., Dailianis, T., Fanini, L., Koulouri, P. & Arvanitidis, C. 2014. Polytraits: A database on biological traits of marine polychaetes. *Biodiversity Data Journal* 2, e1024 <http://polytraits.lifewatchgreece.eu/>.
- Fidalgo, F., de Francesco, F.O. & Pascual, R. 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. Relatorio de Geología de la provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino, Bahía Blanca, Actas: 103-138.
- Figueiredo, A.G. & Nittrouer, C.A. 1995. New insights to high-resolution stratigraphy on the Amazon continental shelf. *Marine Geology* 125 (3/4), 393-399.
- Figueiredo, A.G., Nittrouer, C.A. & Costa, E.A. 1996. Gas-charged sediments in the amazon submarine delta. *Geo-Marine Letters* 16, 31-35
- Fiori, S.M. 2014. Capítulo IV: Comunidades bentónicas asociadas a las zonas portuarias y el Canal Principal de Navegación del estuario de Bahía Blanca. En Informe final del Programa de Monitoreo de la Calidad Ambiental de la Zona Interior del Estuario de Bahía Blanca (IADO-CONICET). Páginas 107-143
- Fiori, S.M. 2016. Capítulo IV: Comunidades bentónicas asociadas a las zonas portuarias y el Canal Principal de Navegación del estuario de Bahía Blanca. En Informe final del Programa de Monitoreo de la Calidad Ambiental de la Zona Interior del Estuario de Bahía Blanca (IADO-CONICET). Páginas 116-144.

- Fleischer, P., Orsi, T.H., Richardson, M.D. & Anderson, A.L. 2001. Distribution of free gas in marine sediments: a global overview. *Geo-Marine Letters* 21:103-122
- Floodgate, G.D., & Judd, A.G. 1992. The origins of shallow gas. *Continental Shelf Research*, 12(10):1145-1156.
- Freije, R.H., & Marcovecchio, J.E., 2004. Oceanografía química. En: M. Piccolo y M. Hoffmeyer (Eds.), *Ecosistema del estuario de Bahía Blanca*. EdiUNS, Bahía Blanca, Argentina, pp. 69-78.
- Frid, C.L.J., Paramor, O.A.L., Brockington, S., & Bremner, J. 2008. Incorporating ecological functioning into the designation and management of marine protected areas. In *Challenges to Marine Ecosystems* (pp. 69-79). Springer, Dordrecht.
- Gage, J.D. 1975. A comparison of the deep-sea epibenthic sledge and anchor-box dredge samplers with the van Veen grab and hand coring by diver. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* (Vol. 22, No. 10, pp. 693-702). Elsevier.
- García-García, A., Vilas, F., & García-Gil, S., 1999. A seeping sea-floor in a Ria environment: Ria de Vigo (NW Spain). *Environmental Geology*, 38, 296-300.
- García-García, A., Orange, D.L., Miserocchi, S., Correggiari, A., Langone, L., Lorenson, T.D. & Nittrouer, C.A. 2007. What controls the distribution of shallow gas in the Western Adriatic Sea?. *Continental Shelf Research*, 27(3-4), 359-374.
- García-Gil, S., García-García, A. & Vilas, F. 1999. Identificación sísmico-acústica de las diferentes formas de aparición de gas en la Ría de Vigo (NO de España). *Revista Sociedad Geológica de España*, 12(2):301-307

- García-Gil, S., Vilas, F., & García-García, A. 2002. Shallow gas features in incised-valley fills (Ría de Vigo, NW Spain): a case study. *Continental Shelf Research*, 22(16), 2303-2315.
- García-Gil, S., 2003. A natural laboratory for shallow gas: the Rías Baixas (NW Spain). *Geo-Marine Letters*, 23, 215-229.
- García-Madrugal, M.S. 2007. Clave ilustrada para las familias de anfípodos gamáridos (Peracárida: Amphipoda) litorales del Pacífico oriental tropical y glosario de términos. *Ciencia y Mar*, 11, 3-27.
- Geiselman, J.A., & McConnell, O.J. 1981. Polyphenols in brown algae *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*: chemical defenses against the marine herbivorous snail, *Littorina littorea*. *Journal of Chemical Ecology*, 7(6), 1115-1133.
- Gelós, E.M., Marcos, A.O., Spagnolo, J.O. & Schillizi, R.A. 2004. Textura y mineralogía de sedimentos. En: M. Piccolo y M. Hoffmeyer (Eds.), *Ecosistema del estuario de Bahía Blanca*. EdiUNS, Bahía Blanca, Argentina, pp. 43-50
- Giagante, D., Aliotta, S., Ginsberg, S.S. 2008. Análisis sismoestratigráfico de paleocanales en el subsuelo marino del estuario de Bahía Blanca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63, 65-75.
- Giagante, D., Aliotta, S., Ginsberg, S., Vecchi, L., Spagnuolo, J. 2011. Evolution of a coastal alluvial deposit in response to the last Quaternary marine transgression, Bahía Blanca estuary, Argentina. *Quaternary Research*, 75, 614-623.
- Giagante, D. 2009. Sismoestratigrafía marina del sector costero entre Bahía Blanca y Punta Alta, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 166 p.

- Giberto, D.A., Bremec, C.S., Acha, E.M., & Mianzan, H. 2004. Large-scale spatial patterns of benthic assemblages in the SW Atlantic: the Rio de la Plata estuary and adjacent shelf waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(1), 1-13.
- Giberto, D.A., Bremec, C.S., Cortelezzi, A., Capitulo, A.R., & Brazeiro, A. 2007. Ecological boundaries in estuaries: macrobenthic  $\beta$ -diversity in the Río de la Plata system (34–36 S). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(2), 377-381.
- Gili, J. M., & Coma, R. 1998. Benthic suspension feeders: their paramount role in littoral marine food webs. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(8), 316-321.
- Ginsberg, S.S. 1991. Geomorfología y evolución de canales de marea del estuario de Bahía Blanca. Tesis Doctoral. Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur. 180 pp.
- Ginsberg, S.S. & Aliotta, S. 2011. Sediment Transport Circulation Pattern through Mesotidal Channels System. En: S.S. Ginsberg (Ed.). *Sediment Transport*. InTech, Vienna, Austria, pp. 275-294.
- Ginsberg, S.S., Aliotta, S., & Lizasoain, G.O. 2009. Sistema interconectado de canales de marea del estuario de Bahía Blanca, Argentina: evaluación de la circulación de sedimento como carga de fondo por métodos acústicos. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37(2), 231-245.
- Ginsberg, S.S. & Aliotta, S.S. 2011. Sediment Transport Circulation Pattern through Mesotidal Channels System. En: Ginsberg, S.S. (Ed.), *Sediment Transport*. InTech, Vienna, Austria, pp. 275-294.
- Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., Sellanes, J., 2012. Methane seeps molluscs from the Sinú-San Jacinto fold belt in the Caribbean Sea of Colombia. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92, 1367-1377.

- Gray, J.S. 2002. Species richness of marine soft sediments. *Marine Ecology Progress Series*, 244, 285-297.
- Green, A.N., Cooper, J.A.G., Wiles, E.A., & De Lecea, A.M. 2015. Seismic architecture, stratigraphy and evolution of a subtropical marine embayment: Maputo Bay, Mozambique. *Marine Geology*, 369, 300-309.
- Griffiths, J.R., Kadin, M., Nascimento, F.J., Tاملander, T., Törnroos, A., Bonaglia, S., Bonsdorff E., Brüchert V, Gardmark A., Järnström M., Kotta J., Lindergren M., Nordström M.C., Norkko A., Olsson J., Wiegel B., Zydalis R., Blenckner T., Niiranen, S. & Winder, M. 2017. The importance of benthic–pelagic coupling for marine ecosystem functioning in a changing world. *Global change biology*, 23(6), 2179-2196.
- Gruy, H.J. 1998. Natural gas hydrates and the mystery of the Bermuda Triangle. *Petroleum Engineer International*, 71(3).
- Guinder, V.A., López-Abbate, M.C., Berasategui, A.A., Negrin, V.L., Zapperi, G., Pratolongo, P.D., Fernández Severini M.D. & Popovich, C.A. 2015. Influence of the winter phytoplankton bloom on the settled material in a temperate shallow estuary. *Oceanologia*, 57(1), 50-60.
- Hagerthey, S.E., Defew, E.C., & Paterson, D.M. 2002. Influence of *Corophium volutator* and *Hydrobia ulvae* on intertidal benthic diatom assemblages under different nutrient and temperature regimes. *Marine Ecology Progress Series*, 245, 47-59.
- Hamdan, L.J., & Wickland, K.P. 2016. Methane emissions from oceans, coasts, and freshwater habitats: New perspectives and feedbacks on climate. *Limnology and Oceanography*, 61(S1): S3-S12.
- Hansman, R.L., Thurber, A.R., Levin, L.A., & Aluwihare, L.I. 2017. Methane fates in the benthos and water column at cold seep sites along the continental margin of

Central and North America. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 120, 122-131.

Heiri, O., Lotter, A.F., & Lemcke, G. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of paleolimnology*, 25(1), 101-110.

Herkül, K., Peterson, A., Paekivi S., 2017. Applying multibeam sonar and mathematical modeling for mapping seabed substrate and biota of offshore shallows. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 192, 57-71. doi: 10.1016/j.ecss.2017.04.026.

Hill, J.M., Halka, J.P., Conkwright, R., Koczot, K. & Coleman, S., 1992. Distribution and effects of shallow gas on bulk estuarine sediment properties. *Continental Shelf Research*, 12, 1219-1229.

Hinchey, E.K., Schaffner, L.C., Hoar, C.C., Vogt, B.W., & Batte, L.P. 2006. Responses of estuarine benthic invertebrates to sediment burial: the importance of mobility and adaptation. *Hydrobiologia*, 556(1), 85-98.

Hovland, M. & A.G. Judd. 1988. Seabed pockmarks and seepages. Graham and Trotman, London.

Hovland, M. & A.G. Judd. 1992. The global production of methane from shallow submarine sources. *Continental Shelf Research*, 12(10): 1231-1238

Hovland, M., Judd, A.G. & R.A. Burke. 1993. The global flux of methane from shallow submarine sediments. *Chemosphere*, 26(1-4):559-578

Ierodiconou, D., Schimel, A. C., Kennedy, D., Monk, J., Gaylard, G., Young, M., & Rattray, A. 2018. Combining pixel and object based image analysis of ultra-high resolution multibeam bathymetry and backscatter for habitat mapping in shallow marine waters. *Marine Geophysical Research*, 39(1-2), 271-288.

- Iglesias, J., & García-Gil, S. 2007. High-resolution mapping of shallow gas accumulations and gas seeps in San Simón Bay (Ría de Vigo, NW Spain). Some quantitative data. *Geo-Marine Letters*, 27(2-4), 103-114.
- Iribarne, O., Martinetto, P., Schwindt, E., Botto, F., Bortolus, A., & Borboroglu, P.G. 2003. Evidences of habitat displacement between two common soft-bottom SW Atlantic intertidal crabs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 296(2), 167-182.
- Jensen, P., Aagaard, I., Burke, R.A., Dando, P.R., Jørgensen, N.O., Kuijpers, A., Laier, T., O'Hara, S.C.M. & Schmaljohann, R., 1992. 'Bubbling reefs' in the Kattegat: submarine landscapes of carbonate-cemented rocks support a diverse ecosystem at methane seeps. *Marine Ecology Progress Series*, 83, 103-112.
- Jessen, G.L., Pantoja, S., Gutiérrez, M.A., Quiñones, R.A., González, R.R., Sellanes, J., Kallerman, M.Y., Hinrichs, K.U., 2011. Methane in shallow cold seeps at Mocha Island off central Chile. *Continental Shelf Research*, 31, 574-581
- Jørgensen, N.O. 1992. Methane-derived carbonate cementation of marine sediments from the Kattegat, Denmark: geochemical and geological evidence. *Marine Geology*, 103, 1-13.
- Judd, A.G. 1990. Shallow gas and gas seepages a dynamic process? In *Safety in offshore drilling the role of shallow gas surveys*, D.A. Arbus and C.D. Green, Eds, Kluwer Academic Publishers, London, pp. 27-50
- Judd, A.G. 2003. The global importance and context of methane escape from the seabed. *Geo-Marine Letters*, 23, 147-154
- Judd, A.G. & M. Hovland. 1992. The evidence of shallow gas in marine sediments. *Continental Shelf Research*, 12(10):1081-1095

- Judd A. & Hovland, M., 2009. Seabed fluid flow: the impact on geology, biology and the marine environment. Cambridge University Press. 408 pp.
- Judd, A. G., Sim, R., Kingston, P. & McNally, J. 2002. Gas seepage on an intertidal site: Torry Bay, Firth of Forth, Scotland. *Continental Shelf Research*, 22(16), 2317-2331.
- Karhan, S. Ü., Kalkan, E., Simboursa, N., Mutlu, E., & Bekbölet, M. 2008. On the occurrence and established populations of the alien polychaete *Polydora cornuta* Bosc, 1802 (Polychaeta: Spionidae) in the Sea of Marmara and the Bosphorus Strait (Turkey). *Mediterranean Marine Science*, 9(1), 5-19.
- Karisiddaiah, S.M., & Veerayya, M., 1994. Methane-bearing shallow gas-charged sediments in the eastern Arabian Sea: a probable source for greenhouse gas. *Continental Shelf Research*, 14, 1361-1370.
- Karisiddaiah, S.M., Veerayya, M., Vora, K.H. & B.G. Wagle. 1992. Gas-charged sediments on the inner continental shelf off western India. *Marine Geology*, 110:143-152
- Kelley, J. T., Dickson, S. M., Belknap, D. F., Barnhardt, W. A., & Henderson, M. 1994. Giant sea-bed pockmarks: evidence for gas escape from Belfast Bay, Maine. *Geology*, 22(1), 59-62.
- Kostadinoff J. 2004. Estructura profunda del basamento y su correlación con las geoformas superficiales. Ecosistema del estuario de Bahía Blanca. Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, 39-42.
- Kostylev, V.E., Todd, B.J., Fader, G.B., Courtney, R.C., Cameron, G.D., & Pickrill, R.A. 2001. Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. *Marine Ecology Progress Series*, 219, 121-137.



- Kumar, S. 2015. Methane clathrate: dirty fuel or energy savior: a new form of ice to store energy. *International Research Journal of Engineering Technology*, 2, 1429-1438
- Kvenvolden, K.A. 1999. Potential effects of gas hydrate on human welfare. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 3420-3426.
- Kvenvolden, K.A., & Rogers, B.W., 2005. Gaia's breath—global methane exhalations. *Marine and Petroleum Geology*, 22(4), 579-590.
- Lacharité, M., Brown, C.J. & Gazzola, V., 2017. Multisource multibeam backscatter data: developing a strategy for the production of benthic habitat maps using semi-automated seafloor classification methods. *Marine Geophysical Research*, 1-16.
- La Colla, N.S., Negrin, V.L., Marcovecchio & J.E., Botté, S.E., 2015. Dissolved and particulate metals dynamics in a human impacted estuary from the SW Atlantic. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 166, 45-55.
- Laier, T., & Jensen, J.B., 2007. Shallow gas depth-contour map of the Skagerrak-western Baltic Sea region. *Geo-Marine Letters*, 27, 127-141.
- Lee, G.H., Kim, D.C., Kim, H.J., Jou, H.T. & Lee, Y.J., 2005. Shallow gas in the central part of the Korea Strait shelf mud off the southeastern coast of Korea. *Continental Shelf Research*, 25, 2036-2052.
- Legendre, P., & Gallagher, E.D., 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129(2), 271-280.
- Leifer, I., Luyendyk, B.P., Boles, J., & Clark, J.F. 2006. Natural marine seepage blowout: Contribution to atmospheric methane. *Global Biogeochemical Cycles*, 20(3): 1-9.

- Levin, L.A. 2005. Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 43: 1-46.
- Levin, L. A., Baco, A. R., Bowden, D. A., Colaco, A., Cordes, E. E., Cunha, M. R., A.W. J. Demopoulos, J. Gobin, B. M. Grupe, J. Le, A. Metaxas, A. N. Netburn, G.W. Rouse, A. R. Thurber, V. Tunnicliffe, C.L. Van Dover, A. Vanreusel & Metaxas, A. 2016. Hydrothermal vents and methane seeps: rethinking the sphere of influence. *Frontiers in Marine Science*, 3, 72.
- Levin, L.A. & Mendoza, G.F. 2007. Community structure and nutrition of deep methane-seep macrobenthos from the North Pacific (Aleutian) Margin and the Gulf of Mexico (Florida Escarpment). *Marine Ecology*, 28, 131-151.
- Levin, L.A., Mendoza, G.F., Gonzalez, J.P, Thurber, A.R. & Cordes, E.E. 2010. Diversity of bathyal macrofauna on the northeastern Pacific margin: the influence of methane seeps and oxygen minimum zones. *Marine Ecology*, 31, 94-110.
- Levin, L., Mendoza, G.F. & Grupe, B.M. 2017. Methane seepage effects on biodiversity and biological traits of macrofaunal inhabiting authigenic carbonates. *Deep Sea Research II*, 137, 26-41.
- Levinton, J. 1995. Bioturbators as ecosystem engineers: control of the sediment fabric, inter-individual interactions, and material fluxes. In *Linking Species & Ecosystems* (pp. 29-36). Springer, Boston, MA.
- Lichtschein de Bastida, V. & Bastida, R. 1980. Los briozoos de las comunidades incrustantes de puertos argentinos. V International Congress on Marine Corrosion and Fouling, Madrid, España, pp. 371-390.
- Limbozzi, F. & Leitao, T.E. 2008. Characterization of Bahía Blanca main existing pressures and their effects on the state indicators for surface and groundwater

quality. Perspectives on integrated coastal zone management in South America. IST Press, Lisbon, pp. 315-331.

Lin, C.M., Li, Y.L., Zhuo, H.C., Shurr, G.W., Ridgley, J.L., Zhang, Z.P. & Xue, T. 2010. Features and sealing mechanism of shallow biogenic gas in incised valley fills (the Qiantang River, eastern China): A case study. *Marine and Petroleum Geology*, 27(4), 909-922.

Lizasoain, G.O. 2006. Estudio geomorfológico submarino en un ambiente estuarial mediante sistemas acústicos. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, pp. 245.

Losi, V., Moreno, M., Gaozza, L., Vezzulli, L., Fabiano, M., & Albertelli, G. 2013. Nematode biomass and allometric attributes as indicators of environmental quality in a Mediterranean harbour (Ligurian Sea, Italy). *Ecological indicators*, 30, 80-89.

Luth, C., Luth, U., Gebruk, A.V. & Thiel, H., 1999. Methane Gas Seeps Along the Oxidic/Anoxic Gradient in the Black Sea: Manifestations, Biogenic Sediment Compounds and Preliminary Results on Benthic Ecology. *Marine Ecology*, 20, 221-249.

MacDonald T.A., Burd B.J. & van Roodselaar A. 2012 Size structure of marine soft-bottom macrobenthic communities across natural habitat gradients: implications for productivity and ecosystem function. *PLoS ONE* 7:e40071.

MacGinitie, G.E. 1938. Notes on the natural history of some marine animals. *American Midland Naturalist*, 19(1), 207-219.

Magariños-Álvarez, J., García-Gil, S. & F. Vilas, 2002. El gas somero en los sedimentos de la Ría de Muros-Noia (NO de España): formas de aparición y cartografía. *Journal of Iberian Geology*, 28, 107-122.

- Martínez, D., Bastida, R. & Brankevich, G. 1984. Ecological aspects of marine fouling at the port of Ingeniero White (Argentina). Proceedings VI International Congress on marine corrosion and fouling, Atenas, Grecia: 521-537.
- Martínez, D. 1982. Estudio sobre las comunidades incrustantes (*fouling*) de Puerto Ingeniero White. Seminario de Licenciatura. Universidad Nacional del Sur, Departamento de Biología. 69p.
- Mazzon, C.; Pratolongo, P. & G.M.E. Perillo. 2009. Análisis de cambios en la cobertura de las marismas del estuario de Bahía Blanca mediante el uso de matrices de transición e índices kappa. In: VII Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar; XV Coloquio de Oceanografía. Bahía Blanca, Argentina. p. 335
- McLachlan, A. & Dorvlo, A. 2007. Global patterns in sandy beach macrobenthic communities: biological factors. *Journal of Coastal Research*, 235:1081–1087.
- Meadows, P.S., Deans, E.A. & Anderson, J.G. 1981. Responses of *Corophium volutator* to sediment sulphide. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 61(3), 739-748.
- Minor Salvatierra, M.M., Aliotta, S. & Ginsberg, S.S. 2015. Morphology and dynamics of large subtidal dunes in Bahia Blanca estuary, Argentina. *Geomorphology*, 246, 168-177.
- Mittelbach, G.G. & Schemske, D.W. 2015. Ecological and evolutionary perspectives on community assembly. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(5), 241-247.
- Missiaen, T., Murphy, S., Loncke, L. & Henriët, J.P. 2002. Very high-resolution seismic mapping of shallow gas in the Belgian coastal zone. *Continental Shelf Research*, 22(16), 2291-2301.
- Molina, L. 2012. El rol de la biota en los procesos de estabilización-desestabilización de sedimentos estuariales. Tesis. Universidad Nacional del Sur

- Montesarchio, L.A. & Lizasoain, W.O. 1981. Dinámica sedimentaria en la denominada Ría de Bahía Blanca: segundo informe. Instituto Argentino de Oceanografía.
- Mora C., Tittensor D.P., Adl S., Simpson A.G.B. & Worm B. 2011. How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS Biology* 9(8): e1001127.
- Morang, A., Larson, R. & Gorman, L. 1997. Monitoring the coastal environment; part III: geophysical and research methods. *Journal of Coastal Research*, 1064-1085.
- Muniz, P., Lana, P., Venturini, N., Elías, R., Vallarino, E., Bremec, C., Martins, C. & Neto, L.S. 2013. Un manual de protocolos para evaluar la contaminación marina por efluentes domésticos. No. 577.727 M3. 131 p.
- Murray, N.J., Ma, Z. & Fuller, R.A. 2015. Tidal flats of the Yellow Sea: A review of ecosystem status and anthropogenic threats. *Austral Ecology*, 40(4), 472-481.
- Nedeco-Arconsult, 1983. Estudio de dragado del canal de acceso al Puerto de Bahía Blanca. Informe Geotécnico. Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables, 105 p, Argentina.
- Oksanen, J., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. & O'Hara, R. 2018. Vegan: Community Ecology Package. R package vegan, vers. 2.2-1; 2015.
- Olivier, S.R., Bastida, R. & Torti, M.R., 1968a. Resultados de las campañas oceanográficas Mar del Plata. IV. Contribución al trazado de una carta bionómica del área de Mar del Plata. Las asociaciones del Sistema Litoral entre 12 y 70 m. de profundidad. *Boletín Instituto de Biología Marina, Mar del Plata*, vol. 16, p. 1-85.

- Olivier, S.R., Bastida, R.O. & Torti, M.R., 1968b. Sobre el ecosistema de las aguas litorales de Mar del Plata. Niveles tróficos y cadenas alimentarias pelágicas demersales y bentónicos-demersales.
- Olivier, S.R., Escofet, A., Orensanz, J.M., Pezzani, S.E., Turro, M.E., & Turro, A.M. 1966. Contribución al conocimiento de las comunidades bénticas de Mar del Plata. Anales CIC, 7.
- Olivier, S.R., Escofet, A., Penchaszadeh, P.E. & Orensanz, J.M. 1972. Estudios ecológicos de la región estuarial de Mar Chiquita (Buenos Aires, Argentina). I. Las comunidades bentónicas. En: Anales de la Sociedad Científica Argentina, Sociedad Científica Argentina, Buenos Aires. 193 (5/6): 239-262.
- Olivier, S.R., Rapaport, E.H. & García, F. 1960. Nuevos aportes al problema de la bipolaridad, con la descripción de una nueva especie de *Priapulus tuberculatospinosus*. Baird, 1866. En: Congreso Latinoamericano de zoología: 259-260.
- Orange, D., García-García, A., Lorensen, T., Nittrouer, C., Milligan, T., Miserocchi, S. T., Langone, L., Correggiari, A., & Trincardi, F. 2005. Shallow gas and flood deposition on the Po Delta. *Marine Geology*, 222, 159-177.
- Orensanz, J.M. 1972. Los anélidos poliquetos de la provincia biogeográfica Argentina. II. Aphroditidae. *Physis*, 31(83), 503-518.
- Orensanz, J.M., 1973a. Los anélidos poliquetos de la provincia biogeográfica Argentina. III. Dorvilleidae. *Physis*, 32, 325-342.
- Orensanz, J.M. 1973b. Los anélidos poliquetos de la provincia biogeográfica Argentina. IV. Lumbrineridae. *Physis*, 32(85), 343-393.
- Orensanz, J.M., 1974. Los anélidos poliquetos de la provincia biogeográfica Argentina. V. Onuphidae. *Physis*, 33, 75-122.

- Palomino, D., López-González, N., Vázquez, J.T., Fernández-Salas, L.M., Rueda, J.L., Sánchez-Leal, R. & Diaz-del-Rio, V. 2016. Multidisciplinary study of mud volcanoes and diapirs and their relationship to seepages and bottom currents in the Gulf of Cádiz continental slope (northeastern sector). *Marine Geology*, 378, 196-212.
- Parker, G. & Paterlini, M. 1990. Apantallamientos acústicos en sedimentos gasíferos del Río de La Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 45, 17-28.
- Perillo, G.M.E. & Iribarne, O. O. 2003a. New mechanisms studied for creek formation in tidal flats: from crabs to tidal channels. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 84(1), 1-5.
- Perillo, G.M.E. & Iribarne, O. O. 2003b. Processes of tidal channel development in salt and freshwater marshes. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 28(13), 1473-1482.
- Perillo, G.M.E., Píccolo, M.C, Palma, E., Pérez, D.E. & J. Pierini. 2004. Oceanografía Física. En: Píccolo M.C. y M.S. Hoffmeyer (eds.), *Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca*. Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, pp. 61–67.
- Petracci, P. & Sotelo, M. 2013. *Aves del estuario de Bahía Blanca. Una herramienta para su conocimiento y conservación*. Editorial Muelle Sur Bahía Blanca, Bs. As.
- Piló, D., Ben-Hamadou, R., Pereira, F., Carriço, A., Pereira, P., Corzo, A., Gaspar M.B & Carvalho, S. 2016. How functional traits of estuarine macrobenthic assemblages respond to metal contamination? *Ecological indicators*, 71, 645-659.
- Pimm, S.L. 2012. Biodiversity: not just lots of fish in the sea. *Current Biology*, 22(23), R996-R997.

- Prince, P.K. 1990. Current drilling practice and the occurrence of shallow gas. In *Safety in Offshore Drilling* (pp. 3-25). Springer, Dordrecht.
- Quiroga, E., Ortiz, P., González-Saldías, R., Reid, B., Tapia, F. J., Pérez-Santos, I., Rebolledo, L., Mansilla, R., Pineda, C., Cari, I., Salinas, N., Montiel, A., Gerdes, D., 2016. Seasonal benthic patterns in a glacial Patagonian fjord: the role of suspended sediment and terrestrial organic matter. *Marine Ecology Progress Series*, 561, 31-50.
- Ramírez-Pérez, A. M., Blas, E. & García-Gil, S., 2017. Sulfur, Iron, and Manganese speciation in anoxic sediments with methane (Ría de Vigo, NW Spain). *CLEAN–Soil, Air, Water*.
- R Development Core Team, 2017. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2016.
- Reeburgh, W. 2007. Oceanic Methane Biogeochemistry. *Chemical Reviews*, 107, 486-513.
- Rice, D.D. 1975. Origin of and conditions for shallow accumulations of natural gas. *Twenty-Seventh Annual Field Conference*. 267-271
- Ringuelet, R.A., Amor, A., Magaldi, N. & Pallares, R. 1962. Estudio ecológico de la fauna intercotidal de Puerto Deseado en febrero de 1961 (Santa Cruz, Argentina). *Physis*, 23(64), 35-53.
- Ringuelet, R.A., Dioni, W. & Bückle, F. 1963. Reconocimiento previo de la distribución de la iliofauna en el fango intertidal de Puerto Deseado (Santa Cruz, Argentina). *Centro de Investigación de Biología Marina*.
- Ringuelet, R.A., 1963. Estudios ecológicos en el litoral patagónico: el piso supralitoral en la ría Deseado, (Santa Cruz, Argentina). *Centro de Investigación de Biología Marina*.



- Ringuelet, R.A., 1966. Moluscos pelecípodos del litoral bonaerense. Clave de familias y géneros. *Agro*, 13, 1-41.
- Ringuelet, R.A., 1969. Clave o llave para el reconocimiento de familias y géneros de Poliquetos del litoral Atlántico Argentino. *Acta Zoológica Lilloana*, 24, 193-218.
- Roff, J.C., Taylor, M.E. & Laughren, J., 2003. Geophysical approaches to the classification, delineation and monitoring of marine habitats and their communities. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13, 77-90.
- Rollet, N., Logan, G.A., Ryan, G., Judd, A.G., Totterdell, J.M., Glenn, K., Jones, A.T., Kroh, F., Struckmeyer, H.I.M., Kennard, J.M. & Earl, K. L. 2009. Shallow gas and fluid migration in the northern Arafura Sea (offshore Northern Australia). *Marine and Petroleum Geology*, 26, 129-147
- Rueda, J.L., González-García, E., Farias, C., López-González, N., López, F.J., Vázquez, J.T., Gil, J. & Días del Río, V. 2012. Comunidades bentónico-demersales de un campo de gas somero del Golfo de Cádiz. *International Symposium in Marine Sciences*, Cadiz, Spain.
- Schratzberger, M., Warr, K. & Rogers, S. 2007. Functional diversity of nematode communities in the southwestern North Sea. *Marine Environmental Research* 63 (4), 368-389
- Schubel, J.R. 1974. Gas bubbles and the acoustically impenetrable, or turbid, character of some estuarine sediments, in *Natural Gases in Marine Sediments*~ edited by I. R. Kaplan, pp. 275-298, Plenum Press, New York.

- Sellanes, J., Neira, C., Quiroga, E. & Teixido, N., 2010. Diversity patterns along and across the Chilean margin: a continental slope encompassing oxygen gradients and methane seeps benthic habitats. *Marine Ecology*, 31, 111-124.
- Sellanes, J., Quiroga, E. & Neira C. 2008. Megafauna community structure and trophic relationships at the recently discovered Concepción Methane Seep Area, Chile, ~36°S. *ICES Journal of Marine Science*, 65: 1102-1111.
- Sheriff, R.E. 1977. Limitations on Resolution of Seismic Reflections and Geologic Detail Derivable from Them: Section 1. Fundamentals of Stratigraphic Interpretation of Seismic Data.
- Sheriff, R.E. 1980. Nomogram for Fresnel-zone calculation. *Geophysics*, 45(5), 968-972.
- Sheriff, R.E. & Geldart, L.P. 1982. Resolution. *Exploration seismology*, 1, 117-122.
- Snelgrove, P.V. 1999. Getting to the bottom of marine biodiversity: sedimentary habitats: ocean bottoms are the most widespread habitat on earth and support high biodiversity and key ecosystem services. *BioScience*, 49(2), 129-138.
- Solheim, A. & Elverhøi, A. 1993. Gas-related sea floor craters in the Barents Sea. *Geo-Marine Letters*, 13(4), 235-243.
- Souza, J., de Tessler, T., Felix, C., Franklin, L., Benedet, L., Suthard, B., Demarco, L.F.W., Bonetti, J. & Klein, A.H.F. 2011. Gas features detected with ultra shallow water high resolution seismic in the North Bay, Santa Catarina state, Southern Brazil. In: XIV Congreso Latino Americano de Ciencias do Mar. Anais, Balneario Camboriú, SC
- Spalletti, L.A. & Isla, F.I. 2003. Características y evolución del delta del río Colorado ("Colú-Leuvú"), provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 10 (1): 23-37.

- Spagnuolo, J., Farinati, E. & Aliotta, S. 2006. Depósitos marinos en la costa norte del estuario de Bahía Blanca. XXIII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Bahía Blanca, Argentina, p. 102.
- Statzner, B., Bonada, N. & Dolédec, S. 2007. Conservation of taxonomic and biological trait diversity of European stream macroinvertebrate communities: a case for a collective public database. *Biodiversity and Conservation* 16 (12), 3609–3632.
- Sun, Q., Wu, S., Cartwright, J. & Dong, D. 2012. Shallow gas and focused fluid flow systems in the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea. *Marine Geology*, 315, 1-14.
- Teske, P.R. & Wooldridge, T.H. 2003. What limits the distribution of subtidal macrobenthos in permanently open and temporarily open/closed South African estuaries? Salinity vs. sediment particle size. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(1-2), 225-238.
- Turner, C. 2014. Using habitat suitability modelling to assess the relationships between shrimp trawling and the distributions of deep sea corals (Doctoral dissertation, Department of Life Sciences, Silwood Park, Imperial College London).
- Usseglio-Polatera, P., Bournaud, M., Richoux, P. & Tachet, H. 2000. Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates: relationships and definition of groups with similar traits. *Freshwater Biology* 43, 175–205
- Valentinuzzi de Santos, S. 1971. Estudio preliminar sobre las comunidades intercotidales del Puerto Ing. White. *Physis (Argentina)*, 30(81), 407-416.
- van der Linden, P., Patrício, J., Marchini, A., Cid, N., Neto, J. M. & Marques, J. C. 2012. A biological trait approach to assess the functional composition of subtidal

benthic communities in an estuarine ecosystem. *Ecological Indicators*, 20, 121-133.

van Weering, T.C.E, Klaver, G.T. & R.A. Prins. 1997. Gas in marine sediments: an introduction. *Marine Geology* 137:13

Vital, H. & Stattegger, H. 1997. Gas-charged sediments on the lowermost Amazon River. In: 5<sup>o</sup> Congresso Internacional da Sociedade Brasileira Geofísica, 1. Anais, Sao Paulo, pp. 85-88

Washburn, T., Rhodes, A.C. & Montagna, P.A. 2016. Benthic taxa as potential Indicators of a deep-sea oil spill. *Ecological indicators*, 71, 587-597.

Watling, L., France, S.C., Pante, E. & Simpson, A. 2011. Biology of deep-water octocorals. In *Advances in Marine Biology* (Vol. 60, pp. 41-122). Academic press.

Watson, D.C. & Norton, T.A. 1987. The habitat and feeding preferences of *Littorina obtusata* (L.) and *L. mariaae* Sacchi et Rastelli. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 112(1), 61-72.

Weschenfelder, J., Correa, I.C.S., Aliotta, S. & Baitelli, R. 2010. Paleochannels related to late quaternary sea-level changes in southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography* 58, 35-44.

Weschenfelder, J., Correa, I.C.S., Aliotta, S., Pereira, C.M., Vasconcellos, V.E.B. 2006. Shallow gas accumulation in sediments of the patos lagoon, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 78 (3), 607-614.

Weschenfelder, J., Klein, A.H., Green, A.N., Aliotta, S., de Mahiques, M.M., Neto, A.A., Terra, L.C., Correa, I.C.S, Calliari, L.J., Montoya, I. & Ginsberg, S.S. 2016. The control of palaeo-topography in the preservation of shallow gas accumulation:

Examples from Brazil, Argentina and South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 172, 93-107.

Weschenfelder, J., Medeanic, S., Correa, I.C.S. & Aliotta, S. 2008. Holocene paleoinlet of the Bojuru region, Lagoa dos Patos, southern Brazil. *Journal of Coastal Research* 24 (1), 99-109.

Wever, T.F., Abegg, F., Fiedler, H.M., Fechner, G., & Stender, I.H. 1998. Shallow gas in the muddy sediments of Eckernförde Bay, Germany. *Continental Shelf Research*, 18, 1715-1739.

Wickham, H. 2009. *ggplot: Using the Grammar of Graphics with R*.

Williams, G.C. 2015. A new genus and species of pennatulacean octocoral from equatorial West Africa (Cnidaria, Anthozoa, Virgulariidae). *ZooKeys*, (546), 39.

WoRMS Editorial Board (2018). World Register of Marine Species. Available from <http://www.marinespecies.org> at VLIZ. Accedido 2018-11-20. doi:10.14284/170

Ysebaert, T., Herman, P.M.J., Meire, P., Craeymeersch, J., Verbeek, H. & Heip, C.H.R. 2003. Large-scale spatial patterns in estuaries: estuarine macrobenthic communities in the Schelde estuary, NW Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(1-2), 335-355.

Zaixso, H. 1975. Distribución vertical de los moluscos marinos de la ría Deseado (Santa Cruz, Argentina): Sustrato con fracción limosa. *Physis*, 34(89).

Zapperi, G. 2015. Estructura y funciones ecológicas de las comunidades bentónicas en planicies de marea de la zona interna del estuario de Bahía Blanca. Tesis, Universidad Nacional del Sur.

Zeikus, J.G. 1977. The biology of methanogenic bacteria. *Bacteriological Reviews*,  
41: 514-541

**16. Trabajos extraídos de la presente Tesis**

Bravo, M. E., Aliotta, S., Fiori, S., & Ginsberg, S. 2018. Distribution, vertical position and ecological implications of shallow gas in Bahía Blanca estuary (Argentina). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 202, 222-231.

**17. Anexo****Distribución mundial de los depósitos de gas somero biogénico**

<b>Localidad</b>	<b>Referencias</b>
Norton Sound, Mar de Bering, Alaska, USA	Fleischer et al. (2001)
Cuenca Chirikov, Mar de Bering, Alaska, USA	Fleischer et al. (2001)
Mar de Bering, Alaska, USA	Fleischer et al. (2001)
Plataforma Kodiak, Alaska, USA	Fleischer et al. (2001)
Estrecho Hecate, Columbia Británica, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Estrecho de Georgia, Columbia Británica, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Saanich Inlet, Columbia Británica, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Cuenca del Río Eel, California, USA	Fleischer et al. (2001)
Delta del Río Klamath, CA, USA	Fleischer et al. (2001)
Plataforma del Norte de California, USA	Fleischer et al. (2001)
Bahía San Francisco, CA, USA	Fleischer et al. (2001)
Plataforma del Centro de California, USA	Fleischer et al. (2001)
Frontera de la plataforma de California, USA	Fleischer et al. (2001)
Delta del Río Amazonas, Brasil	Figuereido et al. (1996)
Plataforma Continental Amazonas, Brasil	Costa y Figueredo (1998)
Delta submarino de Amazonas, Brasil	Figuereido y Nitrouer (1995)
Cabecera Río Amazonas, Brasil	Vital y Statteger (1997)



Acu River canyon y estuario de Potengi, Brasil	Schwarzer et al. (2006)
Bahía Guanabara, Brasil	Baptista Neto et al. (1996)
Laguna de los patos, Brasil	Weschenfelder et al. (2006, 2008, 2010, 2016)
Zona interna de la plataforma continental del estado Río Grande do Sul, Brasil	Terra et al. (2014)
Bahía Norte y Laguna Conceição en estado Santa Catarina, Brasil	Souza et al. (2011)
Delta del Río Orinoco, Venezuela	Fleischer et al. (2001)
Lago Maracaibo, Venezuela	Fleischer et al. (2001)
Norte del Golfo de México, USA	Fleischer et al. (2001)
Cabo Lookout Bight, NC, USA	Fleischer et al. (2001)
Bahía Chesapeake, USA	Fleischer et al. (2001)
Bahía Delaware, USA	Fleischer et al. (2001)
Frontera Long Island, NY, USA	Fleischer et al. (2001)
Bahía Narraganset, RI, USA	Fleischer et al. (2001)
Puerto Boston, MA, USA	Fleischer et al. (2001)
Golfo de Maine, USA	Fleischer et al. (2001)
Costa Norte de Maine, USA	Fleischer et al. (2001)
Bahía de Fundy, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Costa de Nueva Escocia, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Puerto Halifax, Nueva Escocia, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Plataforma Escocia, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Golfo de San Lorenzo, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Golfo de San Lorenzo, New Brunswick, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Laurentian Channel, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Costa Newfoundland, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Grand Banks, Newfoundland, Canadá	Fleischer et al. (2001)

Costa de Labrador, Canadá	Fleischer et al. (2001)
Norte del Mar de Barents	Fleischer et al. (2001)
Mar de Barents	Fleischer et al. (2001)
Centro de la plataforma continental de Noruega	Fleischer et al. (2001)
Skagerrak, Dinamarca	Fleischer et al. (2001)
Kattegat, Dinamarca	Fleischer et al. (2001)
Bahía Eckernförde, Alemania	Fleischer et al. (2001)
Sur del Mar Báltico	Fleischer et al. (2001)
Cuenca Gdansk, Mar Báltico	Fleischer et al. (2001)
Archipiélago Estocolmo, Suecia	Fleischer et al. (2001)
Plataforma continental de Reino Unido	Fleischer et al. (2001)
Firth of Forth, Reino Unido	Fleischer et al. (2001)
Firth of Clyde, Reino Unido	Fleischer et al. (2001)
Isle of Man, Reino Unido	Fleischer et al. (2001)
Oeste del Mar de Irlanda	Fleischer et al. (2001)
Puerto Holyhead, Anglesey, Reino Unido	Fleischer et al. (2001)
Estuario Mersey, Reino Unido	Fleischer et al. (2001)
Estuarios Internos, costas	Fleischer et al. (2001)
Plymouth-Falmouth, Reino Unido	Fleischer et al. (2001)
Estuario del Thames, Reino Unido	Fleischer et al. (2001)
Costa de Ría Vigo, NO España	Fleischer et al. (2001)
Golfo de Cádiz, España	Fleischer et al. (2001)
NO Mar Mediterráneo, España	Fleischer et al. (2001)
Centro del Mar Adriático	Fleischer et al. (2001)
Norte del Mar Adriático, costa de Italia	Fleischer et al. (2001)
Delta del Río Po, Italia	Fleischer et al. (2001)
Golfo de Amvrakikos, Grecia	Fleischer et al. (2001)
NO Mar Egeo, Grecia	Fleischer et al. (2001)
Oeste del Mar Negro, Bulgaria	Fleischer et al. (2001)

SE del Mar Negro	Fleischer et al. (2001)
Oeste de la costa de India	Fleischer et al. (2001)
Centro-Este de la plataforma continental de India	Fleischer et al. (2001)
Delta de Mekong, Vietnam	Fleischer et al. (2001)
Hong Kong, China	Fleischer et al. (2001)
Este del Mar de China	Fleischer et al. (2001)
Plataforma del Río Changjiang, Este del Mar de China	Fleischer et al. (2001)
Costa Jiangsu, Mar Amarillo, China	Fleischer et al. (2001)
Sudeste de la Península Shandong, Mar Amarillo, China	Fleischer et al. (2001)
Costa de Corea del Sur	Fleischer et al. (2001)
SE de la Península de Corea	Fleischer et al. (2001)
Este del Mar de Okhotsk, Rusia	Fleischer et al. (2001)
Este de la Plataforma de Kamtchatka, Rusia	Fleischer et al. (2001)
Puerto Suva, Fiji	Fleischer et al. (2001)
Puerto Waitemata, Auckland, Nueva Zelanda	Fleischer et al. (2001)
Puerto Wellington, Nueva Zelanda	Fleischer et al. (2001)
Río de La Plata, Argentina	Parker y Paterlini (1990)
Estuario de Bahía Blanca, Argentina	Aliotta et al. (2002)
Golfo de San Matías, Argentina	Aliotta et al. (2000)
Canal Beagle, Argentina	Bujalesky et al. (2004)
Puerto Bahía Durban, Sudáfrica	Weschenfelder et al. (2016)
Lago Santa Lucía, Sudáfrica	Weschenfelder et al. (2016)
Plataforma de la costa de Namibia	Emeis et al. (2004)
Bahía Maputo, Mozambique	Green et al. (2015)
Norte del Mar de Arafura, Australia	Rollet et al. (2009)
Río Quantang, China	Chun-Ming Lin et al. (2010)

---