

CARACTERIZACIÓN BIOSEDIMENTOLÓGICA Y MINERALÓGICA DE DOS SECTORES INTERMAREALES DEL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA

BIOSEDIMENTOLOGICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF TWO INTERTIDAL AREAS OF BAHIA BLANCA ESTUARY

Sabrina Angeletti⁽¹⁾⁽³⁾, Leticia Lescano⁽²⁾⁽⁴⁾, Patricia Cervellini⁽¹⁾

⁽¹⁾ UNS, Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia, San Juan 670, 8000, Bahía Blanca, Argentina
(pcervell@uns.edu.ar)

⁽²⁾ UNS, Departamento de Geología, San Juan 670, 8000, Bahía Blanca, Argentina (leticia.lescano@uns.edu.ar)

⁽³⁾ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET),
Argentina (angelettisabrina@conicet.gov.ar) (Autor corresponsal)

⁽⁴⁾ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Argentina.

RESUMEN

En el presente trabajo se analizó la biosedimentación y la mineralogía de los sedimentos intermareales de dos sitios del estuario de Bahía Blanca, y su relación con las especies vegetales y la dinámica poblacional de *Neohelice granulata*. Se trazaron dos transectas perpendiculares al submareal; la transecta A en Puerto Cuatrerros y la B en Villa del Mar. Los muestreos se realizaron de marzo a junio de 2013. En cada transecta se seleccionaron dos estaciones, en las cuales se recolectaron sedimentos superficiales (control) y sedimentos removidos por cangrejos que fueron examinados teniendo en cuenta un enfoque ambiental, textural y mineralógico. Se estimó la densidad de cuevas, la cobertura vegetal y paralelamente se registraron datos ambientales. Para la caracterización granulométrica y mineralógica de arcillas se efectuaron estudios con el método de grano suelto bajo lupa y de difracción por rayos X, empleando métodos estandarizados de laboratorio. Los resultados de los difractogramas revelaron que en ambos sitios de estudio los sedimentos intermareales estuvieron representados por los minerales cuarzo, feldespato y halita, y en menor proporción se encontraron las arcillas, como illita y montmorillonita. La fracción arcillosa prevaleció en el sedimento del intermareal de Puerto Cuatrerros (50-45%) por sobre las muestras de Villa del Mar, donde predominó el cuarzo (42- 35%). En cuanto a la granulometría, Puerto Cuatrerros se caracterizó por la presencia dominante de la fracción de tamaño fino; limos arenosos y arcillosos (<0,05mm) y Villa del Mar por el tamaño mediano; arenas medianas y finas (0,05-1mm). Los sedimentos removidos por la actividad biológica en ambos sitios de estudio tuvieron una composición mineralógica similar a los sedimentos control, pero enriquecidos con material arcilloso y abundante material orgánico vegetal, debido principalmente al trabajo bioturbador de los cangrejos. La densidad media de cuevas de *Neohelice granulata* en Puerto Cuatrerros fue mayor que en Villa del Mar. Esta característica sumada a la presencia en mayor proporción de minerales con mayor dureza (cuarzo y el feldespato) en lugares no removidos por los cangrejos; nos permite señalar que ésta especie bioturbadora selecciona sectores para movilizarse y construir sus cuevas en sustratos con menor dureza; pudiendo remover y escavar con facilidad el sustrato. Esta conjunción de características se vio reflejada en la zona de Puerto Cuatrerros. La distribución genérica de los materiales sedimentarios es una consecuencia directa de la dinámica del ambiente. En el estuario de Bahía Blanca las especies vegetales actúan en la disipación de la energía del agua que ingresa y las especies bioturbadoras, como *Neohelice granulata*, contribuyen en a la acumulación de partículas finas en el intermareal.

Palabras Claves: biosedimentación, bioturbación, mineralogía, *Neohelice granulata*, estuario de Bahía Blanca.

ABSTRACT

In this paper the biosedimentation and mineralogy of intertidal sediments of two sites of the Bahía Blanca estuary, and its relation to plant species and population dynamics of *Neohelice granulata* was analyzed. Two transects perpendicular to the subtidal were placed; A transect in Puerto Cuatrerros and B in Villa del Mar.

Sampling was conducted from March to June 2013. Two stations at each transect were selected, where surface sediments (control) and sediments removed by crabs were analyzed through environmental, textural and mineralogical studies. Density of burrows, vegetation cover and environmental data were also recorded. For the granulometric and mineralogical studies, loose grain method under the microscope and X-ray diffraction were done using standardized laboratory methods. The XRD results revealed that in both study sites, intertidal sediments were represented by minerals like quartz, feldspar and halite, and in lesser proportions were found clays such as illite and montmorillonite. The clay fraction prevailed in intertidal sediments of Puerto Cuatrerros (50-45%) over samples of Villa del Mar, where quartz was predominant (42-35%). In the grain size analysis, Puerto Cuatrerros was characterized by the dominant presence of the fine size fraction; sandy silts and clayey silts (<0.05 mm) and Villa del Mar for the medium size; medium sands and fine sands (0.05-1mm). Sediments removed by biological activity in both study sites were similar in mineralogical composition than control sediments, but they were enriched with clay material and abundant organic vegetal material, mainly due to bioturbation work of crabs. The mean density of burrows of *Neohelice granulata* in Puerto Cuatrerros was higher than Villa del Mar. The hardest minerals (such as quartz and feldspar) were in greater proportion in places not removed by crabs; so we can predict that they select sectors to mobilize and build burrows in substrates with lower hardness, which they can easily dig. These combinations of features were reflected in Puerto Cuatrerros. The generic distribution of sedimentary materials is a direct consequence of the dynamics of the environment. In Bahía Blanca estuary, vegetation dissipates the energy of the water entering and bioturbator species, like *Neohelice granulata*, contribute to increase fine particles in the intertidal.

Key Words: biosedimentation, bioturbation, mineralogy, *Neohelice granulata*, Bahía Blanca estuary.

INTRODUCCIÓN

La geomorfología y el transporte de sedimentos en ambientes estuarinos son el resultado de la interacción de procesos físicos (tales como la acción del viento, la energía de las olas y las mareas, entre otros) con procesos biológicos. La actividad biológica tiene importantes efectos en la estructura de sedimentos terrestres, marinos e intermareales. La misma puede estabilizar como desestabilizar estos ambientes. Los organismos bentónicos tienen relación directa con el sustrato y pueden promover la desestabilización de sedimentos cohesivos, que directamente afectan la porosidad y la permeabilidad de los mismos (Nowell *et al.*, 1981; Widdows *et al.*, 1998; 2000; Murray *et al.*, 2002; Meysman *et al.*, 2006).

La principal especie bioturbadora de las áreas intermareales de los estuarios del Atlántico Sudoccidental, es el cangrejo cavador *Neohelice granulata* (Dana, 1851) (= *Chasmagnathus granulata*). Se distribuye desde el norte de la Patagonia Argentina (Golfo San Matías), Uruguay hasta Río de Janeiro, Brasil (Gregati y Negreiros-Franozo, 2007). El cangrejo construye cuevas muy elaboradas y estables en el intermareal de hasta 10 cm de diámetro y 1 m de profundidad, que pueden llegar hasta la napa freática (Iribarne *et al.*, 1997; Bortolus e Iribarne, 1999). La construcción de cuevas afecta significativamente la estructura del sedimento, ya que la matriz del mismo, de naturaleza cohesiva, es quebrantada durante este proceso (Jumars y Nowell, 1984, Escapa *et al.*, 2008). Las especies cavadoras activas, pueden incrementar los índices de erosión y de movilidad del sedimento, particularmente cuando son altas las densidades de individuos (Posey, 1987; Talley *et al.*, 2001; Escapa *et al.*, 2008). Estos organismos, mediante su actividad, envían sedimento hacia el exterior de la cueva, encontrándose disponible para ser transportado por las corrientes de deriva y el oleaje (Murray *et al.*, 2002). Las cuevas con la característica forma de embudo, se mantienen abiertas durante la marea alta y son eficientes trampas de materia orgánica y sedimento, lo que aumenta la depositación de sedimentos finos en los cangrejales (Nowell *et al.*, 1981; Suchanek, 1983; Botto e Iribarne, 2000; Botto *et al.*, 2006).

La zona de estudio se encuentra ubicada en el estuario de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, Argentina. El cortejo mineralógico que compone el estuario fue denominado por primera vez por Etchichury y Remiro (1960; 1963) como "asociación pampeano-patagónica" y es la que compone todos los sedimentos a lo largo del litoral argentino y la plataforma continental adyacente (Gelós y Chaar, 1988). La distribución relativa de las diferentes especies de cada fracción determina características que permiten definir rasgos asociados a la procedencia, ciclo de sedimentación, agente de transporte y edad, como así también establecer la historia evolutiva del ambiente estudiado (Gelós y Spagnuolo 1989).

En el estuario de Bahía Blanca se realizaron trabajos mineralógicos, geomorfológicos, evolutivos y genéticos en sedimentos de fondo del Canal Principal de acceso a los puertos y del conjunto de islas e islotes que conforman este complejo ambiente interconectado; entre los que se pueden citar a Losada y Chaar (1968), Gelós y Spagnuolo (1982, 1986, 1989), Gómez (1983, 1988), Caló *et al.*, (1985) Espósito (1986a), Aliotta y Perillo (1987), Gelós *et al.*, (1987), Espósito y Marcos (1988). Perillo (1989), Cuadrado (1993), Ginsberg (1993), Marcos (1999). La actividad del cangrejo en las zonas intermareales de este estuario ha sido estudiada por Menone *et al.*, 2004; Botto *et al.*, 2005; Minkoff *et al.*, 2006; Escapa *et al.*, 2007, 2008; Alberti *et al.*, 2008; y en otros ambientes costeros tales como Laguna Mar Chiquita (Botto e Iribarne, 2000; Botto *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2006; Fanjul *et al.*, 2007; 2008), Bahía de San Borombón (Fanjul *et al.*, 2011) y Bahía de San Antonio (Casariego *et al.*, 2011). Sin

embargo, hasta el momento no se han analizado los sedimentos internareales teniendo en cuenta un enfoque ambiental, textural y mineralógico.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la biosedimentación y la mineralogía de los sedimentos internareales de dos sitios del estuario de Bahía Blanca, y su relación con las especies vegetales presentes y la dinámica poblacional de la especie predominante del macrobentos; *Neohelice granulata*.

ÁREA DE ESTUDIO

El estuario de Bahía Blanca se encuentra ubicado al Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, cuenta con una superficie de 3.000 km² y abarca los partidos de Bahía Blanca, Coronel Rosales y Villarino. Está dominado por planicies de marea fangosas, que quedan al descubierto durante las bajamareas y por islas e islotes menores, interconectados por canales de marea. Presenta régimen mesomareal y semidiurno, con una amplitud de marea media de 2,5 m en la boca, a 4 m en la cabecera. Las corrientes de marea son reversibles con velocidades máximas medidas en superficie de 1,3 ms⁻¹ y verticales de 1,2 y 1,05 ms⁻¹ para condiciones de flujo y refluo, respectivamente. La mayor fuente de energía es debida a la presencia de una onda de marea cuasi-estacionaria; que origina que las estoas se produzcan cerca de las pleamares y las bajamareas, mientras que las máximas corrientes corresponden a la condición de media marea, tanto en creciente como en bajante. El Canal Principal tiene una longitud total de 68 km y un ancho de 200 m en la cabecera, a 4 km en la desembocadura. El aporte de agua dulce lo proporciona el río Sauce Chico y el arroyo Napostá Grande. Las planicies de marea presentan escasa pendiente y bordeando a estas se encuentran las marismas; ambas geoformas cubren el 51% del estuario. Su constitución fangosa (limo-arcillosa) y su escasa vegetación son características que evidencian los constantes cambios morfológicos que sufren. Como rasgo geomorfológico principal se reconocen dunas de arenas submarinas en los fondos del Canal Principal y canales de marea secundarios; propios de estuarios macromareales. Estas geoformas se encuentran frente a Villa del Mar. (Gelós *et al.*, 2004; Gómez *et al.*, 1996; 2010; Melo, 2004).

Neohelice granulata conforma extensas poblaciones en la zona interna, media y externa del estuario (Cervellini, 2001) distribuyéndose en ambos márgenes del Canal Principal y canales secundarios, abarcando tanto marismas como planicies de mareas (Minkoff *et al.*, 2006; Pierini, 2007; Perillo *et al.*, 2009).

Para este estudio se seleccionaron dos sitios de muestreo; Puerto Cuatros (38°44'50"S; 62°23'5"O) localizado en el sector interno del estuario, donde es más significativo el efecto antrópico sobre el sector y Villa del Mar (38°51'25"S; 62°06'59"O), en la zona media, sujeta a condiciones físicas similares al mar abierto (Fig.1).



Figura 1. Estuario de Bahía Blanca. Fotografía aérea indicando las dos áreas de estudio.

Figure 1. Bahía Blanca estuary. Aerial photograph showing the two study areas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron dos transectas perpendiculares al submareal; la transecta A en Puerto Cuatros y la B en Villa del Mar; los muestreos se realizaron de marzo a junio de 2013. En cada transecta se seleccionaron dos estaciones, de las cuales se recolectaron sedimentos superficiales y se arrojaron al azar cuadrantes de 0.25m² (10 réplicas), para estimar la densidad de cuevas de *Neohelice granulata* y la cobertura vegetal (%). Se identificaron cuevas activas (por presencia de cangrejos, impresiones de pinzas o sedimentos recientemente removidos de tono más claro y de diferente textura) y de ellas se recolectaron sedimentos removidos por los cangrejos (Fig.2). Se registraron datos fisicoquímicos y ambientales. El sedimento fue secado en estufa a 60°C hasta peso constante y molido en mortero de ágata hasta el tamaño requerido para cada experiencia. Se utilizaron tamices para la determinación del tamaño de grano. El análisis por rayos X (DRX) se realizó con difractor Rigaku D-Max III - C con radiación de Cu K α y monocromador de grafito, con 35 Kv y 15 mA. Para determinar la composición mineralógica y el carácter textural de los sedimentos se trabajó con el método de grano suelto bajo lupa utilizando un estereomicroscopio Olympus trinocular B2-UMA, con cámara de video Sony 151A incorporada, monitor de alta resolución, procesador de imágenes Image Pro Plus versión 3.1 y programas computarizados para el tratamiento de imágenes.



Figura 2. Cueva de *Neohelice granulata* entre matas de *Sarcocornia perennis* en el intermareal de Villa del Mar (Bn₁R).
Figure 2. Burrow of *Neohelice granulata* between bushes of *Sarcocornia perennis* in the intertidal of Villa del Mar (Bn₁R).

RESULTADOS

Sobre el intermareal de ambos sitios de estudio se observó una clara zonificación sujeta a diferentes condiciones hidrodinámicas y biosedimentológicas. En la transecta A el nivel alto (An₁) estuvo dominado por una marisma pura de *Sarcocornia perennis* y el nivel bajo (An₂), no presentó vegetación. En la transecta B el nivel alto (Bn₁) estuvo dominado por una marisma mixta de *Spartina densiflora* y *Sarcocornia perennis* y el nivel bajo (Bn₂) por una marisma pura de *Spartina alterniflora* (Fig.3).

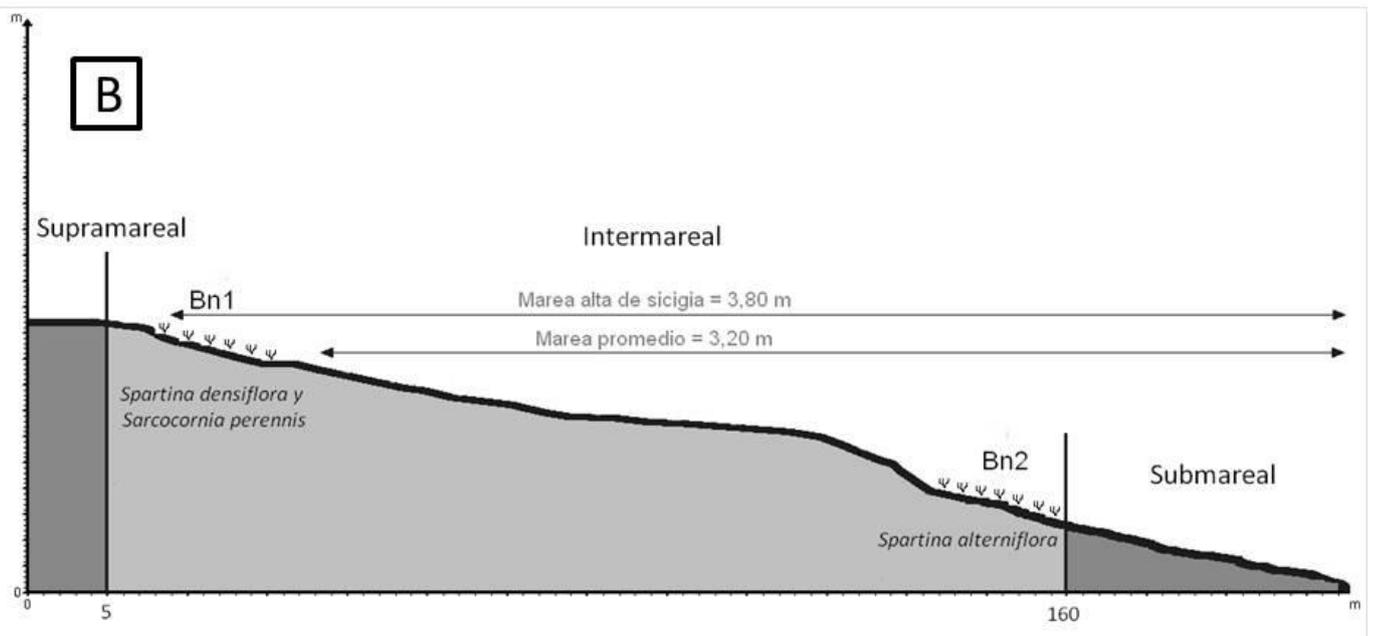
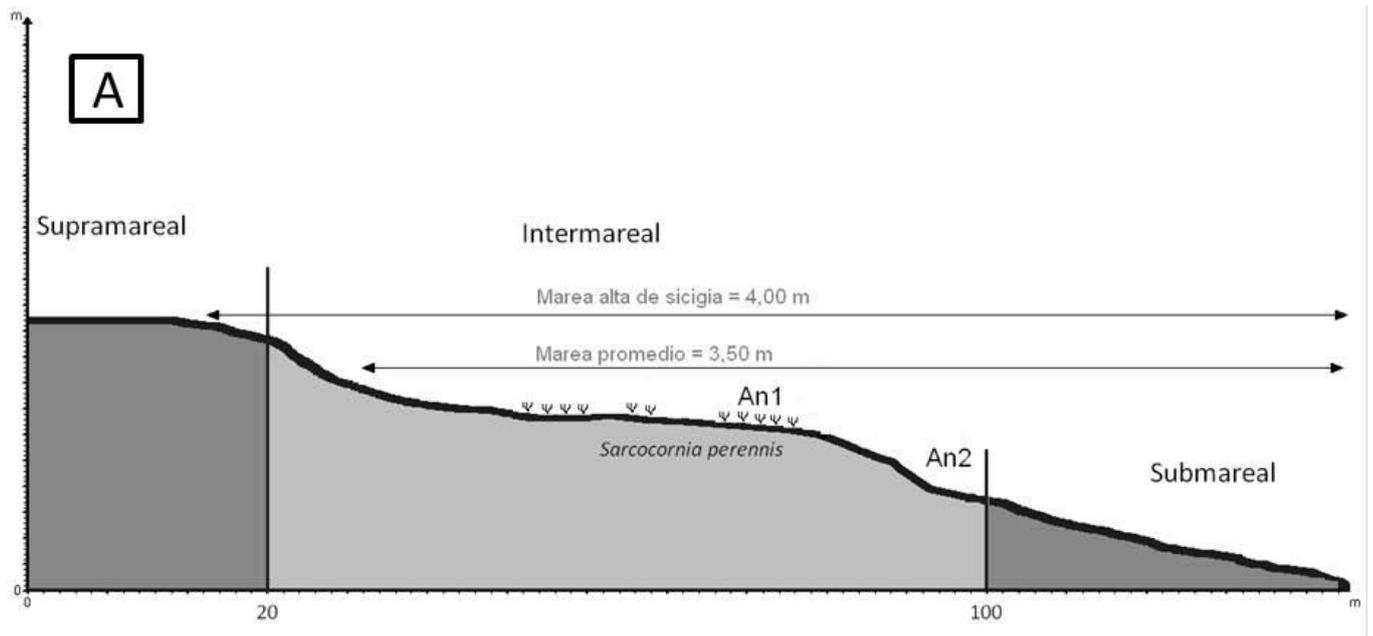


Figura 3. Zonificación de los sitios de muestreo. **A.** Puerto Cuatros. **B.** Villa del Mar.
Figure 3. Zoning of sampling locations. **A.** Puerto Cuatros. **B.** Villa del Mar.

Variables bióticas y ambientales

En la transecta A, la densidad de cuevas de *Neohelice granulata* fue mayor en n_2 (120,4 cuevas. m^{-2}), donde no se registraron especies vegetales (100% suelo desnudo). En la transecta B también se observó una mayor densidad en n_2 (20,8 cuevas. m^{-2}), en este caso el nivel presentó vegetación (Fig.4).

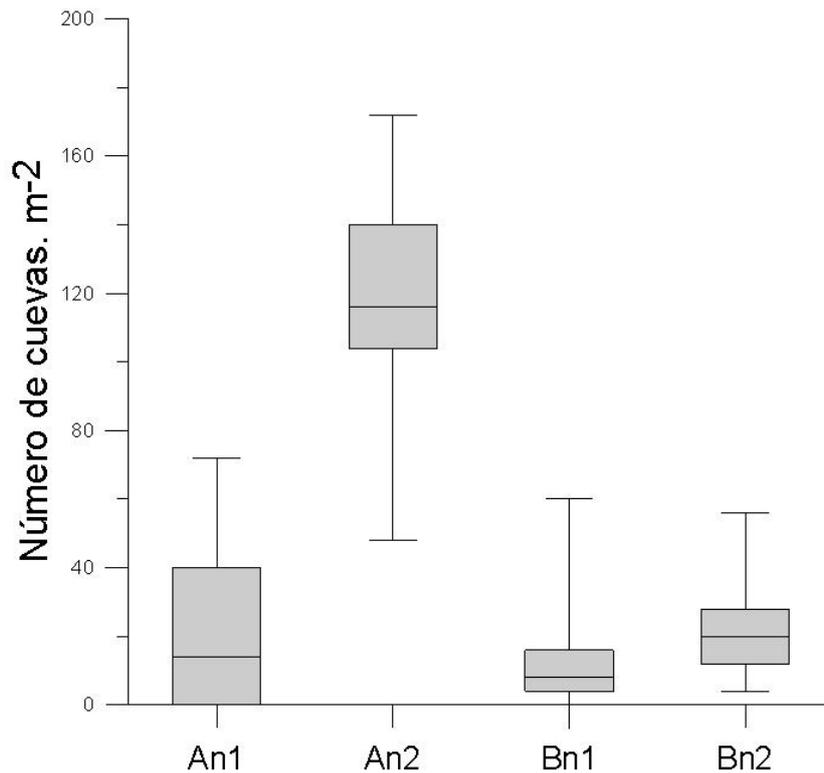


Figura 4. Densidad de cuevas de *Neohelice granulata* en los sitios de muestreo.
Figure 4. Density of *Neohelice granulata*'s burrows in the sampling sites.

Teniendo en cuenta el porcentaje de cobertura vegetal, en ambos sitios de muestreo predominó el suelo desnudo, característico de las geoformas presentes en el estuario. Sin embargo en An₁, se registró un 23,35% de *Spartina densiflora* y un 76,65% de suelo desnudo. En Bn₁ se reconoció 23,25% de *Spartina densiflora*, 22,5% de *Sarcocornia perennis* y 54,25% de suelo desnudo, mientras que en Bn₂ se obtuvo un 14% de *Spartina alterniflora* y un 86% de suelo desnudo.

Durante el periodo de estudio la salinidad media del agua fue de 31.6 y la temperatura del agua de 19.4°C. El oxígeno disuelto se mantuvo en niveles de sobresaturación y el pH fue cercano a la neutralidad. La humedad relativa del 72%, predominaron los vientos con dirección del Nornoroeste y con 22,7 Km de velocidad promedio. No se registraron lluvias en los días anteriores y posteriores a los muestreos.

Difractometría de rayos X

Por difracción de rayos X, se compararon las estructuras minerales de las dos áreas de muestreo. A su vez se contrastó el material en los niveles altos y bajos, sin actividad de los cangrejos y removidos por los mismos. En ambos sitios de muestreo la mineralogía se mantuvo constante siendo los minerales más abundantes cuarzo, feldespato y halita (como sal) y en menor proporción se encontraron las arcillas, como illita y montmorillonita.

Comparando los dos niveles altos, ambos sin actividad biológica (An₁C y Bn₁C) se puede destacar que; el feldespato presenta una mayor cristalinidad en Bn₁C que en An₁C, con sus picos bien definidos y mayor intensidad. Se reconoce el pico doble característico de este mineral en 3.20 y 3.19 Å, comparable con la ficha ICDD 19-1184 (ICDD 1993). Las reflexiones de cuarzo también presentan una mayor intensidad en Bn₁C que en An₁C, con sus máximos valores en 3.34, 4.25 y 1.82 Å (ficha ICDD 33-1161, ICDD 1993). En cuanto al contenido de arcillas, An₁C presenta un mayor desarrollo de estos minerales observándose reflexiones en 4.47 y 2.52 Å, que no se reconocieron en Bn₁C (Fig.5).

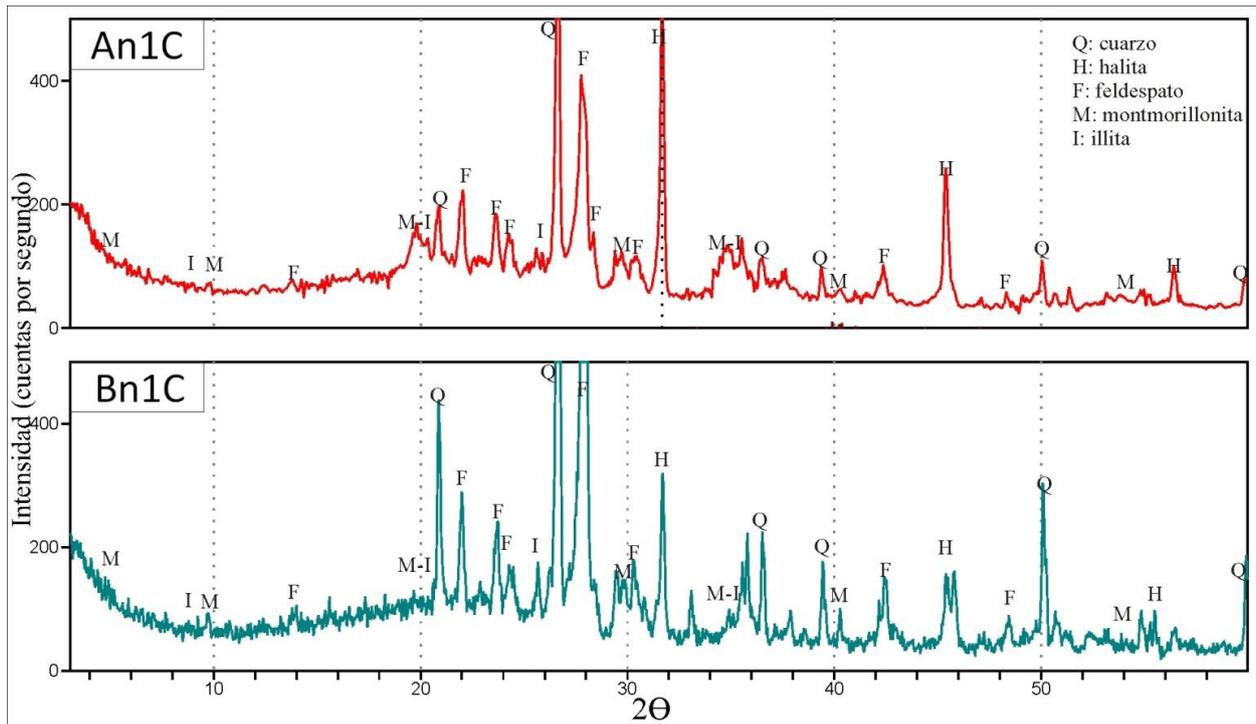


Figura 5. DRX con las intensidades relativas correspondientes a las estructuras minerales (Comparación An₁C vs. Bn₁C).
Figure 5. XRD with relative intensities of mineral structures. (Comparison An₁C vs. Bn₁C).

En las muestras de los niveles altos removidos por la actividad biológica del cangrejo (An₁R y Bn₁R), la fracción del feldespato en Bn₁R es más abundante y sobrepasa la intensidad de los picos del cuarzo cristalino. En An₁R las intensidades se invirtieron, siendo las de cuarzo mayores que las del feldespato. A su vez An₁R, presenta mayor proporción de sal y arcillas que Bn₁R (Fig.6).

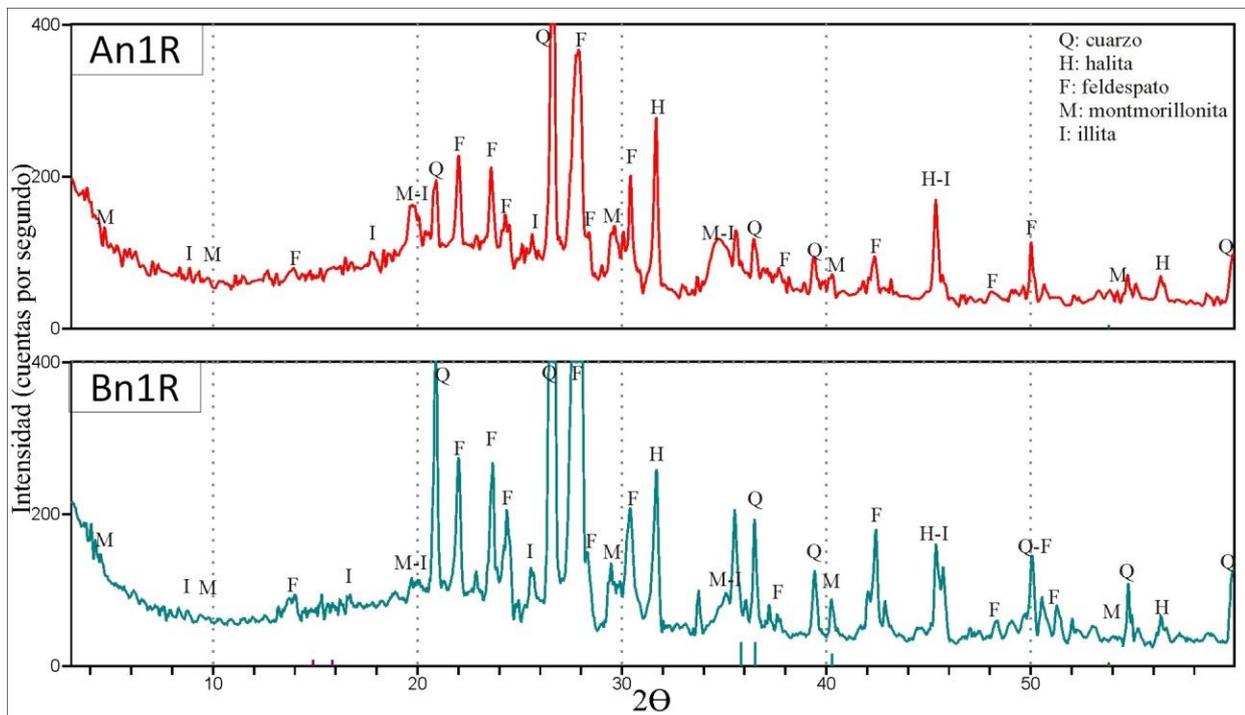


Figura 6. DRX con las intensidades relativas correspondientes a las estructuras minerales (Comparación An₁R vs. Bn₁R).
Figure 6. XRD with relative intensities of mineral structures. (Comparison An₁R vs. Bn₁R).

En cuanto a la estructura de los minerales en los niveles bajos sin remoción biológica (An₂C y Bn₂C), el feldespato presenta reflexiones más intensas en Bn₂C, representando una mayor maduración mineral, que en An₂C. En Bn₂C se observan reflexiones de cuarzo con picos más intensos y definidos, relacionado con una mayor cristalinidad y proporción, que en An₂C. Nuevamente en ésta última, la fracción arcillosa prevalece respecto de las muestras de Bn₂C (Fig.7).

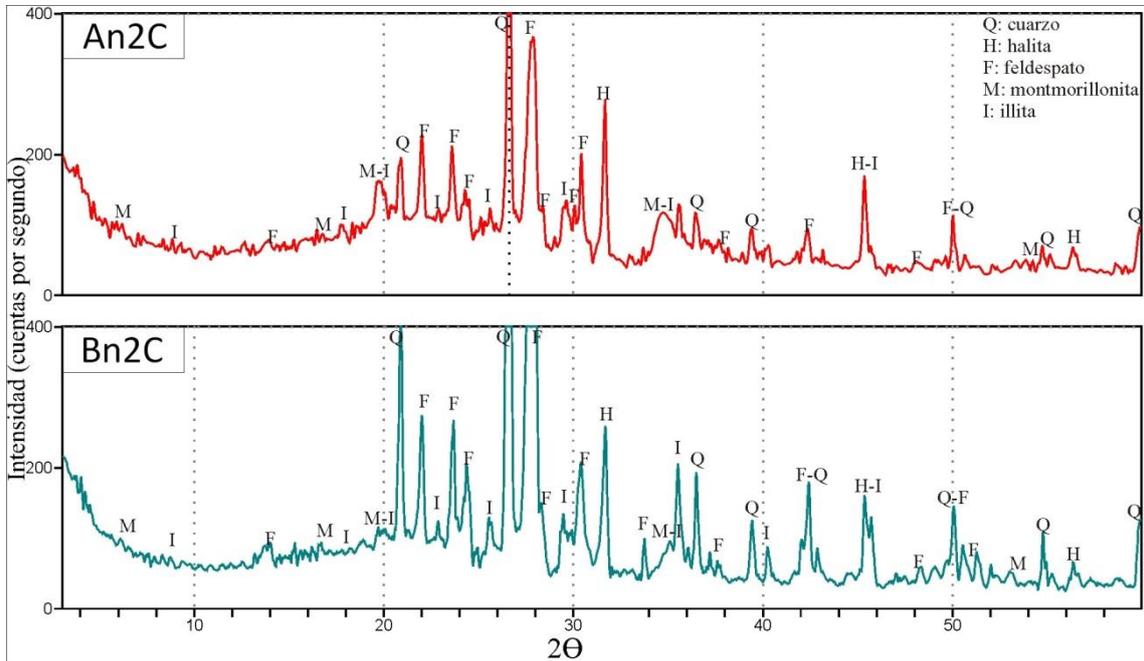


Figura 7. DRX con las intensidades relativas correspondientes a las estructuras minerales (Comparación An₂C vs. Bn₂C).
Figure 7. XRD with relative intensities of mineral structures. (Comparison An₂C vs. Bn₂C).

Con respecto a las muestras del material removido en los niveles bajos (An₂R y Bn₂R), el cuarzo y el feldespato son más abundantes y con picos más definidos, en Bn₂R que en An₂R. Bn₂R presenta las reflexiones de los cloruros (sal) disminuidas con respecto a An₂R. En An₂C el cuarzo se encuentra enriquecido con respecto a An₂R, y este último presenta las arcillas enriquecidas (Fig.8).

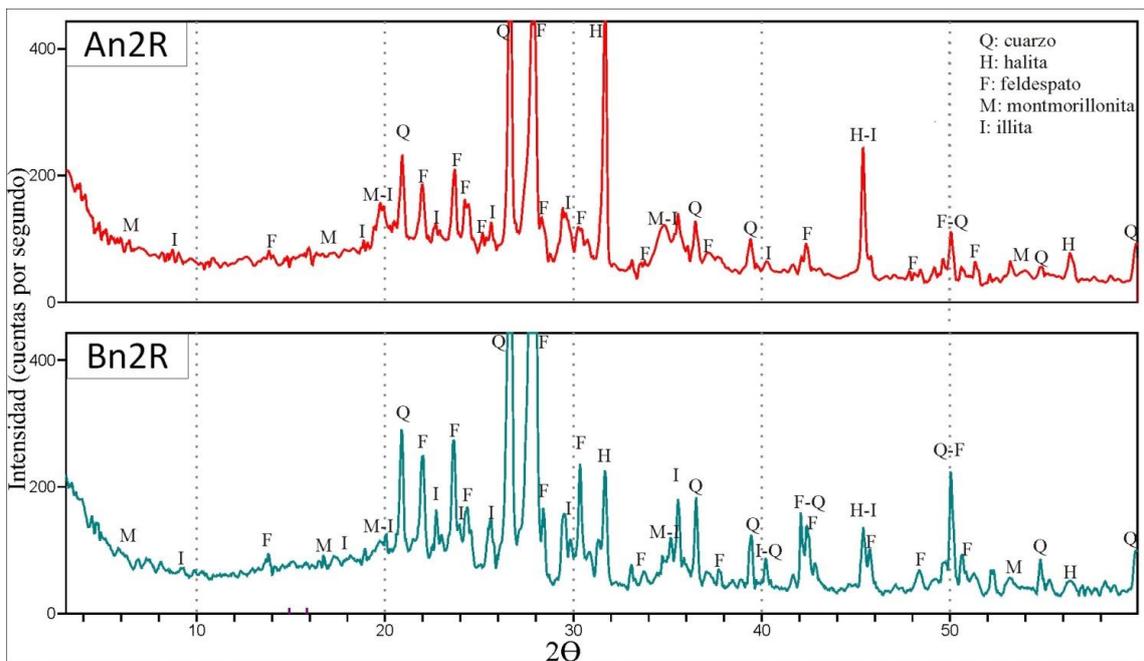


Figura 8. DRX con las intensidades relativas correspondientes a las estructuras minerales (Comparación An₂R vs. Bn₂R).
Figure 8. XRD with relative intensities of mineral structures. (Comparison An₂R vs. Bn₂R).

Mineralogía y granulometría

La mineralogía en ambas transectas fue similar, aunque los porcentuales y la granulometría variaron (Tabla 1). En Puerto Cuatrerros, en los niveles superiores sin remoción biológica (An₁C) se observa que el material es de granulometría limo arenoso (0,05 a 0,02 mm). Los restos orgánicos vegetales corresponden a raíces y los animales a poliquetos. Se detectan numerosas grietas de contracción, debido a la abundancia de material de granulometría arcillosa (fracción menor a 2 µm). El cemento corresponde principalmente a halita, que se halló cristalizada en la superficie del sedimento al secarse (cemento del sedimento) (Fig.9A). En los sedimentos removidos de los niveles superiores (An₁R), se distingue una granulometría y mineralogía similar a la An₁C, de características limosas. Se observa abundante material orgánico vegetal (Fig.9B). En los niveles inferiores no removidos de Puerto Cuatrerros (An₂C) el material es de tipo limo arcilloso (<0.02 mm). El cemento también corresponde a halita y se hallan importantes grietas de desecación (Fig.9C). El material removido de los niveles inferiores (An₂R) es también un limo arcilloso de composición litológica semejante al de control. Al secarse, se generaron importantes grietas de desecación en la muestra como consecuencia de la cantidad de materiales arcillosos (fracción 2 µm) aunque de menor tamaño que en la muestra control. Los biolitos observados fueron de dimensiones menores, no superaron los 2 mm. (Fig.9D).

	Transecta A				Transecta B			
	nivel 1		nivel 2		nivel 1		nivel 2	
	C	R	C	R	C	R	C	R
Cuarzo	25	20	25	20	35	18	40	42
Areniscas síliceas	15	15	18	18	35	30	12	3
Minerales arcillosos	45	45	50	50	12	28	30	30
Vulcanitas	8	8	3	3	8	5	8	5
Feldespatos	-	-	-	-	2	2	4	4
Trizas de vidrio	-	-	-	-	2	2	-	-
Biolitos	3	5	1	2	4	3	3	2
Restos orgánicos	2	5	1	5	-	10	-	10
Halita	2	2	2	2	2	2	3	4
	<i>Limo arenoso</i>		<i>Limo arcilloso</i>		<i>Arena mediana</i>		<i>Arena fina</i>	

Tabla 1. Composición mineralógica de los sedimentos analizados (%) (C=control y R=removido)
Table 1. Mineralogical composition of analyzed sediments (%) (C=control and R=removed)

En cuanto al material estudiado en Villa del Mar; el sedimento no removido del nivel alto (Bn₁C) está constituido por arena mediana (0,25 a 1mm) con escasa matrix inconsolidada. El escaso cemento es principalmente cloruro de sodio (halita). Se puede observar en superficie las eflorescencias de cloruro de sodio. La sal se reconoce precipitada sobre las partículas del sedimento. En algunos sectores la porosidad es más visible. Se observan partículas de color blanquecino de pocos milímetros, correspondientes a fragmentos de valvas (biolitos) (Fig.10A). El material removido de los niveles superiores (Bn₁R) presenta una mayor abundancia de partículas menores a 2 µm. Los minerales arcillosos son principalmente montmorillonita con illita subordinada. Los fragmentos de valvas son muy delgados. Se observan grietas de desecación que se producen al secarse el sustrato, indicio de la presencia de partículas menores de 2 µm (arcillas según el tamaño de partículas) y abundante material orgánico vegetal (Fig.10B). Los sedimentos control de los niveles inferiores de Villa del Mar (Bn₂C), están constituidos por una arena de grano fino (0,05 a 0,25 mm). La matrix es escasa y el cemento es más abundante, constituido por halita y arcillas (montmorillonita + illita). Las partículas son más finas que en los niveles superiores (Bn₁C) y el cemento es salino (Fig.10C). En los sedimentos removidos de los niveles bajos (Bn₂R) el material particulado está enmascarado por el material más fino (principalmente arcilla menor a 2 µm y limo) y cementado débilmente por halita. Puede decirse a su vez que el cuarzo es más abundante, las vulcanitas de colores oscuros están menos presentes y se observa un aumento salino, comparado con el material sin remover. Las valvas presentan mayor desarrollo. Se destaca la disminución en el tamaño de granulometría con respecto a Bn₂C (Fig.10D).

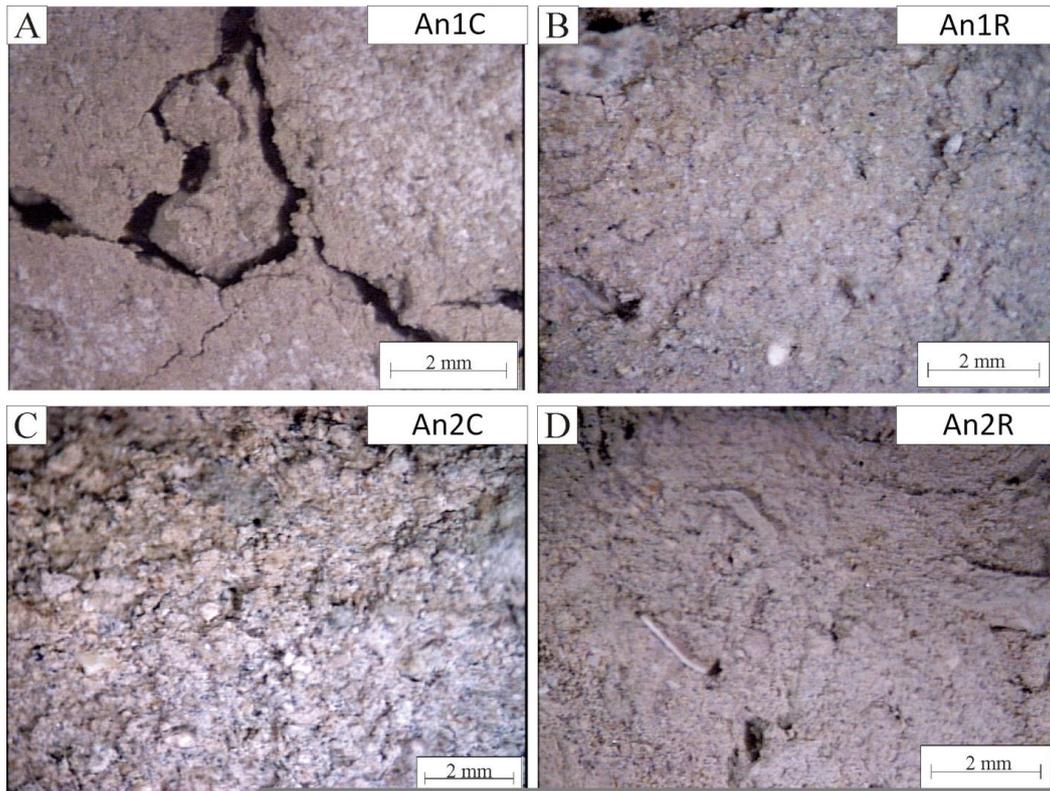


Figura 9. Morfología y mineralogía de los sedimentos de Puerto Cuatrerros. **A.** An₁C, con importantes grietas de contracción. **B.** An₁R. **C.** An₂C. **D.** An₂R.

Figure 9. Morphology and mineralogy of Puerto Cuatrerros's sediments. **A.** An₁C, with significant shrinkage cracks. **B.** An₁R. **C.** An₂C. **D.** An₂R.

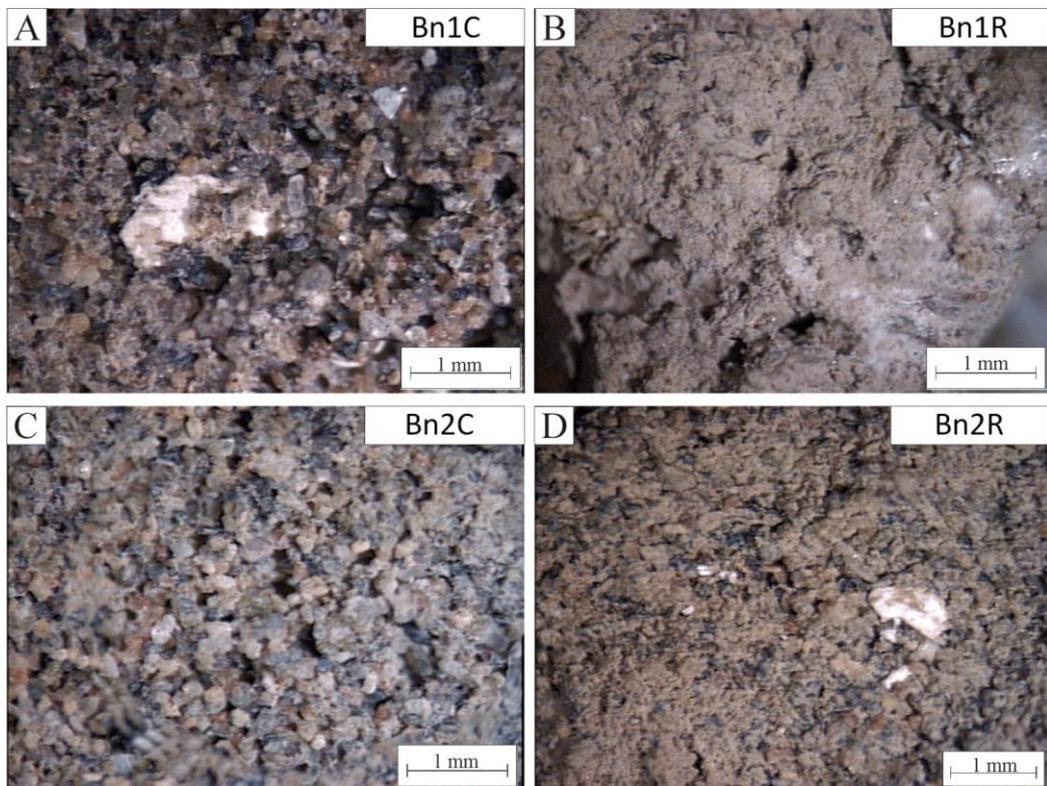


Figura 10. Morfología y mineralogía de los sedimentos de Villa del Mar. **A.** Bn₁C. **B.** Bn₁R. **C.** Bn₂C. **D.** Bn₂R, destacándose la presencia de valvas.

Figure 10. Morphology and mineralogy of Villa del Mar's sediments. **A.** Bn₁C. **B.** Bn₁R. **C.** Bn₂C. **D.** Bn₂R, highlighting the presence of valves.

DISCUSIÓN

El conocimiento de la textura y la composición mineralógica de los sedimentos en ambientes de marismas es fundamental para los estudios que estén vinculados desde el punto de vista físico, químico, biológico, ingenieril y ambiental. Los análisis mineralógicos en sedimentos pertenecientes a la zona más interna del estuario de Bahía Blanca, se efectuaron únicamente sobre el fondo del Canal Principal de navegación. Marcos (1985, 1999) analizó la fracción fina y mediana. Este autor halló que la fracción fina estuvo dominada por la presencia de esmectita, caracterizada por una beidelita, mientras que la illita y clorita estuvieron en pequeñas cantidades. La fracción mediana estuvo dominada por hipersteno, auguita y alteritas, y el cuarzo en menor proporción. Nuestros resultados difieren de los hallados por Marcos (1985, 1999); debido a que éste, analizó en forma separada las fracciones fina, mediana y gruesa. En el presente estudio, la metodología fue diferente, ya que la bioturbación es un complejo proceso de remoción de todo el sedimento, sin distinguir fracciones. Nuestros datos revelaron que el sedimento se encontró dominado por minerales como cuarzo y feldespato, siendo la fracción arcillosa (illita y montmorillonita) más significativa para el intermareal de Puerto Cuatreros, constituyendo los primeros resultados mineralógicos de una zona intermareal que no ha sido estudiada con anterioridad. En cuanto a los niveles muestreados, no se hallaron variaciones importantes en la mineralogía de los sedimentos, no obstante las diferencias residieron entre los sitios de muestreo.

Los sedimentos removidos por la actividad biológica en ambos sitios de muestreo, tuvieron una composición mineralógica similar a los sedimentos control pero acompañados por materiales arcillosos y enriquecidos por abundante material orgánico vegetal; esto es debido a la bioturbación que realizan los cangrejos. La actividad cavadora de esta especie atrapa sedimentos con alto porcentaje de limo y materia orgánica. Este sedimento que se acumula en el túnel de las cuevas es tomado por los cangrejos, durante la marea baja y es llevado a la superficie en la boca de las mismas. De esta manera ponen a disposición de la planicie un sedimento enriquecido con aportes de origen vegetal y/o animal, que le confiere nuevas características. De esta forma el estuario puede considerarse como una "trampa nutricia" que en parte es física y en parte biológica. La retención y la rápida nueva circulación de los elementos nutritivos por el bentos y la recuperación de nutrientes de sedimentos profundos por la actividad microbiana, raíces vegetales y organismos bioturbadores crean un sistema de "auto-enriquecimiento". De esta forma el estuario se considera un sistema exportador de nutrientes, aportando de forma significativa al mar abierto (Kuenzler, 1961; Pomeroy *et al.*, 1965, 1969).

Dada la alta densidad media de cuevas encontradas en la transecta A, se considera que la población de *Neohelice granulata* en Puerto Cuatreros es mayor que la de Villa del Mar. Por otro lado, nuestros resultados arrojaron que la fracción arcillosa prevaleció en Puerto Cuatreros y que los minerales con mayor dureza (como el cuarzo y el feldespato) se presentaron en mayor proporción en sitios no removidos por la especie. Esto podría estar relacionado con que los cangrejos seleccionarían sectores para movilizarse y construir sus cuevas en sustratos con menor dureza, donde puedan remover y escavar con facilidad; esta conjunción de características se ve reflejada en la zona de Puerto Cuatreros. Por otro lado se conoce que la colonización del intermareal por *Neohelice granulata* es facilitada por la presencia de plantas; *Spartina densiflora*, *Spartina alterniflora* y *Sarcocornia perennis* que generan zonas de sombreado haciendo que el sedimento se mantenga húmedo, blando y más propenso a ser excavado (Bortolus *et al.*, 2002). Sin embargo dentro de la transecta A, la densidad de cuevas fue mayor en las zonas bajas. Esto no podría relacionarse con la presencia de vegetación, ya que el sector tiene suelo desnudo. Por lo tanto en este caso el factor influyente es la proximidad al submareal; confiriéndole una ventaja reproductiva para la especie.

Sobre la base de estudios previos (Gelós *et al.*, 2004) realizados sobre el Canal Principal y canales secundarios del estuario de Bahía Blanca, se puede señalar que los sedimentos están constituidos por mezclas de tres tamaños de partículas (*Gruesa* > 2mm, *Mediana* = 2 < 0,062mm y *Fina* < 0,062mm) en proporciones variables. Estos autores señalan que las fracciones dominantes corresponden a arenas medianas a finas y a tamaños muy finos tales como limo y arcilla. Nuestros resultados son coincidentes con lo citados por Gelós *et al.* (2004) para el estuario de Bahía Blanca. Por otra parte estos mismos autores señalan que la fracción arenosa predomina hacia la zona externa; canales, bancos, islas, playas, médanos, etc. y la fracción fina (limo y arcilla) prevalece en sedimentos depositados en la zona interna al estuario, principalmente en geofomas como llanuras de marea, veriles de canales y bancos inferiores. Este fenómeno también se vio reflejado en ambos sitios de muestreo; Puerto Cuatreros representando a la zona interna y Villa del Mar a la zona media-externa del Estuario.

Se tiene conocimiento que las planicies de marea se encuentran dominadas por la sedimentación de materiales cohesivos (arcillas limosas) mientras que en los sectores más profundos y desembocadura de canales, se encuentra principalmente arena en tránsito. La distribución genérica de los materiales sedimentarios es una consecuencia directa de la dinámica del ambiente: por ejemplo, las especies vegetales presentes disipan notoriamente la energía del agua que ingresa. Durante la bajante, las planicies de marea quedan emergidas y por lo tanto los materiales allí depositados no pueden ser resuspendidos. Sin embargo los materiales cohesivos que pudieron llegar a depositarse en los canales de marea durante las estoas de pleamar o bajamar son resuspendidos cuando ocurren las máximas velocidades de corrientes durante media marea creciente y media marea bajante (Cuadrado *et al.*, 2004). *Neohelice granulata*, por otra parte, contribuye a la acumulación de

partículas finas dada la característica forma de sus cuevas. El sedimento removido de ellas queda expuesto al oleaje y puede ser transportado de diversas maneras. Generalmente pueden persistir por varios ciclos de marea y acumularse como un material superficial denso, ya que es muy cohesivo y poco transportable (Botto e Iribarne, 2000). Todos estos procesos geomorfológicos, hidrodinámicos y biosedimentarios interactúan en este complejo ambiente estuarial.

Agradecimientos. Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por el apoyo brindado.

REFERENCIAS

- Alberti, J., M. Escapa, O.O. Iribarne, B. Silliman and M. Bertness, 2008. Crab herbivory regulates plant facilitative and competitive processes in Argentinean marshes. *Ecology* 89, 155-164.
- Aliotta, S. and G.M.E Perillo, 1987. A sand wave field in the entrance to Bahía Blanca estuary, Argentina. *Marine Geology* 76, 1-14.
- Bortolus, A. and O. Iribarne, 1999. Effects of the burrowing crab *Chasmagnathus granulatus* on a *Spartina* salt marsh. *Marine Ecology Progress Series* 178, 78-88.
- Bortolus, A., E. Schwindt and O. Iribarne, 2002. Positive plant-animal interactions of an Argentinean coastal lagoon. *Ecology* 83, 733-742.
- Botto, F. and O. Iribarne, 2000. Contrasting effects of two burrowing crabs (*Chasmagnathus granulatus* and *Uca uruguayensis*) on sediment composition and transport in estuarine environments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 51, 141-151.
- Botto, F., I. Valiela, O. Iribarne, P. Martinetto and J. Alberti, 2005. Effect of burrowing crabs in isotope signatures of sediment, primary producers, and the food web in SW Atlantic salt marshes. *Marine Ecology Progress Series* 293, 155-164.
- Botto, F., O. Iribarne, J. Gutierrez, J. Bava, A. Gagliardini, and I. Valiela, 2006. Ecological importance of passive deposition of organic matter into burrows of the SW Atlantic crab *Chasmagnathus granulatus*. *Marine Ecology Progress Series* 312, 201-210.
- Caló, J., G. Espósito and R. Lafond. 1985. Nuevo tipo de geoformas presentes en las planicies de marea de Bahía Blanca. *Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Tandil, Argentina.
- Casariago, A., T. Luppi, O. Iribarne and P. Daleo, 2011. Increase of organic matter between marshes and tidal flats by the burrowing crab *Neohelice (Chasmagnathus) granulata* Dana in SW Atlantic salt marshes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 401, 110-117.
- Cervellini, P., 2001. Variabilidad de la abundancia y retención de larvas de crustáceos decápodos en el estuario de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Investigaciones Marinas* 29, 25-33.
- Cuadrado, D., 1993. Evolución geomorfológica del área del canal del Toro, estuario de Bahía Blanca. Tesis doctoral. Departamento de Graduados, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina 97 pp. Inédito.
- Cuadrado, D.G., S.S., Ginsberg y E.A. Gómez, 2004. Geomorfología. M.C. Piccolo y M.S. Hoffmeyer (Eds.), *Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, Argentina, pp.29-38.
- Dana, J.D., 1851. Crustacea Grapsoidea, (Cyclometopa, Edwardsii): Conspectus Crustacearum quae in Orbis Terrarum circumnavigatione, Carolo Wilkes e classe Reipublicae Foederatae Duce, lexit et descriptis J.D. Dana. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 5, 247-254.
- Escapa, M., D.R. Minkoff, G.M.E. Perillo and O. Iribarne, 2007. Direct and indirect effects of burrowing crab *Chasmagnathus granulatus* activities on erosion of southwest Atlantic Sarcocornia-dominated marshes. *Limnology and Oceanography* 52(6), 2340-2349.
- Escapa, M., G.M.E. Perillo and O. Iribarne, 2008. Sediment dynamics modulated by burrowing crab activities in contrasting SW Atlantic intertidal habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80, 365-373.
- Espósito, G., 1986a. Contribución del estudio de las texturas superficiales de los granos de cuarzo a la determinación de las fuentes de aporte de arena en la zona exterior del Canal Principal (Bahía Blanca). *Resumen Primera Reunión Argentina de Sedimentología*. Oct. 1986, La Plata, Argentina.
- Espósito, G. and A. Marcos, 1988. Fuente de aporte de sedimento a la zona interna de Bahía Blanca (Provincia de Buenos Aires). *Actas de la Segunda Jornada Geológica Bonaerense*, 463-472. Bahía Blanca. Argentina.
- Etchichury, M.C. and J.R. Remiro, 1960. Muestras de fondo de la plataforma continental comprendida entre los paralelos 34° y 36° de Latitud Sur y los meridianos 53°10' y 56°30' de Longitud Oeste. *Rev. Mus. Arg. Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia*. *Geología* 7(4), 198-263.
- Etchichury, M.C. and J.R. Remiro, 1963. La corriente de Malvinas y los sedimentos pampeano-patagónicos. *Rev. Mus. Arg. Cienc. Nat. B. Rivadavia*. *Geología* 1 (120), 1-11.

- Fanjul, E., M.A. Grela and O. Iribarne, 2007. Effects of the dominants SW Atlantic intertidal burrowing crab *Chasmagnathus granulatus* on sediment chemistry and nutrient distribution. *Marine Ecology Progress Series* 341, 177-190.
- Fanjul, E., M.A. Grela, A. Canepuccia and O. Iribarne, 2008. The Southwest Atlantic intertidal burrowing crab *Neolice granulata* modifies loads of phreatic waters entering coastal area. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79, 300-306.
- Fanjul, E., M.C. Bazterrica, M. Escapa, M.A. Grela and O. Iribarne, 2011. Impact of crab bioturbation on benthic flux and nitrogen dynamics of Southwest Atlantic Intertidal marshes and mudflats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92, 629-638.
- Gelós, E.M. and E. Chaar, 1988. Estudio sedimentológico, mineralógicos de testigos de la plataforma continental Argentina entre los paralelos 39° y 42° de latitud Sur. *Actas de la Segunda Jornada Geológica Bonaerense*, 441-451.
- Gelós, E.M. and J. Spagnuolo, 1982. Estudio composicional de los sedimentos de fondo de la ría de Bahía Blanca entre Puerto Cuatros y Puerto Ingeniero White. IADO (Bahía Blanca, Argentina), *Contr. Client.* N° 55, 43 pp.
- Gelós, E.M. and J. Spagnuolo, 1986. Estudio mineralógico de las arenas ferrotitaníferas de la costa norte de la Isla Wood, Provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Arg. Min. Petr. y Sed.*, 17(1-4), 39-46.
- Gelós, E.M. and J. Spagnuolo, 1989. Aspectos mineralógicos de los sedimentos de fondo de la ría de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. *Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses* 157-170.
- Gelós, E.M., J. Spagnuolo and A., Marcos, 1987. Estudio estadístico de las arenas ferrotitaníferas de la costa norte de la Isla Wood, Prov. Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina XLII* (1-2), 39-52.
- Gelós E.M., A.O. Marcos, J.O. Spagnolo y R.A Schillizi, 2004. Textura y Mineralogía de Sedimentos. M.C. Pícolo y M.S. Hoffmeyer (Eds.), *Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, Argentina, pp.43-50.
- Ginsberg, S., 1993. Evolución geomorfológica de canales de marea del estuario de Bahía Blanca. Tesis doctoral. Departamento de graduados, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. 180 pp. Inédita.
- Gómez, E., 1983. Estudio mineralógico de sedimentos de un área de la plataforma continental adyacente a la Ría de Bahía Blanca. Tesis de Licenciatura en Oceanografía. Universidad Nacional del Sur, Argentina, 70 pp. Inédita.
- Gómez, E., 1988. Geomorfología y sedimentología del sector marítimo exterior al canal Bermejo (Estuario de Bahía Blanca). Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Argentina. 176 pp. Inédita.
- Gómez, E., D.G., Cuadrado and J.O. Pierini, 2010. Sand transport on an estuarine submarine dune field. *Geomorphology* 121, 257-265.
- Gómez, E., S.S, Ginsberg y G.M.E. Perillo, 1996. Geomorfología y sedimentología de la zona interior del Canal Principal del Estuario de Bahía Blanca. *Revista Asociación Argentina de Sedimentología* 3(2),55-61.
- Gregati, R.A. and M.L. Negreiros-Fransozo, 2007. Relative Growth and morphological sexual maturity of *Chasmagnathus granulatus* (Crustacea, Varunidae) from a mangrove area in southeastern Brazilian coast. *Iheringia, Serie Zoológica, Porto Alegre*, 97(3), 268-272.
- Gutiérrez, J.L., C.G. Jones, P.M. Groffman, S.E.G. Findlay, O. Iribarne, P.D. Ribeiro and C.M. Bruschetti, 2006. The contribution of crab burrow excavation to carbon availability in surficial salt-marsh sediments. *Ecosystems* 9, 647-658.
- International centre for diffraction data (ICDD), 1993. Mineral powder diffraction file. Databook, Park Lane. Swarthmore. Pennsylvania. 2389 pp.
- Iribarne, O., A. Bortolus and F. Botto, 1997. Between, habitats differences in burrow characteristics and trophic modes in the Southwestern Atlantic burrowing crab *Chasmagnathus granulatus*. *Marine Ecology Progress Series* 155, 132-145.
- Jumars, P.A. and A.R.M. Nowell, 1984. Fluid and sediment dynamic effects on marine benthic community structure. *American Zoologist* 24, 45-55.
- Kuenzler E.J., 1961. Structure and energy flow in a mussel population in a Georgia saltmarsh. *Limnology and Oceanography* 6, 191-204.
- Losada, O. and E. Chaar, 1968. Estudio preliminar de los sedimentos de fondo de la Bahía Blanca. *Actas III Jornadas Geológicas Argentinas* 81-92.
- Marcos, A., 1985. Etude mineralogique des sediments du Golfe Normand-Breton (France) et de la baie de Bahía Blanca (Argentine). Application á la dynamique sédimentaire. Thèse 3éme Cycle, Université de Paris 6, 162 pp. Inédita.
- Marcos, A., 1999. Etude minéralogique des sediments de l'estuarie de Bahía Blanca, Argentine. Application á la dynamique sédimentaire actuelle. *Geoacta* 24, 19-30.
- Melo, W.D., 2004. Orígenes morfológicos. M.C. Pícolo y M.S. Hoffmeyer (Eds.), *Ecosistema del Estuario de Bahía Blanca*, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca, Argentina, pp. 21-27.

- Menone, M., K.S.B. Miglioranza, O. Iribarne, J.E.A. Aizpún de Moreno and V.J. Moreno, 2004. The role of burrowing beds and burrows of the SW Atlantic intertidal crab *Chasmagnathus granulata* in trapping organochlorine pesticides. *Marine Pollution Bulletin* 48, 240-247.
- Meysman, F.J.R., J.J. Middelburg and C.H.R. Heip, 2006. Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea. *Trends in Ecology and Evolution* 21, 688-695.
- Minkoff, D.R., M. Escapa, F.E. Ferramola, S.D Maraschin, J.O Pierini, G.M.E. Perillo and C. Delrieux, 2006. Effects of crab-halophytic plant interactions of creek growth in a S.W. Atlanthinc Salt marsh: A Cellular Automata model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 69, 403-413.
- Murray, J.M.H., A. Meadows and P.S. Meadows, 2002. Biogeomorphological implications of microscale interactions between sediment geotechnics and marine benthos: a review. *Geomorphology* 47, 15-30.
- Nowell, A.R.M., P.A. Jumars and J.E. Eckman, 1981. Effects of biological activity on the entrainment of marine sediment. *Marine Geology* 42, 133-153.
- Perillo, G., 1989. Estuario de Bahía Blanca. Definición y posible origen. *Boletín Centro Naval*, N°107, 333-344.
- Perillo, G.M.E., E.A. Gómez, D.G. Cuadrado, E. Alberdi, A. Vitale and M.C. Piccolo, 2009. Geomorphology and sediment dynamics of the middle reach of the Bahía Blanca. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics: RCEM 2009. Vionnet *et al.* (eds), Taylor & Francis Group, London 1, 237-241.
- Pierini, J.O., 2007. Circulación y transporte en zonas costeras del estuario de Bahía Blanca. PhD Thesis, Universidad de Buenos Aires, pp:225. Inédita.
- Pomeroy, L.R., F.E., Smith and C.M. Grant, 1965. The exchange of phosphate between estuarine water and sediments. *Limnology and Oceanography* 10, 176-172.
- Pomeroy, L.R., R.E., Johannes, E.P., Odum and B. Roffman, 1969. The phosphorus and zinc cycles and productivity of a salt marsh. D.J. Nelson and F.C. Evans (Eds.), *Symp. Radioecol., Proc. 2nd Nat. Symp.* Ann Arbor, Mich, pp 412-419.
- Posey, M.H., 1987. Influence of relative mobilities on the composition of benthic communities. *Marine Ecology Progress Series* 39, 99-104.
- Suchanek, T.H., 1983. Control of seagrass community and sediment distribution by *Callinassa* (Crustacea, Thalassinidea) bioturbation. *Journal of Materials Research* 41, 281-298.
- Talley, T.S., J.A. Crooks y L.A Levin, 2001. Habitat utilization and alteration by the burrowing isopod *Sphaeroma quoyanum* in California salt marshes. *Marine Biology* 138, 561-573.
- Widdows, J., M.D. Brinsley, N. Bowley and C. Barrett, 1998. A benthic annular flume for in situ measurement of suspension feeding/biodeposition rates and erosion potential of intertidal cohesive sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46, 27-38.
- Widdows, J., S. Brown, M.D. Brinsley, P.N. Salked and M. Elliott, 2000. Temporal changes in intertidal sediment erodability: influence of biological and climatic factors. *Continental Shelf Research* 20, 1275-1289.

Aceptado: 18-09-2014

Recibido: 27-03-2014