



Universidad Nacional De Sur

Tesis para optar al título de
Doctor en Ciencias Biológicas

DINÁMICA DEL TRANSPORTE DE ZOOPLANCTON
EN EL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA

Carlo Javier Chazarreta

Dirección: Dra. Mónica S. Hoffmeyer

Co-dirección: Dra. Diana G. Cuadrado

Bahía Blanca, Argentina

-2015-

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 (Dto. BByF – UNS) y del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO), dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), durante el período comprendido entre el 01 de abril de 2010 y el 31 de diciembre de 2014, bajo la dirección de las Doctoras Mónica S. Hoffmeyer (IADO-CONICET) y Diana G. Cuadrado (IADO-CONICET).

Lic. Carlo Javier Chazarreta

Febrero de 2015

Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Postgrado y Educación Continua

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

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mis directoras Mónica S. Hoffmeyer y Diana G. Cuadrado por el apoyo que me han brindado desde el inicio de este trabajo.

A la Dirección del Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia y del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO) por brindarme lugar de trabajo y los medios necesarios para realizar mi trabajo.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por otorgarme la beca para realizar mi Doctorado.

Al personal de la embarcación Buen Día Señor perteneciente al IADO: Camilo Bernárdez, Enio Redondo, Alberto Conte y Juan Albrizio por su trabajo en las campañas de muestreo.

A Luis Kaufman por su apoyo técnico durante las campañas de muestreo.

A Ernesto Alberdi por su participación en las mediciones de corrientes realizadas en los muestreos y por responder a mis consultas sobre el tratamiento de los datos.

A la Dra Anabela Berasategui, Dra. M. Sofía Dutto, Dra. M. Celeste López Abbate, Dra. Cecilia Carcedo por las sugerencias realizadas.

A todos mis compañeros de la biblioteca del IADO por su ayuda.

RESUMEN

En el estuario de Bahía Blanca se encuentra un importante número de organismos planctónicos que están sometidos a la dinámica del ambiente. La fuerza de la marea es el principal factor modelador de la circulación en el estuario y causa un flujo periódico de entrada y de salida de agua dentro y fuera del estuario. Los organismos planctónicos son transportados por estos flujos hacia el interior y el exterior del estuario por una combinación de factores físicos y biológicos. Los objetivos principales de este trabajo fueron analizar la distribución vertical del mesozooplankton en relación a los distintos estados de marea y cuantificar el transporte del zooplankton en dos zonas del estuario de Bahía Blanca. Para ello se tomaron muestras de zooplankton y se midió la velocidad de la corriente en la zona interna y media del canal principal del estuario. Estos muestreos fueron realizados en simultaneo cada tres horas a lo largo de un ciclo completo de marea y en dos estratos de la columna de agua. Las muestras de zooplankton se extrajeron por medio de un sistema compuesto por bombas de succión y redes de plancton. Para medir la velocidad de la corriente se utilizó un correntómetro de tipo (ADCP) "Acoustic Doppler Current Profiler". La marea influyó sobre la distribución vertical del mesozooplankton en la zona interna y media del estuario de Bahía Blanca, y los principales taxa hallados en las muestras responden de formas diferentes a la influencia de la marea. El transporte de zooplankton fue variable en la sección del canal, principalmente en la zona media donde se observó una circulación diferencial entre el veril sur y el resto del canal. En la zona interna generalmente fueron observadas mayores diferencias entre la capa superficial y la de fondo, las cuales tuvieron en algunos casos flujos de organismos de sentidos opuestos. Se planteó la hipótesis de que los organismos son retenidos en la zona interna y exportados en la zona media. Esta hipótesis se cumplió para el mesozooplankton total pero el transporte estuvo influenciado tanto por la circulación como por el comportamiento biológico. Las diferencias entre los patrones de transporte del MPS y el de los organismos sugieren algún tipo de comportamiento por parte de estos que determina el transporte horizontal. Este tipo de comportamiento es característico de cada grupo y dependiente de las condiciones del lugar ya que los taxa analizados presentaron diferentes patrones de transporte entre ellos y entre las zonas estudiadas. Para los copépodos *Acartia tonsa* y *Eurytemora americana* se hallaron diferencias entre el transporte de los distintos estadios de desarrollo (adultos-copepoditos, nauplii).

ABSTRACT

In the Bahía Blanca Estuary planktonic organisms are subject to the environmental dynamic. The tidal force is the main factor that models the circulation of the estuary and causes a periodic flood and ebb currents in the estuary. The planktonic organisms are transported by these flows towards the interior and the outer zone of the estuary by a combination of physical and biological factors. The main objectives of this study were to analyze the vertical distribution of mesozooplankton in relation to the different conditions of the tide, and to quantify and analyze the zooplankton transport in two areas of the Bahía Blanca Estuary. Thus, zooplankton samples were taken and the current speed was measured simultaneously in the inner and middle zone of the estuary in several months. These samplings were conducted at the same time every three hours over a complete tidal cycle and in two layers of the water column, surface and bottom. Zooplankton samples were obtained using a system composed of two zooplankton pumps and plankton nets. An 'Acoustic Doppler Current Profiler' (ADCP) was used to measure the magnitude and direction of the current speed. The tide influenced the vertical distribution of the mesozooplankton in the inner and middle zone of the Bahía Blanca Estuary and also in the main taxa sampled. The transport of zooplankton was variable in the channel section mainly in the middle zone where a differential circulation was observed between the south flank and the rest of the channel. In the inner zone, larger differences in current magnitude were observed between the superficial and the bottom layers, which showed opposite directions in some cases. The hypothesis that the organisms are retained in the inner zone and exported to the middle zone was tested. This hypothesis was true for the total mesozooplankton but transport was influenced by the circulation as well as the biological behaviour. Differences between the Suspended Particulate Matter (SPM) transport and the plankton transport patterns suggest a kind of biological behaviour that determines the horizontal transportation. This behaviour seems to be particular from each planktonic group and may depend on local environmental conditions since the analyzed taxa showed different transport patterns between them and between the two studied areas. Differences in the transportation of the different developmental stages (adults-copepodites and nauplii) of the copepods *Acartia tonsa* and *Eurytemora americana* were found.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
ÍNDICE	3
1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	5
1.1.1 <i>Objetivos generales</i>	8
1.1.2 <i>Hipótesis de trabajo</i>	8
1.2 MATERIALES Y MÉTODOS	9
1.2.1 <i>Área de estudio</i>	9
1.2.2 <i>Sitios de muestreo</i>	10
1.2.3 <i>Trabajos de laboratorio</i>	13
1.2.3.1 Clorofila a y feopigmentos	13
1.2.3.2 Material particulado en suspensión (MPS) y material orgánico particulado (MOP)	13
1.2.3.3 Zooplancton	14
1.3 REFERENCIAS	15
2 VARIABLES AMBIENTALES	17
2.1 INTRODUCCIÓN.....	17
2.1.1 <i>Objetivo</i>	18
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
2.2.1 <i>Tratamiento numérico de los datos</i>	19
2.2.1.1 Material particulado en suspensión (MPS)	19
2.2.1.2 Material orgánico particulado (MOP)	19
2.2.1.3 Velocidad de la corriente	19
2.2.2 <i>Tratamiento estadístico de los datos</i>	20
2.3 RESULTADOS.....	22
2.3.1 <i>Estuario interno</i>	22
2.4.1 <i>Estuario medio</i>	28
2.4.2 <i>Comparación entre los dos sitios</i>	34
2.4.2.1 Análisis univariado	34
2.4.2.2 Análisis multivariado	36
2.4.3 <i>Velocidad de la corriente</i>	38
2.4.3.1 Estuario interno.....	38
2.4.3.2 Estuario medio	41
2.5 DISCUSIÓN	44
2.6 REFERENCIAS	46
3 MESOZOOPLANCTON	48
3.1 INTRODUCCIÓN.....	48
3.1.1 <i>Objetivos</i>	50
3.2 RESULTADOS.....	51
3.2.1 <i>Estuario interno</i>	51
3.2.2 <i>Estuario medio</i>	55
3.3 DISCUSIÓN	63
3.4 REFERENCIAS	65
4 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL MESOZOOPLANCTON Y SU RELACIÓN CON LA MAREA.....	67
4.1 INTRODUCCIÓN.....	67
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	69
4.2.1 <i>Análisis estadístico</i>	69
4.3 RESULTADOS.....	70

4.3.1	<i>Estuario interno</i>	70
4.3.2	<i>Estuario medio</i>	83
4.4	DISCUSIÓN	95
4.5	CONCLUSIONES.....	97
4.6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
5	TRANSPORTE DE MESOZOOPLANCTON Y MPS	100
5.1	INTRODUCCIÓN.....	100
5.1.1	<i>Objetivos generales</i>	100
5.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	100
5.1.3	<i>Hipótesis de trabajo</i>	101
5.2	METODOLOGÍA.....	102
5.2.1	<i>Análisis numérico de los datos</i>	102
5.2.1.1	Tasa instantánea de transporte	102
5.2.1.2	Transporte residual	102
5.2.1.3	Transporte neto	103
5.3	RESULTADOS.....	104
5.3.1	<i>Estuario interno</i>	104
5.3.1.1	Tasa instantánea de transporte	104
5.3.1.2	Transporte residual	106
5.3.1.3	Transporte neto	111
5.3.2	<i>Estuario medio</i>	113
5.3.2.1	Tasa instantánea de transporte	113
5.3.2.2	Transporte residual	115
5.3.2.3	Transporte neto	121
5.4	DISCUSIÓN	123
5.5	CONCLUSIONES.....	130
5.6	REFERENCIAS.....	132
6	ANEXO. VELOCIDAD DE LA CORRIENTE	134

1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Los estudios sobre el transporte de materiales entre estuarios y el mar parecen haberse iniciado con los primeros trabajos sobre las marismas altamente productivas de Sapelo Island, Georgia. Estos estudios fueron sintetizados por Teal (1962) quien concluyó que la producción generada en las marismas era exportada por las corrientes de marea y eso permitía soportar grandes abundancias de organismos. A partir de este trabajo, Odum (1968) propuso la hipótesis de “Outwelling”, la cual afirma que los ecosistemas estuarinos producen más material orgánico del que puede ser utilizado o almacenado dentro del sistema y que el exceso de material se exporta al océano costero. Desde entonces se han realizado varias revisiones sobre el tema (Nixon 1980, Jansson 1988, Dame 1989, 1994, Lee 1995).

Según Perillo (1995) un estuario es un cuerpo de agua costero semicerrado que se extiende hasta el límite efectivo de la influencia de la marea, dentro del cual el agua salada que ingresa por una o más conexiones libres con el mar abierto, o cualquier otro cuerpo de agua salino, es diluida significativamente con agua dulce derivada del drenaje terrestre y puede sustentar especies biológicas eurihalinas ya sea por una parte o la totalidad de su ciclo de vida. La fuerza de la marea causa un flujo periódico de entrada y de salida de agua dentro y fuera de los estuarios que aumentan en intensidad con el rango de marea (Postma, 1967, 1980). En sistemas con un aporte fluvial mínimo o inexistente y a menudo con extensas comunidades de macrófitos, el transporte de material particulado en suspensión, con frecuencia es gobernado por el flujo de las mareas (Kjerfve 1989). La dinámica del sedimento en los estuarios es controlada principalmente por la asimetría de la marea, que se propaga como una onda desde la boca del estuario hacia los sectores más internos del mismo (Aubrey y Speer 1985, Dronkers 1986, Lanzoni y Seminara 2002, Brown y Davies 2010).

El transporte horizontal de un organismo es definido como el desplazamiento del mismo entre dos puntos ubicados en el plano que definen dos ejes ortogonales. Para organismos bentónicos con estadios larvales planctónicos, el transporte es un componente esencial de la dispersión larval, la cual consiste en la propagación de larvas desde un sitio de desove hacia un lugar de asentamiento (Cowen *et al.* 2007). La mayoría de los invertebrados marinos bentónicos tienen una etapa larval planctónica que facilita la dispersión y el flujo de genes entre las poblaciones de adultos sésiles o sedentarios (Levin y Bridges 1995, McConaugh 1992).

Para la mayoría de invertebrados marinos y peces esta dispersión y flujo génico poblacional se produce durante la fase larvaria planctónica y es una función tanto de la concentración de larvas en la columna de agua como de la advección horizontal en la región (Yund *et al.*, 1991). El transporte de los organismos está influenciado por una combinación de transporte físico y movimiento biológico (Morgan, 1995, Kennedy, 1996). El transporte físico, es definido como el transporte únicamente determinado por procesos físicos, incluye advección y mezcla turbulenta. El movimiento biológico se define como el movimiento en la dirección vertical, influenciado por características tales como el tamaño, la densidad, y el comportamiento, incluyendo hundimiento y capacidad de natación (Kim *et al.* 2010).

El transporte en la dimensión vertical es fundamental porque los organismos pueden modificar su distribución horizontal nadando verticalmente en la columna de agua a través de diferentes corrientes (Pineda *et al.* 2007). North *et al.* (2008), por ejemplo, encontró que las diferencias en el movimiento biológico de las larvas de ostras tienen una mayor influencia en los patrones espaciales de transporte de larvas que diferencias interanuales en los patrones de circulación en la bahía de Chesapeake. En contraste, en estudios anteriores, no se habían encontrado pruebas de movimiento biológico para el transporte aguas arriba de estadios avanzados de larvas de ostras, razón por lo cual, el transporte físico de las larvas se consideraba como único factor (Korringa 1952). La interacción entre el transporte físico y el movimiento biológico ha sido sugerida como la explicación primaria para el transporte horizontal unidireccional y la retención de organismos en sistemas estuarinos (Wood y Hargis 1971, Andrews 1983, Rothlisberg *et al.* 1983, Mann 1988, Morgan *et al.* 1996, North *et al.* 2008).

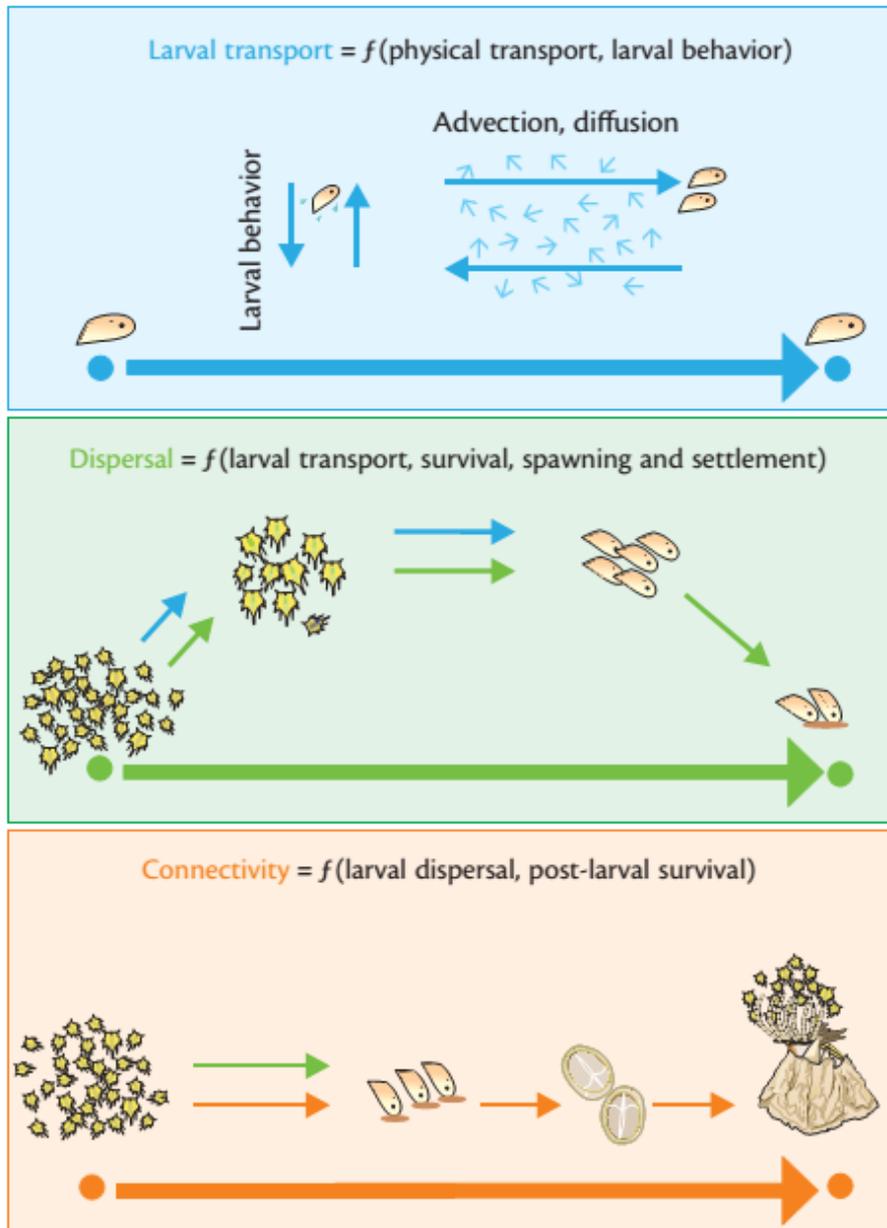


Fig 4.1. Conceptos de transporte de larvas, dispersión larval y conectividad de la población reproductiva. Los colores de las flechas distinguen cada concepto. Por ejemplo, la flecha verde en el box de conectividad significa la dispersión que está involucrada en la conectividad de la población reproductiva. Figura adaptada de Pineda *et al.* (2007).

En estuarios, es relevante el transporte que sufren los organismos planctónicos por el efecto de la marea. La combinación de perfiles de velocidad de corrientes mediante el uso de un equipo ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) y muestreos discretos horizontales y verticales, es un método efectivo para investigar los patrones de transporte de invertebrados en áreas estuarinas (Schwamborn *et al.* 2008).

Para el estuario de Bahía Blanca, se han realizado estudios sobre la distribución vertical del zooplancton en relación a la onda de marea y la circulación del estuario (Menendez *et al.* 2011,2012, Garibotti 2012, Chazarreta *et al.* 2015) pero aún no se han realizado estudios sobre patrones de transporte de zooplancton, que calculen el transporte a través de una sección del canal principal del estuario. En base a esto, con esta Tesis se propone realizar un primer intento de calcular el transporte de organismos a través de la sección del canal principal de la zona interna y media del estuario de Bahía Blanca.

1.1.1 Objetivos generales

Cuantificar y analizar el transporte de los distintos taxa que constituyen el mesozooplancton en dos zonas del canal principal del estuario de Bahía Blanca.

1.1.2 Hipótesis de trabajo

El transporte del mesozooplancton difiere entre la zona interna y media del estuario de Bahía Blanca. Los organismos son retenidos en la zona interna del estuario, en una celda de escasa renovación. Por el contrario, la masa de agua en la zona externa y media del estuario recircula en una celda con alta renovación, disminuyendo las posibilidades de retención y transportando una mayor proporción de organismos propios de la zona externa y de El Rincón.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1 Área de estudio

El estuario de Bahía Blanca es un estuario de planicie costera situado sobre la costa atlántica, en una región templada semiárida al sur de la Provincia de Buenos Aires (38° 45' - 39° 40'S y 61° 45' - 62° 30' O). Este tiene una extensión de 2300 km² y se lo puede dividir en dos zonas: una norte en forma de embudo, que contiene el Canal Principal de navegación, y una parte sur que comprende las Bahías Falsa, Verde y Brightman (Perillo *et al.* 2001). Sobre la costa norte del estuario se encuentran los asentamientos urbanos de Bahía Blanca, General Cerri, Ingeniero White y Punta Alta y los puertos Cuatreros, Galván, Ingeniero White, Rosales y Base Naval Puerto Belgrano. Las zonas interna y media del estuario están fuertemente afectadas por las actividades antropogénicas que se desarrollan en las costas (Marcovecchio *et al.* 2008). Además, sobre ella se desarrollan actividades de pesca artesanal y deportiva y tiene lugar un intenso tráfico portuario. En la zona interna desembocan dos tributarios de agua dulce, el río Sauce Chico y el Arroyo Napostá Grande, con un caudal anual medio de 1,9 y 0,8 m³ s⁻¹, respectivamente. El aporte de agua dulce en el estuario desde otros tributarios de menor tamaño es intermitente y sólo significativo durante períodos de intensa precipitación local (Perillo y Piccolo 1991, Melo y Limbozzi 2008).

El principal acceso al estuario lo conforma el Canal Principal de navegación cuya longitud es de aproximadamente 70 km y su ancho varía desde menos de 50 m en la cabecera a más de 10 km en la desembocadura (Melo *et al.* 2008). En la confluencia con el Canal Principal, la boca en forma de embudo de canales tributarios se curva hacia el mar, debido a la dominancia de la bajante (Perillo *et al.* 1996). Extensas planicies de marea y marismas definen las áreas adyacentes a los canales. La superficie del agua tiene una área de aproximadamente 1.300 km² con la marea alta, y se reduce a 400 km² en la marea baja (Cuadrado *et al.* 2004).

Las planicies de marea y marismas en la zona interna y media del estuario están constituidas por sedimentos limo-arcillosos sobre los que se desarrollan plantas halófitas, principalmente *Spartina alterniflora*, *Spartina densiflora* y *Sarcocornia perennis* (Botté *et al.* 2008, Gelós *et al.* 2004). El amplio intermareal y la geomorfología del área promueven una intensa interacción entre los ambientes pelágico y bentónico (Perillo y Piccolo, 1999).

1.2.2 Sitios de muestreo

Los muestreos se realizaron en dos zonas del canal principal del estuario de Bahía Blanca. El sitio 1 se ubicó en la zona interna cerca de Puerto Galván y el sitio 2 en una zona más alejada de la cabecera, entre la boya 26 y la 27 (fig. 1.1). Las campañas de muestreos se realizaron en enero, febrero, agosto y septiembre de 2012, y febrero de 2013. En cada mes se muestrearon los dos sitios y todas se realizaron en condiciones de marea cercana a la sicigia excepto el muestreo de febrero de 2013 del sitio 2 que fue en condiciones cercanas a la cuadratura (dicho retraso se debió a causas ajenas a la programación de la campaña, debido a la imposibilidad de uso de la embarcación). Para minimizar el efecto del viento sobre las corrientes de marea, las campañas de muestreo fueron realizadas en condiciones de poco viento (generalmente no más de 10 nudos).

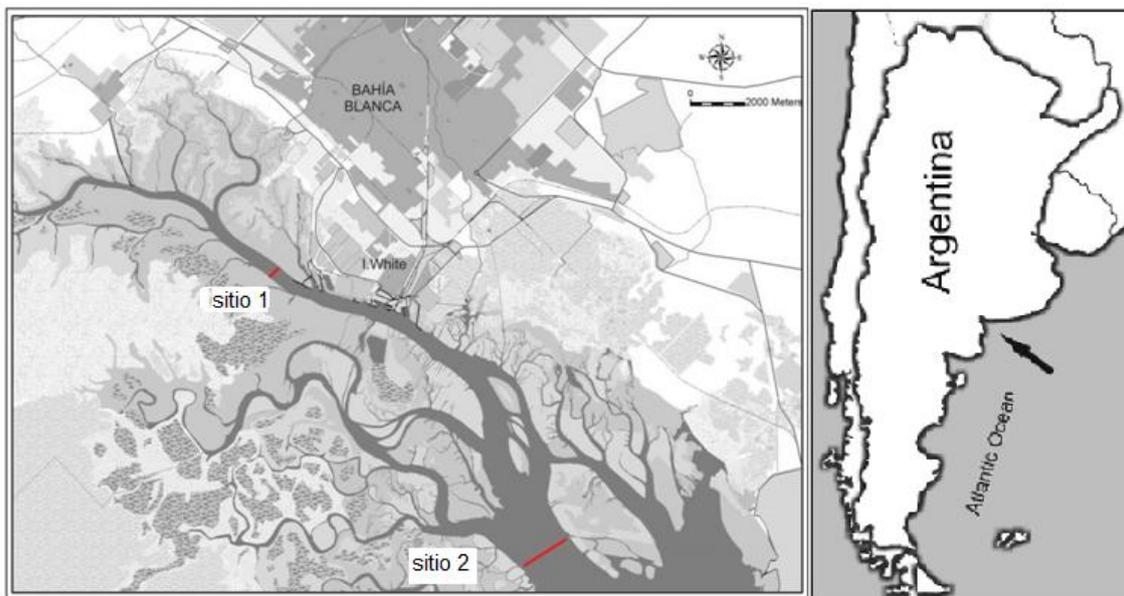


Fig 1.1. Área de estudio mostrando las dos transectas donde se realizaron los muestreos.

En cada campaña se ubicaron tres estaciones de muestreo a lo largo de una sección transversal al canal, una en el veril norte, otra en el centro del canal y otra en el veril sur (Schwamborn *et al.* 2008, Pinto Silva 2007).

En cada estación de esa transecta se realizaron en forma simultánea todas las mediciones y muestreos cada tres horas y en dos estratos de la columna de agua, uno superficial (aproximadamente a 1 metro de la superficie) al que llamaremos “superficie” y otro profundo aproximadamente a 1 metro del fondo al cual llamaremos “fondo”. Dado que el ciclo de mareas en el estuario de Bahía Blanca es semidiurno, con este esquema de muestreo se obtuvieron muestras y datos en cada estado de marea, a lo largo de un ciclo completo. Por lo tanto, los

momentos de muestreo fueron: marea baja, creciente, marea alta y bajante. Aunque algunos de ellos que llamamos pleamar y bajamar no coinciden exactamente con la condición de estoa se mantuvo esa denominación para diferenciarlos de los que se tomaron en media creciente y media bajante. Este esquema de muestreo se puede visualizar espacialmente como una grilla sobre el corte transversal del canal en los dos sitios de muestreo como se puede ver en la figura 1.2. Toda la grilla fue muestreada cada tres horas durante un ciclo de marea comenzando siempre en el veril sur y finalizando en el norte en el sitio 1. En el sitio 2 se muestreó en el sentido inverso. Completar el trabajo sobre toda la grilla llevó un tiempo aproximado de una hora. Previo a los muestreos sobre la grilla de trabajo, se realizó en forma dinámica, una medición de la velocidad de la corriente a través de la transecta, con un ADCP montado a un lado de la embarcación para conocer la dinámica de las corrientes previo al muestreo de zooplancton. Esta medición fue realizada desde el veril norte hacia el sur en el sitio 1 y en el sentido inverso en el sitio 2 (Schwamborn *et al.* 2008, Pinto Silva 2007, Wishner *et al.* 2006).

Los muestreos para la determinación de los parámetros físicos y ambientales consistieron en mediciones de temperatura y salinidad del agua con una sonda multiparámetro Horiba U22, mediciones de la velocidad de la corriente con un equipo ADCP y también se recolectaron muestras de agua para determinación de la concentración de clorofila-a, feopigmentos, material particulado en suspensión (MPS) y material orgánico particulado (MOP). Todas estas mediciones y muestreos fueron realizadas en simultáneo con los muestreos de zooplancton. El ADCP utiliza el retorno acústico de alta frecuencia y el efecto Doppler para obtener mediciones de corrientes basados en el desplazamiento de las partículas suspendidas en el agua, las cuales producen ecos que son percibidos por el equipo y permiten estimar magnitud y dirección de la corriente (RD Instruments 1996, Cáceres Muñoz, 2004).

El muestreo de zooplancton se llevó a cabo utilizando un sistema compuesto por dos bombas de succión (Grundfos UNILIFT KP250) (caudal: $8000 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$) (Brink 1997, Rawlinson *et al.* 2005, Schwamborn 2008), que funcionaron de forma simultánea para muestrear los dos estratos de la columna de agua en los sitios de muestreo. Cada bomba estuvo conectada por medio de una manguera flexible a un embudo con red de plancton de $135 \mu\text{m}$ y colector ubicado en la embarcación. Una vez bombeado el volumen de agua requerido (aproximadamente $2,65 \text{ m}^3$) las muestras fueron fijadas en formalina neutralizada al 4%.

En comparación con una red que integra el resultado de su colección a lo largo de todo su recorrido, las bombas son más adecuadas para la obtención de muestras discretas. Además otorgan medidas confiables del volumen filtrado y permiten controlar la profundidad y el

proceso de filtrado con el posible uso de diferentes tamaños de malla (Miller y Judkins 1981, Dixon y Robertson 1986, Boltovskoy 1981). El bombeo constituye un método adecuado para obtener, simultáneamente con las muestras de zooplancton, muestras o datos de las características químicas, físicas y biológicas del sitio o profundidad de interés (Boltovskoy 1981).

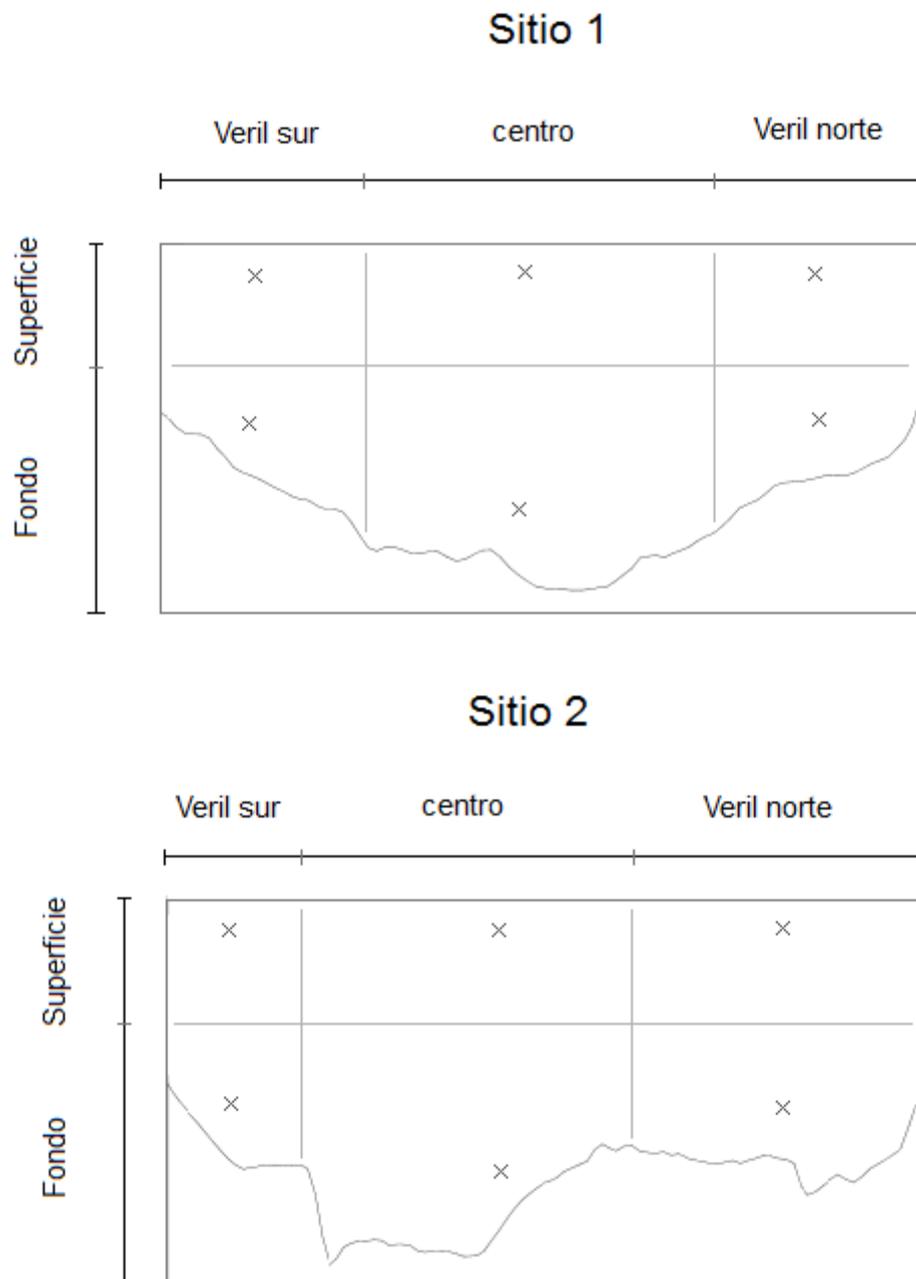


Fig 1.2. Esquema de los puntos de muestreo sobre cada sección transversal al canal, correspondiente a la zona interna (sitio 1) y zona media (sitio 2).

1.2.3 Trabajos de laboratorio

1.2.3.1 Clorofila a y feopigmentos

En el laboratorio se determinó la concentración de clorofila a y feopigmentos ($\mu\text{g l}^{-1}$) de acuerdo al método de Holm Hansen *et al.* (1965) que consiste en la extracción de los pigmentos fotosintéticos con un solvente orgánico y su lectura por fluorescencia. Para ello, se filtraron de 50 ml de la muestra de agua bien homogeneizada a través de filtros de fibra de vidrio GF/F de 0,7 μm de poro, luego de doblarlos a la mitad, se secaron con papel, se colocaron en un sobre de papel de aluminio dentro de un recipiente y se guardaron en freezer (puede conservarse como máximo un mes). Posteriormente se realizó la extracción de la siguiente manera: se colocó el filtro en un vial de vidrio con 5,00 mL de acetona 90% y se dejó durante 24 hs en la heladera y en oscuridad. El material de vidrio previamente fue lavado y enjuagado con una solución de MgCO_3 al 1% en agua destilada y secado en estufa. Se filtró el extracto recolectando la muestra en otro vial de vidrio limpio y seco. Entre muestra y muestra, se enjuagó con 1ml de acetona 90%. Luego se obtuvo la lectura de fluorescencia del extracto habiendo previamente calibrado a cero un espectrofluorómetro Shimatzu RF-5301PC con el blanco. Posteriormente se agregaron 150 μL de HCl 0.1N al extracto y se obtuvo la lectura de fluorescencia del extracto acidificado. Con esos datos se procedió al cálculo de las concentraciones de Clorofila-a y feopigmentos en $\mu\text{g.l}^{-1}$.

1.2.3.2 Material particulado en suspensión (MPS) y material orgánico particulado (MOP)

Se determinó el material particulado en suspensión por peso seco (MPS) y el peso del material orgánico particulado (MOP) de la siguiente manera: se utilizaron filtros de fibra de vidrio GF/F de 0.7 μm de poro y se colocaron en un sobre de aluminio cerrado para ser calcinados en la mufla a 500°C por 4hs. Luego se retiraron y se colocaron en desecador hasta que se enfriaron para poder pesarlos. Se colocó cada filtro en un sobre individual y se pesó cada filtro más su sobre correspondiente. Posteriormente se homogeneizó la muestra de agua de mar y se filtraron (con vacío suave, 23 cm Hg) entre 250 y 400 ml de muestra. Los filtros con su sobre se llevaron a estufa regulada a 60° por 24 hs y luego de ser enfriados en desecador se pesaron cada uno en balanza analítica. Para determinar el MOP se colocó el filtro con sobre y muestra en mufla a 500° durante 12 hs. (Salonen *et al.* 1976). Luego se dejó enfriar y se pesaron.

1.2.3.3 Zooplancton

En el laboratorio se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo del mesozooplancton bajo lupa binocular, de acuerdo a técnicas convencionales para mesozooplancton y uso de literatura apropiada (Boltovskoy 1999, Harris *et al.* 2000, Young 2002). Las muestras de los meses de invierno fueron contadas en su totalidad pero la abundancia de las muestras de verano debido a la mayor abundancia de organismos, fue estimada a partir del conteo del 10 % del total de la muestra. Para ello se llevó la muestra a un volumen de 150 ml y luego de ser homogeneizada se extrajeron tres alícuotas de 5 ml con reposición y se contaron todos los individuos en cada alícuota. Se estimó la abundancia por especie y del mesozooplancton total (ind.m^{-3}) mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{150 Ni}{15 Vf}$$

Donde Ni es el número de individuos de cada taxón contado en las tres alícuotas y Vf es el volumen de agua filtrado por la bomba.

1.3 REFERENCIAS

- Andrews JD. 1983. Transport of bivalve larvae in James River, Virginia. *J Shellfish Res* 3:29–40.
- Aubrey, D. G., & Speer, P. E. (1985). A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems Part I: Observations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 21(2), 185-205.
- Botté, S.E., Chiarello, M.N., Del Blanco, L., Asteasuain, R., Asteasuain, A. 2008. Efecto de las planicies de marea en la distribución de metales disueltos, y su utilidad como indicadores de calidad ambiental: estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Las Fronteras de la Física y Química Ambiental en Ibero América*, 19-24.
- Brown, J. M., & Davies, A. G. (2010). Flood/ebb tidal asymmetry in a shallow sandy estuary and the impact on net sand transport. *Geomorphology*, 114(3), 431-439.
- Cáceres Muñoz, M. 2004. ADCP remolcado: una herramienta para el mapeo de corrientes en canales y fiordos. En: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) (eds.), Anuario Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. Chile. pp. 103-108.
- Chazarreta, J.; Hoffmeyer, M. S.; Cuadrado, D. G. and Berasategui, A. 2015. Tidal effects on short-term mesozooplankton distribution in small channels of a temperate-turbid estuary, South West Atlantic, *Brazilian Journal of Oceanography*. En prensa.
- Cowen, R. K., Gawarkiewicz, G. G., Pineda, J., Thorrold, S. R., & Werner, F. E. (2007). Population connectivity in marine systems: an overview.
- Cuadrado DG, Ginsberg SS, Gómez EA (2004). Geomorfología. En: Piccolo, M.C. y Hoffmeyer, M.S. (eds.). Ecosistema del estuario de Bahía Blanca, Instituto Argentino de Oceanografía. pp 61-67.
- Dame, R.F., 1989. The importance of *Spartina alterniflora* to Atlantic coast estuaries. *Crit. Rev. Aqua. Sci.*, Vol. I, pp. 639-660.
- Dronkers, J. (1986). Tidal asymmetry and estuarine morphology. *Neth. J. Sea Res.*, 20,117–31. ISSN: 0077-7579.
- Garibotti E. Distribución vertical y dinámica temporal del mesozooplankton, en relación a variables fisicoquímicas, en el estuario de Bahía blanca. Tesis doctoral, UNS. Bahía Blanca, 2012.
- Jansson, B-O., 1988. Coastal-Offshore Ecosystem Interactions. Springer-Verlag, New York, 367 pp.
- Kennedy, V. S. (1996), Biology of larvae and spat, in *The Eastern Oyster: Crassostrea virginica*, edited by V. S. Kennedy, R. I. E. Newell and A. F. Eble, pp. 371–421, Maryland Sea Grant College, College Park.
- Kim, C. K., Park, K., Powers, S. P., Graham, W. M., & Bayha, K. M. (2010). Oyster larval transport in coastal Alabama: Dominance of physical transport over biological behavior in a shallow estuary. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*, 115(C10).
- Kjerfve, B., 1989. Estuarine geomorphology and physical oceanography. In, *Estuarine Ecology*, edited by J. Day, C. Hall, M. Kemp and A. Yanezz-Arancibia, Wiley, New York, pp. 47-78.
- Korringa, P. (1952), Recent advances in oyster biology, *Q. Rev. Biol.*, 27(3), 266–308.
- Lanzoni, s. and Seminara, G., 2002. Long-term evolution and morphodynamic equilibrium of tidal channels. *Journal of Geophysical Research*, 107
- Marcovecchio, J. E.; Botté, S. E.; Arias, A. H.; Fernández Severini, M. D.; De Marco, S.; Tombesi, N.; Freije, H. Pollution Processes in Bahía Blanca estuarine environment. In: Neves. R.; Baretta, J.; Mateus, M. (Eds.). *Perspectives on integrated coastal zone management in South America*. Portugal: IST Press, 2008. p. 301-314.
- Mc Conaugh, J. R. 1992. Decapod larvae: Dispersal, mortality, and ecology. *A working hypothesis*. *Am. Zool.* 32:512–523
- Melo, W. D., Pícolo, M. C., & Perillo, G. M. 2008. La cartografía de Bahía Blanca en los paradigmas históricos. *Geoacta*, 33, 57-69.
- Melo WD, Limbozzi F (2008) Geomorphology, hidrological systems and land use of Bahía Blanca Estuary reigon. En: *Perspectives on integrated coastal zone management in*

- South America. Neves R, Baretta J, Mateus M (eds). IST Press. Scientific Publishers, Lisboa, Portugal, pp 317-331.
- Menéndez, M. C.; Piccolo, M. C.; Hoffmeyer, M. S. 2012a. Short-term variability on mesozooplankton community in a shallow mixed estuary (Bahía Blanca, Argentina): Influence of tidal cycles and local winds. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, v. 112, p. 11-22.
- Menéndez, M. C.; Piccolo, M. C.; Hoffmeyer, M. S.; Sassi, M. 2011. Estuarine mesozooplankton dynamics on a short-term time scale: role of semidiurnal tidal cycle. *Braz. J. Oceanogr.*, v. 59, n. 3, p. 281-286.
- Morgan, S. G. (1995), Life and death in the plankton: Larval mortality and adaptation, in: *Ecology of Marine Invertebrate Larvae*, edited by L.R. McEdward, pp. 279–322, CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Nixon, S.W., 1980. Between coastal marshes and coastal waters-A review of twenty years of speculation and research on the role of salt marshes in estuarine productivity. In, *Estuarine and Wetland Processes*, edited by P. Hamilton and K.B. MacDonald, Plenum Press, New York, pp. 437-525.
- North, E. W., Schlag, Z., Hood, R. R., Li, M., Zhong, L., Gross, T., & Kennedy, V. S. (2008). Vertical swimming behavior influences the dispersal of simulated oyster larvae in a coupled particle-tracking and hydrodynamic model of Chesapeake Bay. *MARINE ECOLOGY-PROGRESS SERIES-*, 359, 99.
- Odum, E.P., (1968). A research challenge: evaluating the productivity of coastal and estuarine water. *Proceedings of the 2nd Sea Grant Conference*, University of Rhode Island, Kingston, pp. 63-64.
- Perillo GME (1995) an introduction. In: Perillo GME (ed), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Development in Sedimentology Vol. 53, Elsevier Science BV, Amsterdam, 1-16.
- Pineda, J., Hare, J. A., & Sponaugle, S. (2007). Larval transport and dispersal in the coastal ocean and consequences for population connectivity.
- Postma, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In, *Estuaries*, edited by G.H. Lauff, AAAS, Washington, pp. 158-179.
- Postma, H., 1980. Sediment transport and sedimentation. In, *Chemistry and Biochemistry of Estuaries*, edited by E. Olausson and I. Cato, Wiley, New York, pp. 153-186.
- Teal, J.M., 1962. Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia. *Ecology* Vol. 43, pp. 614-624.
- Yund, P. O., S. D. Gaines, and M. D. Bertness (1991), Cylindrical tube traps for larval sampling, *Limnol. Oceanogr.*, 36(6), 1167–1177.
- Wood, L., and W. J. Hargis Jr. (1971), Transport of bivalve larvae in a tidal estuary, *Eur. Mar. Biol. Symp.*, 4, 29–44.

2 VARIABLES AMBIENTALES

2.1 INTRODUCCIÓN

Los procesos dinámicos en estuarios son significativos imponiendo un marcado efecto sobre los organismos y la geomorfología del lugar (Matteus *et al.* 2008). En estos ambientes, la circulación del agua está condicionada por las corrientes de marea, las descargas de los ríos, el viento y la topografía local (Perillo 1995a,b). Los patrones de circulación resultantes pueden tener un gran efecto sobre la abundancia y la producción de la comunidad zooplanctónica mediante el control del suministro de materia orgánica alóctona, concentrando y reteniendo la materia orgánica producida localmente en el interior del sistema (Matteus *et al.* 2008). Los estuarios no tienen la suficiente superficie como para generar su propia onda de marea, sino que son sistemas co-oscilantes con la marea generada en el océano adyacente. Por lo tanto, la onda de marea penetra en el canal, sufre las modificaciones que le induce la geomorfología y es reflejada en la cabecera. En función del grado de reflexión, la onda resultante, en lugar de ser progresiva, suele ser estacionaria o cuasi-estacionaria. Ello implica que las máximas velocidades no se producen durante la pleamar y bajamar sino en condiciones de media marea creciente y bajante. La condición de velocidad cero o estoa ocurre unos minutos después de la pleamar y bajamar porque la reflexión en la cabecera del estuario no es perfecta (Perillo y Piccolo 2013). Los estuarios hipersincrónicos son aquellos en que el rango de la marea aumenta desde la boca hacia la cabecera debido a que la convergencia supera a la fricción. El estuario de Bahía Blanca es un buen ejemplo de un estuario hipersincrónico, con un rango de marea media que va de 2,2 m en la boca a 4 m en la cabecera (Perillo y Piccolo, 1991). En el estuario de Bahía Blanca la hidrografía y la circulación están fuertemente controladas por la compleja geomorfología del sistema que modifica la onda de marea haciéndola asimétrica (Perillo *et al.* 2004). Cuando los registros de marea se comparan con la marea astronómica predicha, se encuentran grandes diferencias en altura y tiempo. En general, los vientos que soplan desde el sector NO producen una depresión del nivel del agua empujándola hacia fuera y los vientos del SE generan el efecto contrario. Además, los vientos predominantes del NO y N producen las mayores variaciones de marea adelantando la hora de la bajamar, retrasando la de la pleamar, y reduciendo los niveles pronosticados (Perillo y Piccolo, 1991, Perillo *et al.* 2004).

Basados en la distribución de salinidad y el comportamiento de los flujos residuales, la zona interna del estuario es muy difícil de clasificar. Entre la cabecera y Puerto Cuatreros la tendencia es a ser de mezcla parcial durante las fuertes descargas del río Sauce Chico pero seccionalmente

homogéneo durante los estiajes. Entre Puerto Cuatros y Puerto Ing. White se lo puede considerar como verticalmente homogéneo donde la distribución de salinidades difiere solo en sentido lateral, siendo las menores salinidades en el veril norte. Sin embargo los flujos de sal muestran que el flanco sur del canal se mantiene verticalmente homogéneo con un transporte neto hacia la cabecera mientras el flanco norte tiene un comportamiento similar a un estuario de mezcla parcial con un flujo hacia la boca del estuario en el tercio superior de la columna de agua y el resto, hacia el interior del estuario (Perillo *et al.* 2004, Piccolo *et al.* 2008). Este comportamiento con un transporte importante hacia el interior del estuario produce una concentración de sal en la zona interna, generando salinidades más altas que las observadas en la plataforma continental (Piccolo y Perillo 1990). La asimetría de la marea que origina los distintos flujos residuales en esta zona es principalmente causada por la presencia de extensas planicies de marea (Piccolo y Perillo 1990, Piccolo *et al.* 2008).

Las velocidades de la corriente en la zona media del estuario alcanzan valores de $1,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ con un valor medio de $0,64 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y direcciones en creciente y bajante, prácticamente opuestas, de 115° y 295° respectivamente. En marea bajante, las velocidades máximas son ligeramente superiores (Campuzzano *et al.* 2008). En la zona interna del estuario, en cercanías de Puerto Galván, Perillo *et al.* (2005) midieron velocidades de corriente máximas durante la bajante en tres secciones transversales al Canal Principal del estuario, con valores de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, mientras que las corrientes máximas de creciente en las mismas secciones fueron entre $0,79$ y $0,86 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El sedimento en suspensión en este estuario está formado generalmente por limos y arcillas (Gelós *et al.* 2004). Debido a que no hay una descarga fluvial importante, las altas concentraciones de sedimento en suspensión, en su mayoría, son producto de la erosión de las planicies de marea y costas de las islas (Ginsberg y Perillo 1990). Fuertes corrientes e intervalos cortos de estoas impiden depositación de estos sedimentos en canales y planicies de marea (Piccolo *et al.* 2008).

2.1.1 Objetivo

Analizar las características ambientales relevantes en el análisis del transporte de zooplancton en la zona interna y media del estuario de Bahía Blanca

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Tratamiento numérico de los datos

2.2.1.1 *Material particulado en suspensión (MPS)*

$$MPS = \frac{pf1 - pi}{V}$$

Donde:

pf₁ = peso del sobre más filtro más la muestra seca

p_i = peso del sobre más filtro

V = volumen de muestra filtrado.

Se expresa luego en mg.l⁻¹ (Postel et. al. 2000)

2.2.1.2 *Material orgánico particulado (MOP)*

$$MOP = \frac{pf1 - pf2}{V}$$

Pf₂ = peso de las cenizas más peso del sobre más filtro

pf₁ = peso del sobre más filtro más la muestra seca

V = volumen de muestra filtrado.

Se expresa luego en mg.l⁻¹.

2.2.1.3 *Velocidad de la corriente*

El ADCP registra los vectores de la velocidad de la corriente y crea archivos con las componentes Norte y Este de cada vector. Esos archivos en formato ASCII fueron obtenidos con el programa WinRiver II RD Instruments®. Luego de filtrar y eliminar los datos con errores, se realizó una rotación del eje de coordenadas para obtener las componentes de los vectores de velocidad en

un eje cartesiano que coincida con el eje longitudinal y transversal al canal. Se obtuvieron las nuevas componentes de los vectores de velocidad en el sentido longitudinal al canal (u) y las componentes transversales al canal (v). Luego, fueron promediadas a lo largo del período de medición que fue entre 5 y 10 minutos para cada momento de muestreo. Los cálculos fueron realizados con el software GNU Octave[®].

La rotación del eje de coordenadas se realizó mediante la siguiente formula:

$$u = N \cos \alpha + E \operatorname{sen} \alpha$$

$$v = -N \operatorname{sen} \alpha + E \cos \alpha$$

Dónde: u y v son las componentes en los nuevos ejes de coordenadas, longitudinal y transversal al canal respectivamente y N y E las componentes en los ejes originales norte y este respectivamente obtenidos con el ADCP. El ángulo α fue de 142° para el sitio 1 y 134° para el sitio 2.

Posteriormente, los datos de la componente u de la velocidad de la corriente fueron interpolados a lo largo del período muestreado por el método de interpolación de Stineman (1980). De esta manera se obtuvieron datos para el ciclo de marea completo. El signo negativo de la componente u de la velocidad indica el sentido hacia la boca del estuario y el signo positivo hacia la cabecera (Schwamborn *et al.* 2008, Garibotti 2012). La velocidad residual en m s^{-1} fue calculada como la suma algebraica entre el promedio de la creciente y el promedio de la bajante.

2.2.2 Tratamiento estadístico de los datos

Se utilizó la prueba ANOVA de dos vías para comparar las variables entre estados de marea y entre estratos. Se realizó la prueba de Levene para evaluar el cumplimiento de los supuestos del ANOVA. Cuando hubo interacción entre los factores se utilizó un ANOVA de una vía para cada factor. Para las variables que no cumplieron los supuestos necesarios para aplicar el ANOVA se utilizaron las pruebas de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney. Para las comparaciones entre el sitio 1 y el sitio 2 se utilizó la prueba t de student cuando se cumplieron los supuestos requeridos por la prueba. Cuando no se cumplieron los supuestos se utilizó la prueba de Mann-Whitney.

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) a partir de la matriz de correlación para visualizar los datos y detectar relaciones entre las variables ambientales y su asociación con los sitios de estudio. Para este análisis todas las variables fueron escaladas y tanto la concentración

del MPS como la de MOP fueron transformadas según la transformación sugerida por el método de Box Cox (Box y Cox 1964).

Solo se muestran los resultados correspondientes al mes de agosto de 2012 porque fue el único mes que los dos primeros componentes tuvieron una varianza acumulada mayor a 60%. Todas las pruebas estadísticas y gráficos fueron realizados con el software R.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Estuario interno

La temperatura del agua tuvo valores medios de $23,07 \pm 0,32$ °C en enero de 2012, $22,71 \pm 0,77$ °C en febrero del mismo año, $11,6 \pm 0,22$ °C en agosto, $13,19 \pm 0,47$ °C en septiembre y $22,57 \pm 0,78$ °C en febrero de 2013. Se hallaron diferencias estadísticas de temperatura entre superficie y fondo, en septiembre y febrero de 2013 (tabla 2.1). Las mayores temperaturas se registraron después del mediodía.

La mayor salinidad media se registró en los meses estivales ($37,78 \pm 0,34$ en enero de 2012, $38,96 \pm 0,20$ en febrero, $37,19 \pm 0,49$, en febrero de 2013) y los menores valores se obtuvieron en los meses invernales ($33,6 \pm 0,58$ en agosto, $34,06 \pm 0,27$ en septiembre) (fig. 2.2). La salinidad tuvo una distribución espacial homogénea en la sección transversal al canal. Sin embargo, en general se hallaron diferencias estadísticas entre estados de marea (tabla 2.1).

El MPS en enero de 2012 tuvo un valor medio de $135,99 \pm 46,90$ mg l⁻¹, en febrero fue $156,38 \pm 80,23$ mg l⁻¹, en agosto $253,59 \pm 337,88$ mg l⁻¹, en septiembre $146,29 \pm 25,45$ mg l⁻¹ y en febrero de 2013 $168,66$ mg l⁻¹. Se registró un máximo extraordinariamente alto ($1425,33$ mg l⁻¹) durante la pleamar en agosto de 2012, aportando una variabilidad importante, lo cual se ve reflejado en el valor elevado de desvío estándar para ese mes (fig. 2.3). El valor mínimo fue de $74,5$ mg.l⁻¹ y se obtuvo en bajamar. El MPS fue generalmente uniforme tanto espacialmente como a lo largo del ciclo de marea ya que solo se hallaron diferencias entre estados de marea en agosto de 2012 (tabla 2.1).

El MOP tuvo un valor medio de $14,71 \pm 3,39$ mg.l⁻¹ en enero de 2012, $35,93 \pm 73,60$ mg l⁻¹ en febrero, $157,29 \pm 337,46$ mg l⁻¹ en agosto, $16,85 \pm 3,15$ mg l⁻¹ en septiembre y $21,15 \pm 4,27$ mg l⁻¹ en febrero de 2013. Esta variable tuvo un comportamiento espacial y temporal similar a la concentración de MPS.

La clorofila a tuvo un valor medio de $6,55 \pm 1,91$ µg.l⁻¹, en enero de 2012, $3,15 \pm 0,60$ µg.l⁻¹ en febrero, $1,84 \pm 0,31$ µg.l⁻¹ en agosto, $14,28 \pm 1,73$ µg.l⁻¹ en septiembre, y $4,88 \pm 1,11$ µg.l⁻¹. La concentración de clorofila a fue generalmente uniforme en la sección transversal muestreada. Sin embargo entre estados de marea fue diferente en todas las campañas de muestreo excepto en los meses de enero y febrero (tabla 2.1).

Los feopigmentos presentaron un valor medio de $4,35 \pm 1,78$ µg.l⁻¹ en enero de 2012, $3,69 \pm 1,27$ µg.l⁻¹ en febrero, $1,70 \pm 0,36$ µg.l⁻¹ en agosto, $5,15 \pm 1,38$ µg.l⁻¹ en septiembre, $3,65 \pm 0,85$ µg.l⁻¹ en febrero de 2013. Al igual que la clorofila a, la concentración de feopigmentos fue uniforme en la sección transversal muestreada. Sin embargo entre estados de marea fue diferente en todos los casos excepto en febrero de 2013 (tabla 2.1).

variable	mes	p		
		estados de marea	estratos	lateral
temperatura (°C)	Jan-12	<0,001	ns	ns
	Feb-12	<0,001	ns	ns
	Aug-12	<0,001	ns	ns
	Sep-12	<0,001	0,047	ns
	Feb-13	<0,001	0,005	ns
salinidad	Jan-12	<0,001	ns	ns
	Feb-12	<0,001	ns	ns
	Aug-12	<0,001	ns	ns
	Sep-12	ns	ns	ns
	Feb-13	<0,001	ns	ns
MPS (mg.l ⁻¹)	Jan-12	ns	ns	ns
	Feb-12	ns	ns	ns
	Aug-12	0,018	ns	ns
	Sep-12	ns	ns	ns
	Feb-13	ns	ns	ns
MOP (mg.l ⁻¹)	Jan-12	ns	ns	ns
	Feb-12	ns	ns	ns
	Aug-12	0,016	ns	ns
	Sep-12	ns	ns	ns
	Feb-13	ns	ns	ns
clorofila a (µg.l ⁻¹)	Jan-12	ns	ns	ns
	Feb-12	ns	0,027	ns
	Aug-12	<0,001	ns	ns
	Sep-12	<0,001	ns	ns
	Feb-13	0,007	ns	ns
feopigmentos (µg.l ⁻¹)	Jan-12	0,044	ns	ns
	Feb-12	0,006	ns	ns
	Aug-12	<0,001	0,004	ns
	Sep-12	<0,001	ns	ns
	Feb-13	ns	ns	ns

Tabla 2.1. Valor de p (ANOVA) del sitio 1. Comparaciones entre estados de marea, superficie y fondo y entre los veriles y el centro del canal, para cada una de las variables ambientales.

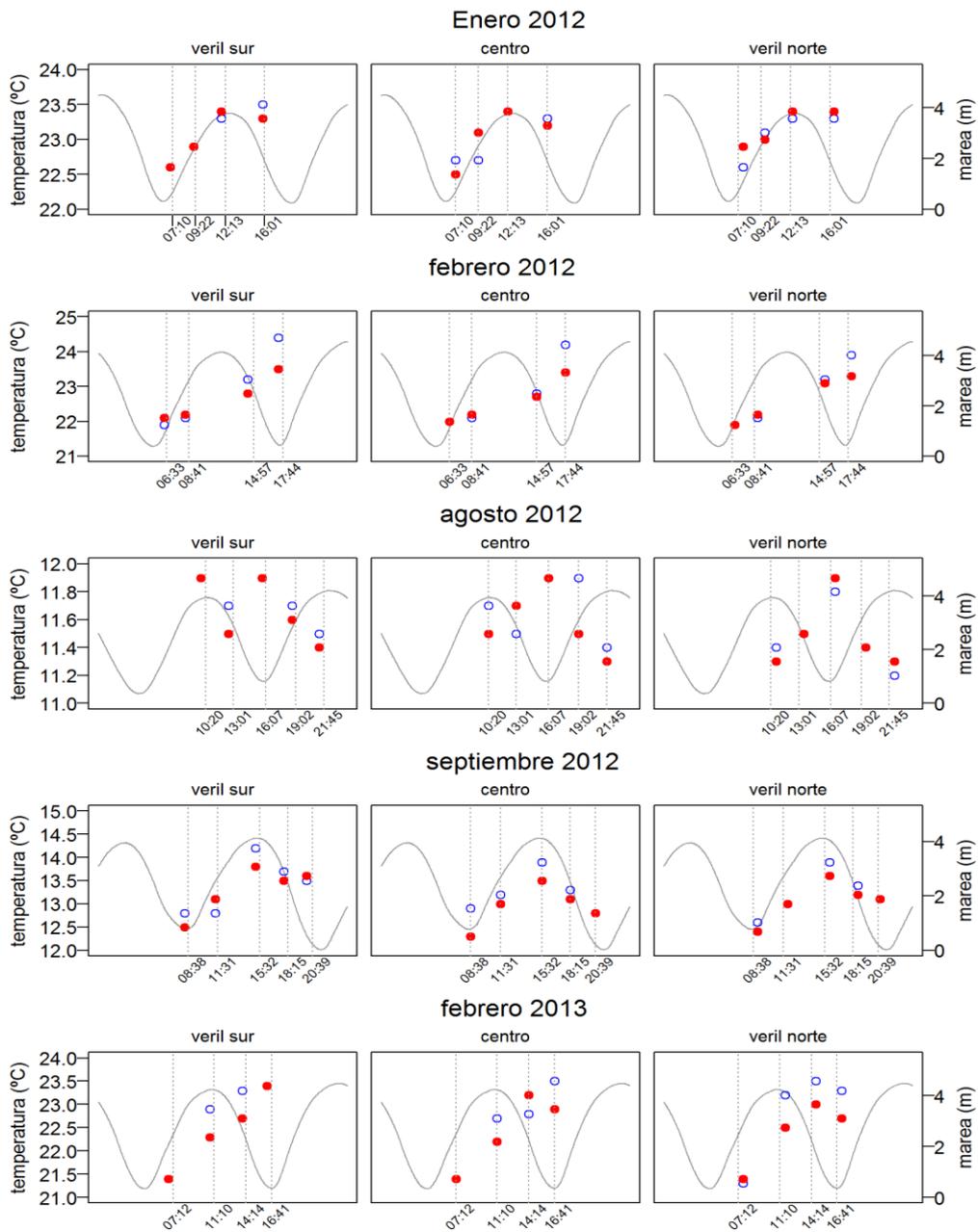


Fig.2.1. Distribución espacial y temporal de la temperatura. Las etiquetas del eje horizontal con sus líneas punteadas verticales corresponden a los momentos de muestreo del centro del canal en todos los gráficos. Azul= superficie, rojo = fondo, gris= curva de marea.

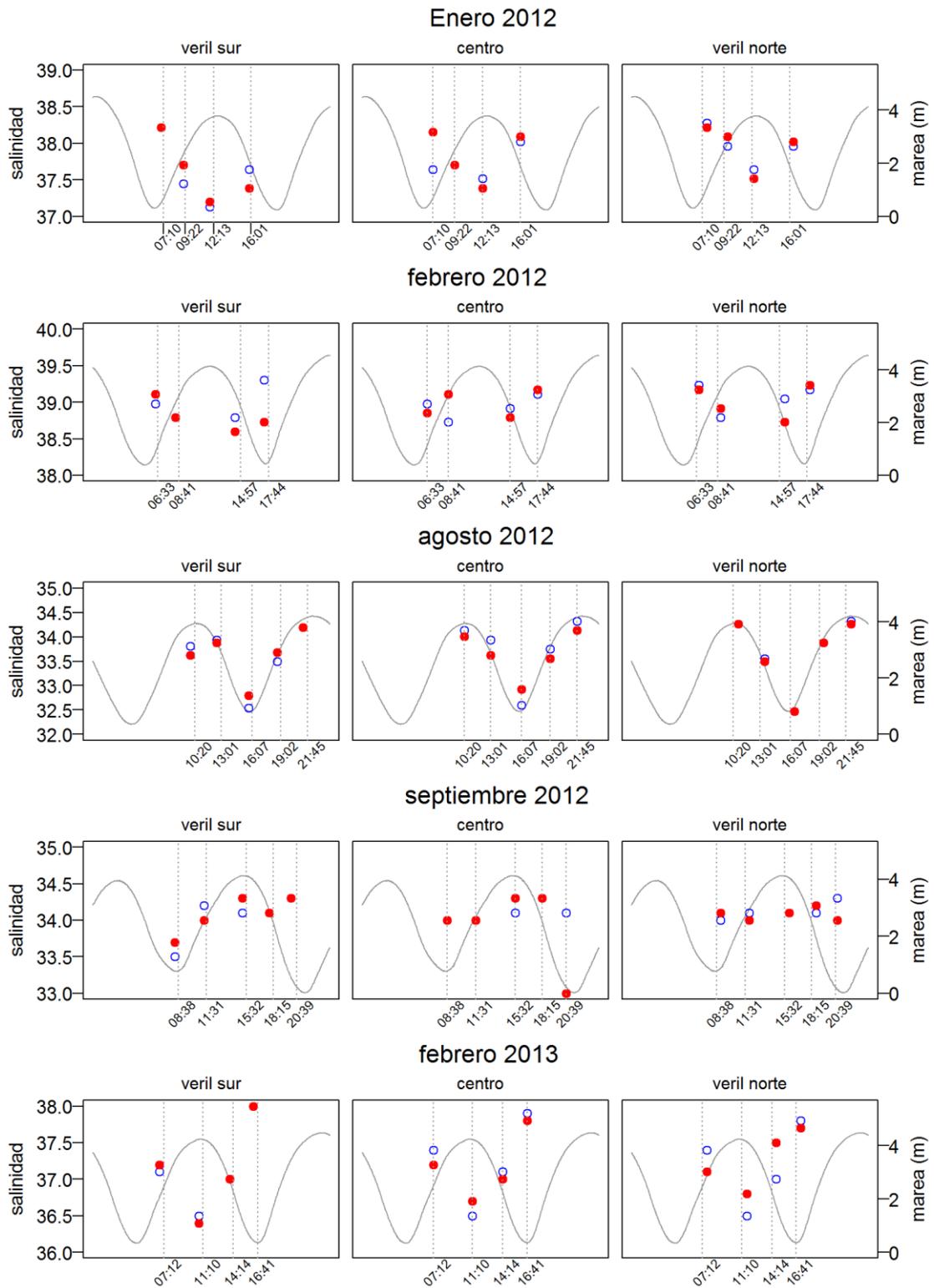


Fig.2.2. Distribución espacial y temporal de la salinidad. Explicación de la figura idem a fig 2.1.

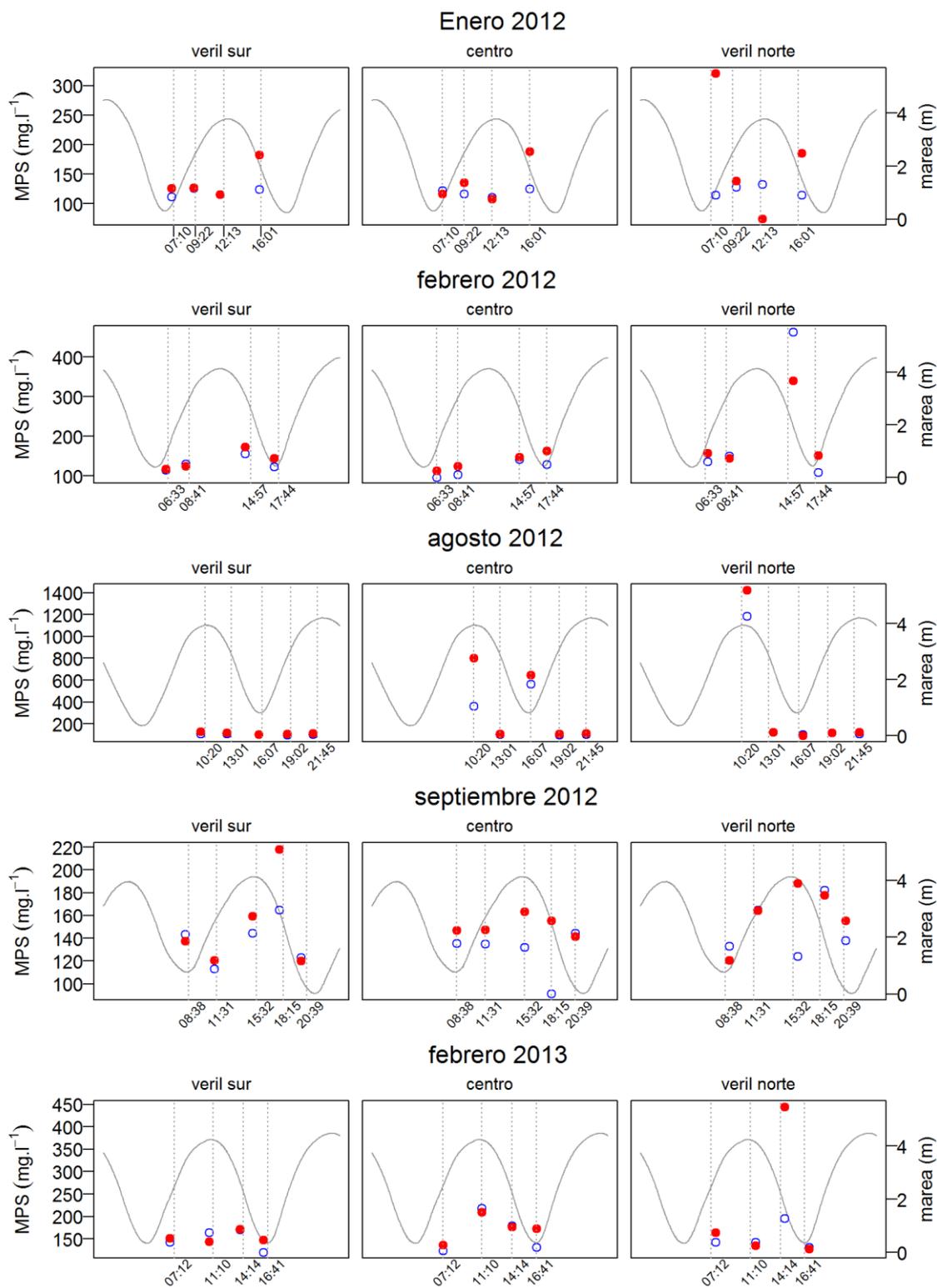


Fig.2.3. Distribución espacial y temporal del MPS. Explicación de la figura idem a fig 2.1.

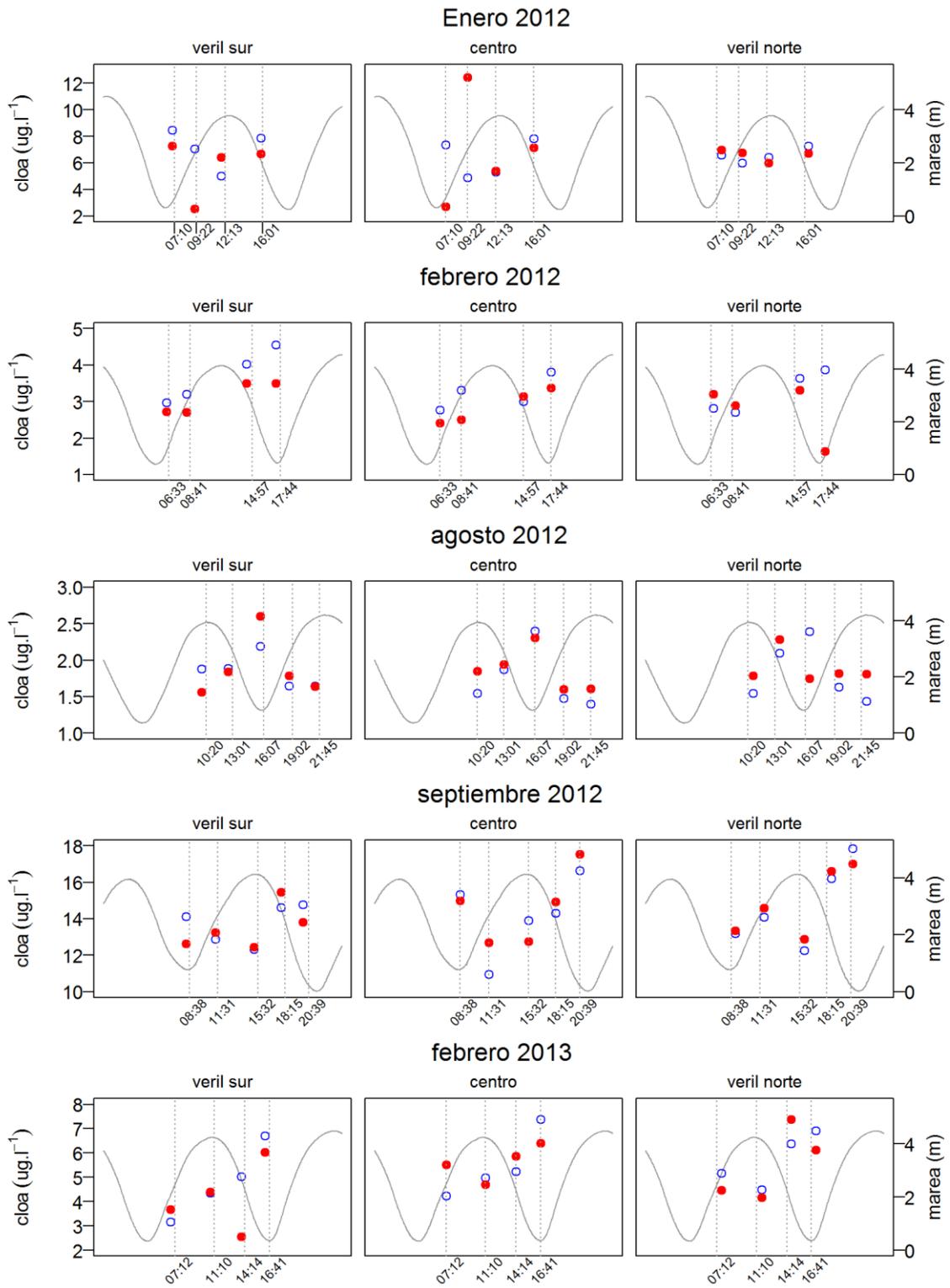


Fig.2.4. Distribución espacial y temporal de la clorofila a. Explicación de la figura idem a fig 2.1.

2.4.1 Estuario medio

La temperatura media del agua en el sitio 2 fue $23,02 \pm 0,31$ °C en febrero de 2012, $8,80 \pm 0,56$ °C en agosto, $13,80 \pm 0,31$ °C en septiembre, $19,44 \pm 0,48$ °C en febrero de 2013. Las mayores temperaturas se midieron en superficie y luego del mediodía (Fig. 2.5). En verano la temperatura superficial alcanzó valores de $23,5$ °C (Febrero 2012), mientras que en invierno no superó los $14,5$ °C (Setiembre 2012). En la sección transversal al canal, la temperatura fue uniforme. Sin embargo entre estados de marea se observaron diferencias en todos los meses muestreados (tabla 2.2).

En verano la salinidad fue superior a 36, mientras que en invierno las salinidades fueron más bajas y apenas se supera dicho valor en el centro del canal. Al igual que la temperatura, la salinidad fue uniforme en toda la sección transversal al canal. A lo largo del ciclo de marea muestreado, la salinidad fue diferente entre estados de marea en febrero de 2012 y febrero de 2013 (tabla 2.2).

El MPS en febrero de 2012 tuvo un valor medio de $194,45 \pm 90,50$ mg.l⁻¹, en agosto $136,28 \pm 14,46$ mg.l⁻¹, en septiembre $269,46 \pm 284,29$ mg.l⁻¹ y en febrero de 2013 de $201,32 \pm 45,26$ mg.l⁻¹. Con respecto a la distribución espacial del MPS, se hallaron diferencias entre superficie y fondo y también en sentido lateral en febrero de 2012 y febrero de 2013. Esta variable se mantuvo estable entre estados de marea en todos los meses muestreados (tabla 2.2).

El MOP tuvo un valor medio de $18,77 \pm 6,05$ mg.l⁻¹ en febrero de 2012, $17,33 \pm 13,56$ mg.l⁻¹ en agosto, $156,18 \pm 277,19$ mg.l⁻¹ en septiembre y $20,06 \pm 4,73$ mg.l⁻¹ en febrero de 2013. La concentración del MOP tuvo un comportamiento similar a la del MPS. Fue diferente entre superficie y fondo solo en febrero de 2012 y en sentido lateral fue variable en febrero de 2012 y febrero 2013. Entre estados de marea no hubo variaciones (tabla 2.2).

La concentración de clorofila a tuvo un valor medio de $4,54 \pm 0,69$ µg.l⁻¹ en febrero de 2012, $6,80 \pm 1,06$ µg.l⁻¹ en agosto, $6,81 \pm 1,41$ en septiembre µg.l⁻¹ y $4,53 \pm 0,74$ µg.l⁻¹ en febrero de 2013. Esta variable fue diferente entre superficie y fondo. En sentido lateral solo fue diferente en febrero y agosto de 2012. Entre estados de marea solo se hallaron diferencias en septiembre de 2012 y febrero de 2013 (tabla 2.2).

Los feopigmentos tuvieron un valor medio de $6,55 \pm 2,82$ µg.l⁻¹ en febrero de 2012, $3,39 \pm 0,80$ µg.l⁻¹, $3,59 \pm 0,75$ µg.l⁻¹ y $4,19 \pm 1,28$ µg.l⁻¹. La concentración de feopigmentos fue uniforme en la sección transversal estudiada pero entre estados de marea se hallaron diferencias en agosto de 2012 y febrero de 2013 (tabla 2.2).

variable	mes	p		
		estados de marea	estratos	lateral
temperatura	Feb-12	<0,001	ns	ns
	Aug-12	<0,001	ns	ns
	Sep-12	<0,001	ns	ns
	Feb-13	<0,001	ns	ns
salinidad	Feb-12	<0,001	ns	ns
	Aug-12	0,0017	ns	ns
	Sep-12	ns	ns	ns
	Feb-13	<0,001	ns	ns
MPS	Feb-12	ns	0,019	0,027
	Aug-12	ns	ns	ns
	Sep-12	ns	ns	ns
	Feb-13	ns	0,040	0,02
MOP	Feb-12	ns	0,032	0,018
	Aug-12	ns	ns	ns
	Sep-12	ns	ns	ns
	Feb-13	ns	ns	0,0344
clorofila-a	Feb-12	ns	ns	0,018
	Aug-12	ns	ns	<0,001
	Sep-12	<0,001	ns	ns
	Feb-13	<0,001	ns	ns
feopigmentos	Feb-12	ns	ns	ns
	Aug-12	<0,001	ns	ns
	Sep-12	ns	ns	ns
	Feb-13	0,003	ns	ns

Tabla 2.2. Valor de p (ANOVA) del sitio 2. Comparaciones entre estados de marea, superficie y fondo y entre los veriles y el centro del canal, para cada una de las variables ambientales.

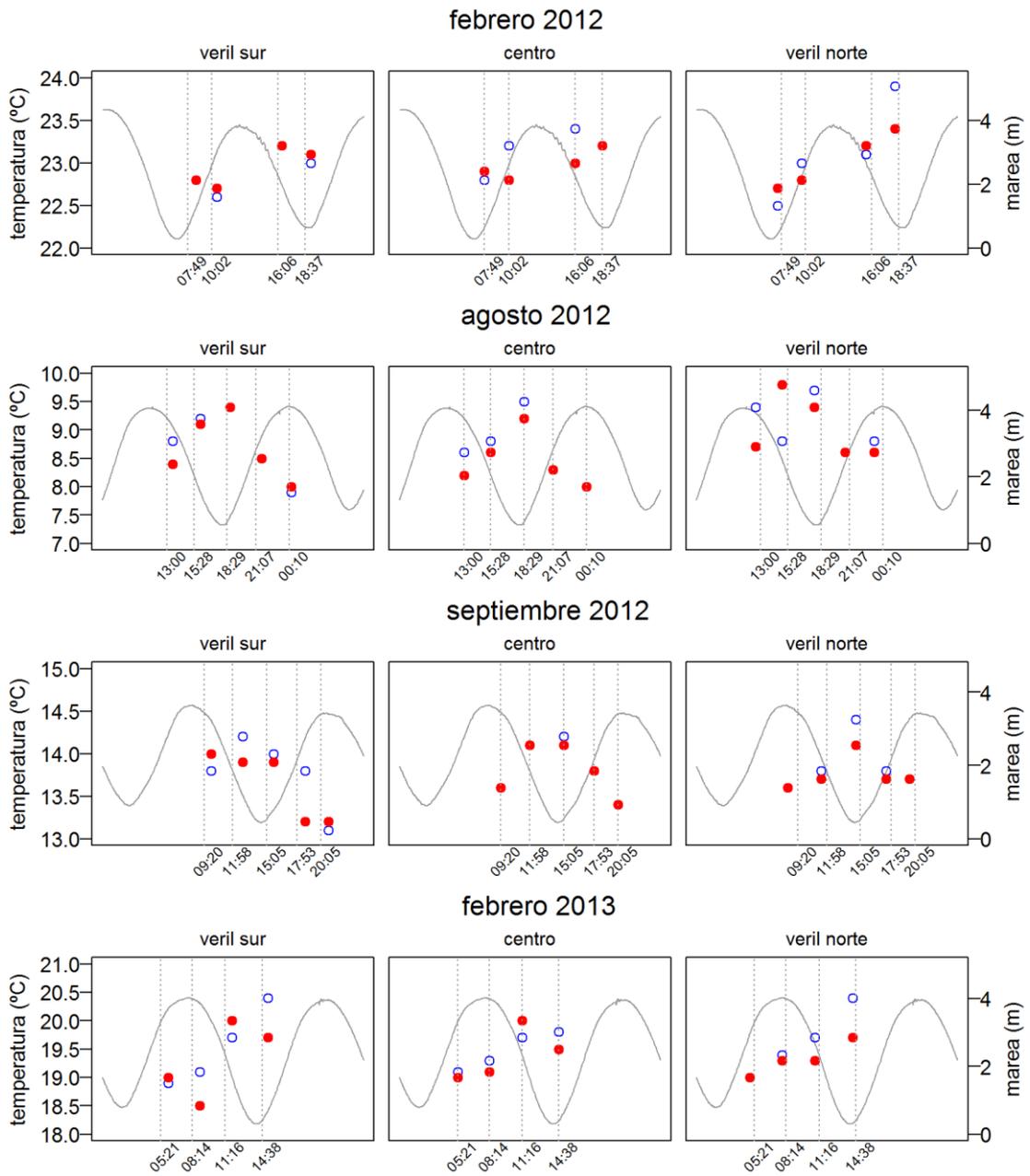


Fig.2.5. Distribución espacial y temporal de la temperatura. Explicación de la figura idem fig 2.1.

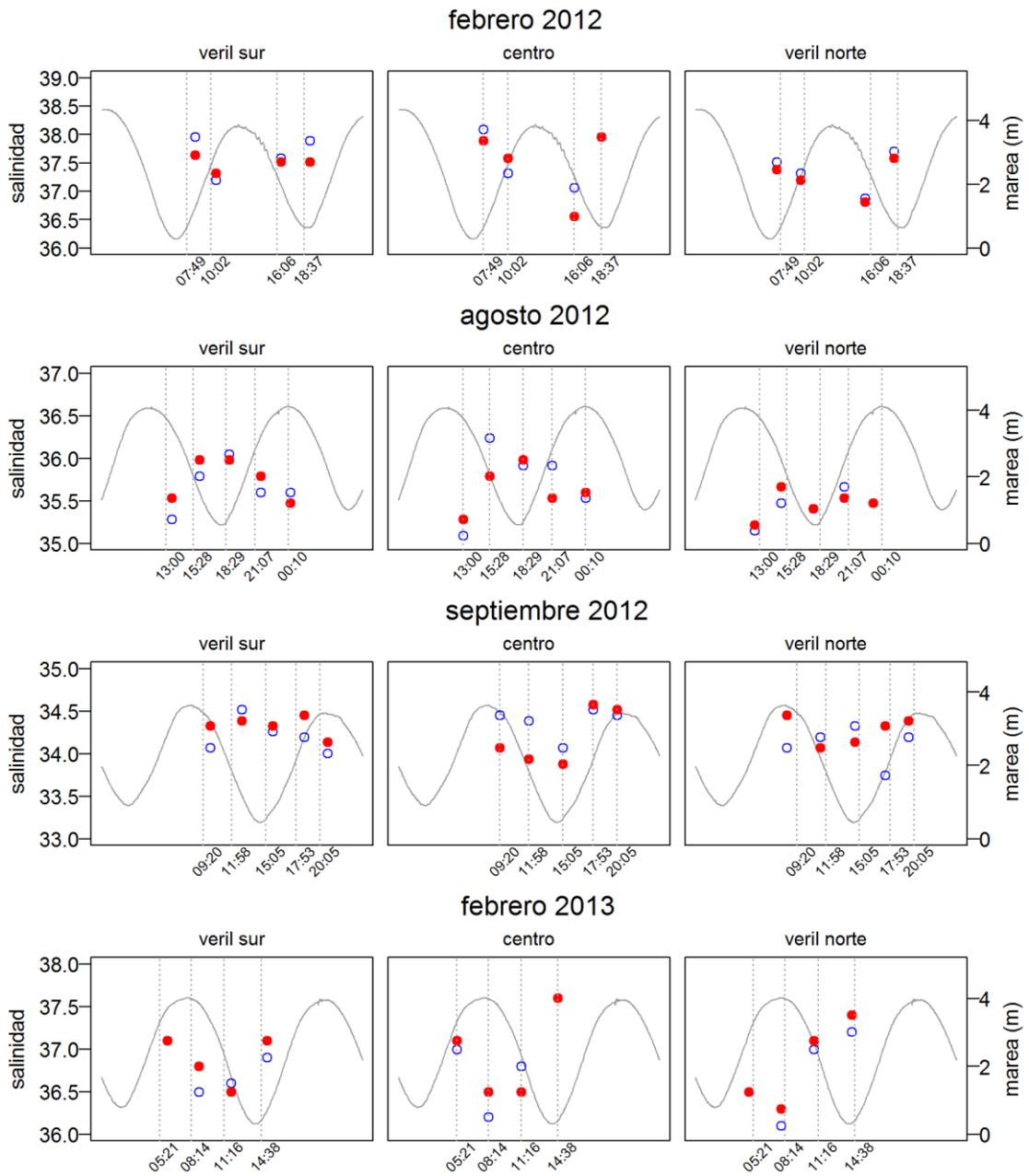


Fig.2.6. Distribución espacial y temporal de la salinidad. Explicación de la figura idem fig 2.1.

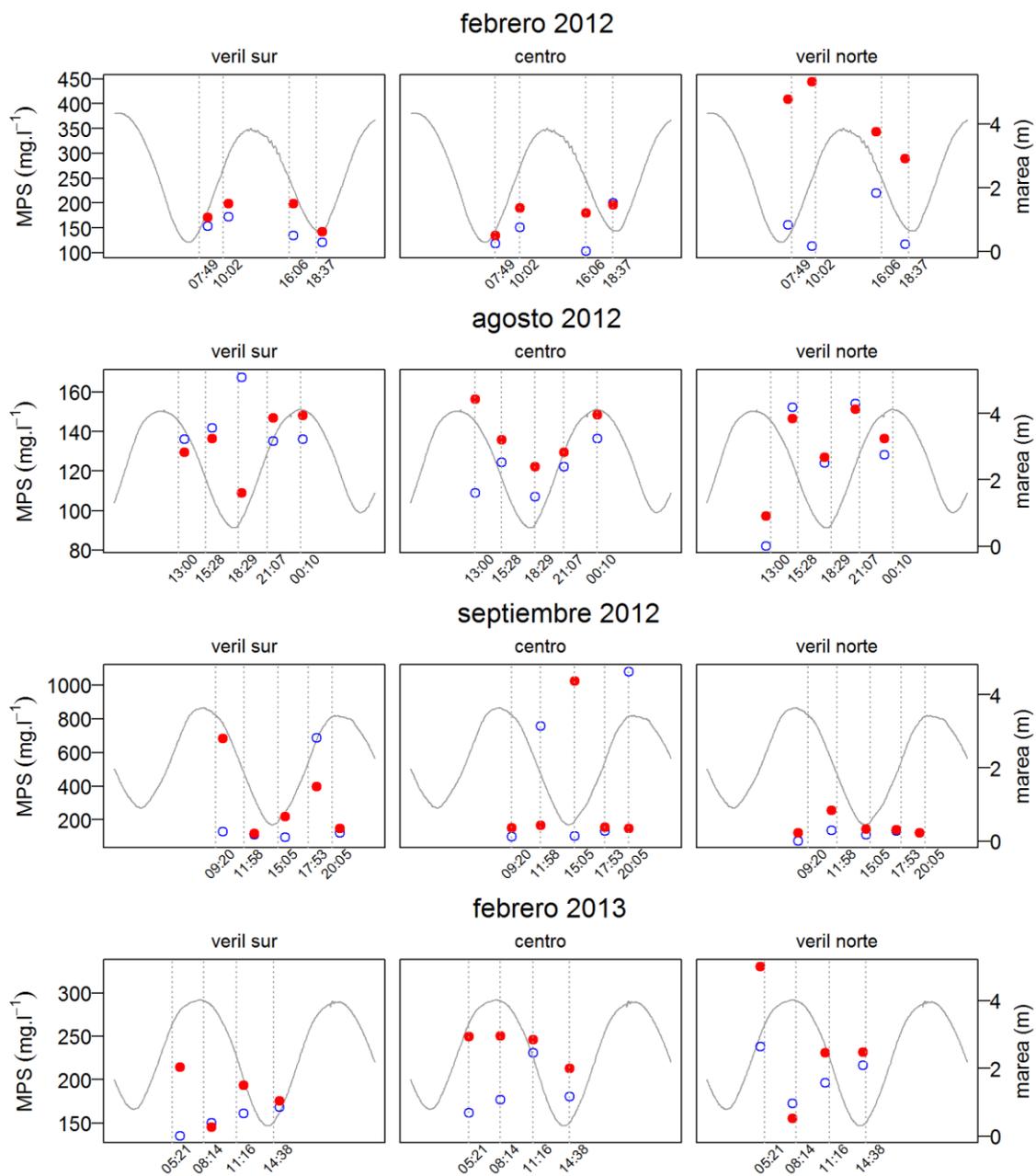


Fig.2.7. Distribución espacial y temporal del MPS. Explicación de la figura idem fig 2.1.

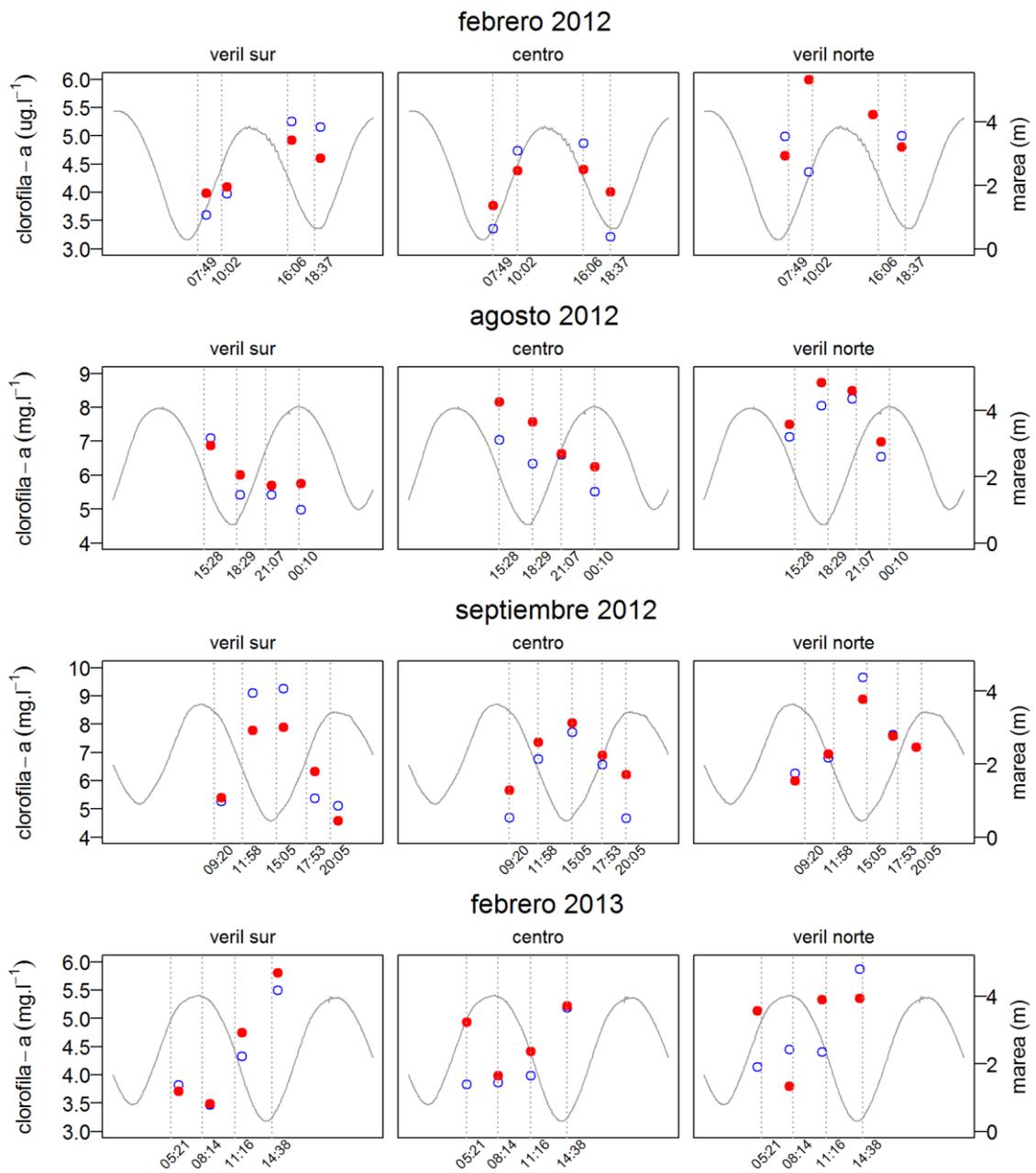


Fig.2.8. Distribución espacial y temporal de la clorofila a. Explicación de la figura idem fig 2.1.

2.4.2 Comparación entre los dos sitios

2.4.2.1 *Análisis univariado*

La temperatura media fue mayor en el sitio 1 en agosto de 2012 y febrero de 2013 pero en febrero y septiembre de 2012 ocurrió lo contrario. La salinidad fue mayor en el sitio 1 en los meses de verano y en el sitio 2 en los meses de invierno. El MPS fue levemente mayor en el sitio 2 excepto en agosto de 2012 (tabla 2.3). En este mes se observaron concentraciones extremadamente altas de MPS en el sitio 1, esto ocurrió en el veril norte y en el centro del canal en momentos de pleamar. La concentración de la MOP fue mayor en el sitio 1 excepto en septiembre de 2012 cuando alcanzó valores más altos en el sitio 2 principalmente en el centro del canal y en el veril sur (tabla 2.3). La concentración de clorofila a fue más alta en el sitio 2 en febrero y agosto de 2012 pero en septiembre y febrero de 2013 sucedió lo contrario. La concentración de feopigmentos fue generalmente mayor en el sitio 2 (tabla 2.3).

variable	mes	p
		sitios
temperatura (°C)	Feb-12	0,04
	Aug-12	<0,001
	Sep-12	<0,001
	Feb-13	<0,001
salinidad	Feb-12	<0,001
	Aug-12	<0,001
	Sep-12	0,005
	Feb-13	0,004
velocidad u (m.s ⁻¹)	Feb-12	ns
	Aug-12	ns
	Sep-12	ns
	Feb-13	ns
velocidad v (m.s ⁻¹)	Feb-12	<0,001
	Aug-12	0,038
	Sep-12	ns
	Feb-13	ns
profundidad (m)	Feb-12	ns
	Aug-12	ns
	Sep-12	ns
	Feb-13	ns
MPS (mg.l ⁻¹)	Feb-12	0,009
	Aug-12	0,003
	Sep-12	ns
	Feb-13	<0,001
MOP (mg.l ⁻¹)	Feb-12	0,004
	Aug-12	ns
	Sep-12	0,018
	Feb-13	0,04
clorofila a (µg.l ⁻¹)	Feb-12	<0,001
	Aug-12	<0,001
	Sep-12	<0,001
	Feb-13	0,016
feopigmentos (µg.l ⁻¹)	Feb-12	<0,001
	Aug-12	<0,001
	Sep-12	<0,001
	Feb-13	0,03559

Tabla 2.3. Valor de p (ANOVA). Comparaciones entre el sitio 1 y el 2, para cada una de las variables ambientales.

2.4.2.2 Análisis multivariado

En el biplot de la figura 2.9 se puede ver que en invierno hay una clara separación entre los dos sitios. Las muestras del sitio 1 se caracterizan por una mayor temperatura y las muestras del sitio 2 se caracterizan por una mayor concentración de clorofila a, feopigmentos y mayor salinidad, lo cual coincide con el resultado de las comparaciones realizadas que se muestran en la tabla 2.3. El resto de las variables tienen una baja correlación con el primer componente y se puede ver en el biplot que los sitios no se diferencian por estas variables lo cual también coincide con el resultado de las comparaciones realizadas que se muestran en la tabla 2.3.

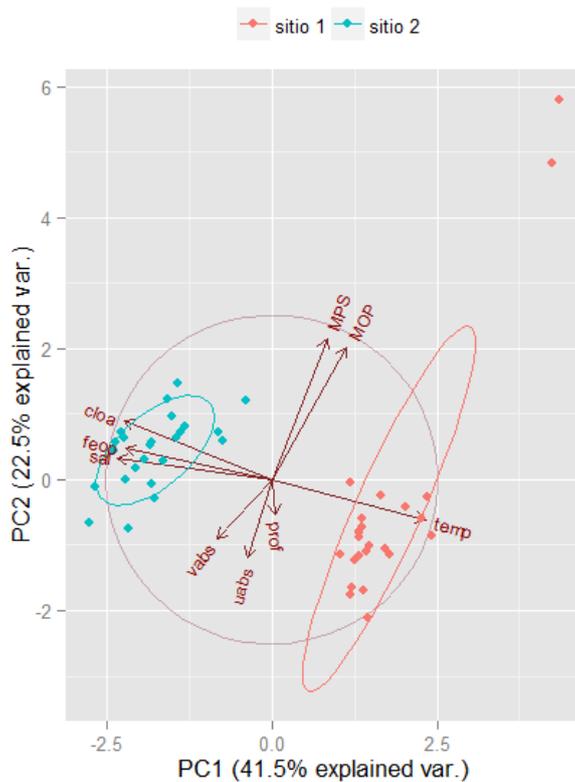


Fig 2.9. Biplot agosto de 2012. uabs: valor absoluto de la velocidad u, vabs: valor absoluto de la velocidad v, feop: concentración de feopigmentos, cloa: concentración de clorofila a, prof: profundidad del canal, sal: salinidad, temp: temperatura.

	PC1	PC2	PC3	PC4
Standard deviation	1,9334	1,4223	1,1934	0,90006
Proportion of Variance	0,4153	0,2248	0,1583	0,09001
Cumulative Proportion	0,4153	0,6401	0,7984	0,88838

Tabla 2.4. ACP para el mes de agosto de 2012

	prof	temp	sal	MPS	MOP	cloa	feop	uabs	vabs
prof	1	-0,03	0,04	0,03	0,04	-0,20	-0,06	0,21	0,27
temp	-0,03	1	-0,90	0,10	0,22	-0,88	-0,81	0,03	-0,24
sal	0,04	-0,90	1	-0,20	-0,31	0,85	0,76	0,05	0,22
MPS	0,03	0,10	-0,20	1	0,99	-0,03	-0,08	-0,20	-0,18
MOP	0,04	0,22	-0,31	0,99	1	-0,14	-0,22	-0,20	-0,21
cloa	-0,20	-0,88	0,85	-0,03	-0,14	1	0,82	-0,07	0,15
feop	-0,06	-0,81	0,76	-0,08	-0,22	0,82	1	0,22	0,16
uabs	0,21	0,03	0,05	-0,20	-0,20	-0,07	0,22	1	0,33
vabs	0,27	-0,24	0,22	-0,18	-0,21	0,15	0,16	0,33	1

Tabla 2.5. Correlación entre las variables para el mes de agosto de 2012

2.4.3 Velocidad de la corriente

2.4.3.1 Estuario interno

2.4.3.1.1 Velocidad instantánea

Los valores de la componente longitudinal de la velocidad instantánea (componente u) se pueden ver en la tabla 2.6. La velocidad fue siempre mayor en bajante que en creciente tanto en fondo como en superficie. También se observó una disminución de la velocidad hacia los veriles y hacia el fondo del canal (tabla 2.6).

sitio 1		<i>veril sur</i>		<i>centro</i>		<i>veril norte</i>	
mes	estrato	bj	cr	bj	cr	bj	cr
enero	s	-0,42	0,32	-0,90	0,65	-0,33	0,36
	f	-0,35	0,31	-0,65	0,42	-0,36	0,28
febrero	s	-0,71	0,45	-1,25	0,82	-0,42	0,45
	f	-0,55	0,34	-0,86	0,47	-0,44	0,34
agosto	s	-0,79	0,48	-1,23	0,82	-0,90	0,53
	f	-0,63	0,43	-0,93	0,55	-0,66	0,44
septiembre	s	-0,87	0,34	-1,39	0,59	-0,88	0,25
	f	-0,70	0,34	-1,09	0,39	-0,66	0,27
febrero 2013	s	-1,22	0,55	-1,24		-0,56	0,67
	f	-0,76	0,36	-0,97		-0,51	0,50

Tabla 2.6. Variación temporal y espacial de la velocidad instantánea de la corriente ($m s^{-1}$), medida aproximadamente en la media creciente y en la media bajante (cr y bj respectivamente). s= superficie, f= fondo. El signo negativo indica el sentido hacia el exterior del estuario.

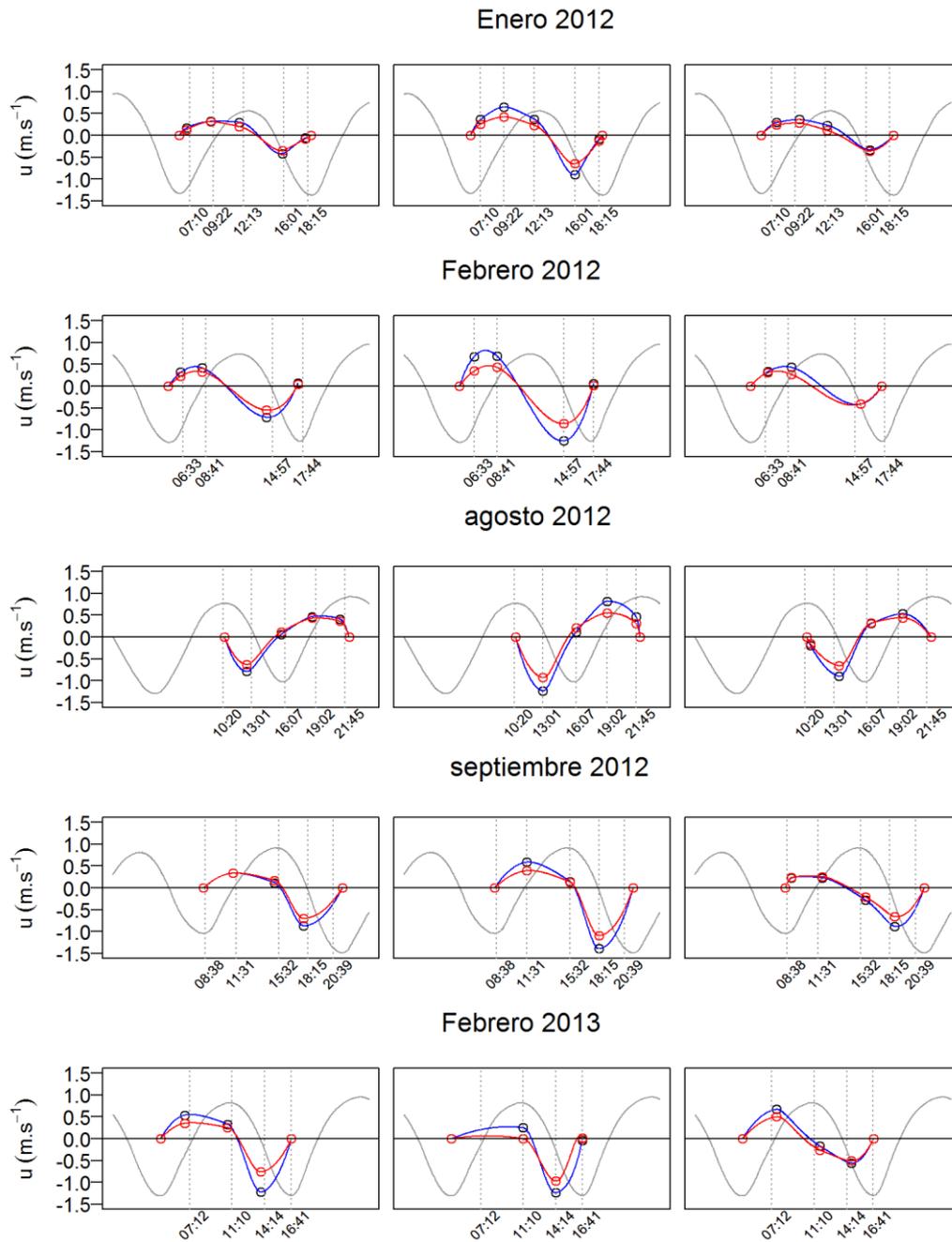


Fig 2.10. Componente u de la velocidad de la corriente durante un ciclo de marea. Las líneas corresponden a los datos interpolados. Los tres gráficos de cada mes corresponden, de izquierda a derecha al veril sur, al centro y al veril norte del canal. En color azul los datos de superficie y en rojo los de fondo.

2.4.3.1.2 Velocidad residual

La velocidad residual en la dirección del eje longitudinal del canal tuvo generalmente valores bajos y el sentido fue hacia el exterior del estuario. Los valores más altos se hallaron generalmente en el centro del canal y los más bajos en los veriles (fig 2.11). En enero la velocidad residual en los veriles fue hacia el interior del estuario, este sentido fue contrario al del centro del canal y en febrero esto ocurrió solo en el veril norte.

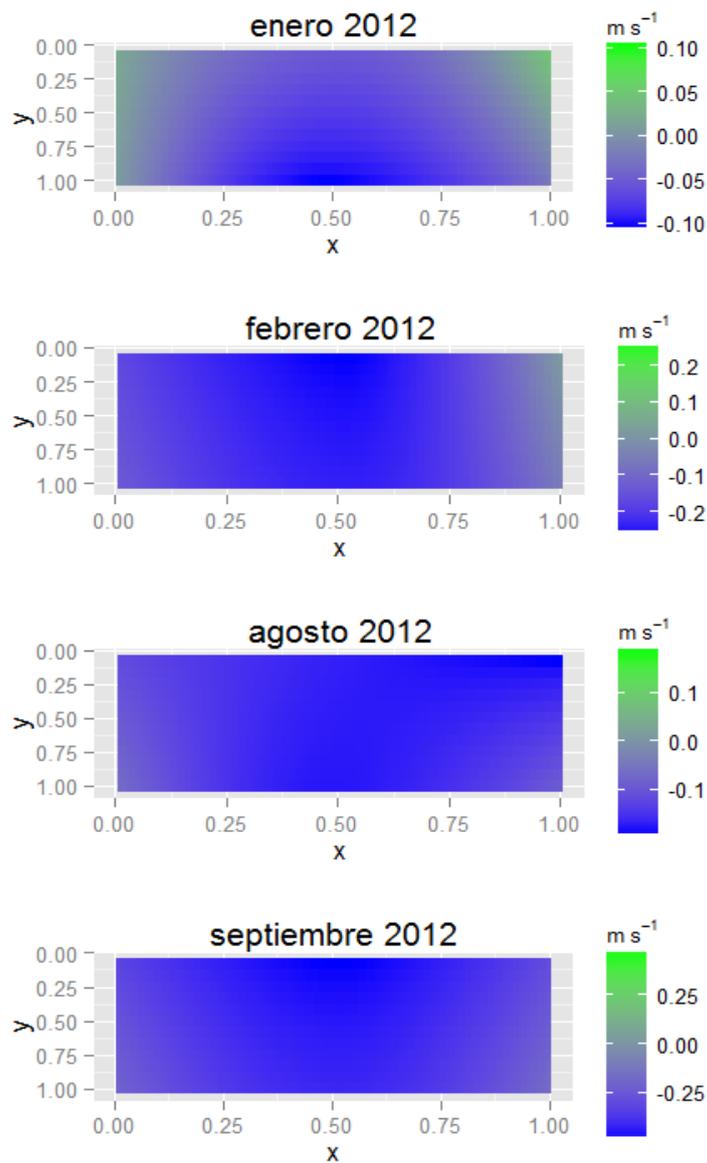


Fig. 2.11. Velocidad residual después de un ciclo de marea ($m.s^{-1}$). El signo negativo indica la dirección hacia el estuario exterior. Los ejes x e y representan esquemáticamente la sección transversal al canal. . El veril sur del canal se encuentra a la izquierda de la figura y el norte a la derecha.

2.4.3.2 Estuario medio

2.4.3.2.1 Velocidad instantánea

Los valores de la componente longitudinal de la velocidad instantánea (componente u) se pueden ver en la tabla 2.7. La velocidad fue mayor en bajante que en creciente en el veril norte y en el centro del canal pero, a diferencia de lo observado en el sitio 1, en el veril sur fue mayor en creciente. Especialmente, las mayores velocidades se hallaron en superficie y generalmente en el centro del canal, sin embargo no se observó una diferencia tan marcada con los veriles como en el sitio 1.

sitio 2		<i>veril sur</i>		<i>centro</i>		<i>veril norte</i>	
mes	estrato	bj	cr	bj	cr	bj	cr
enero	s			-0,89	0,63	-1,10	0,60
	f			-0,73	0,48	-0,86	0,45
febrero	s	-0,73	0,75	-1,05	0,71	-0,90	0,62
	f	-0,56	0,54	-0,74	0,51	-0,64	0,45
agosto	s	-0,55	0,68	-0,97	0,70	-0,87	0,51
	f	-0,43	0,54	-0,75	0,54	-0,70	0,41
septiembre	s	-0,40	0,58	-0,70	0,59	-0,57	0,36
	f	-0,31	0,47	-0,54	0,43	-0,44	0,28
febrero 2013	s	-0,76	0,91	-1,02	0,72	-1,14	0,60
	f	-0,64	0,54	-0,93	0,49	-0,79	0,43

Tabla 2.7. Variación temporal y espacial de la velocidad instantánea de la corriente ($m s^{-1}$), medida aproximadamente en la media creciente y en la media bajante (cr y bj respectivamente). s= superficie, f= fondo. El signo negativo indica el sentido hacia el exterior del estuario.

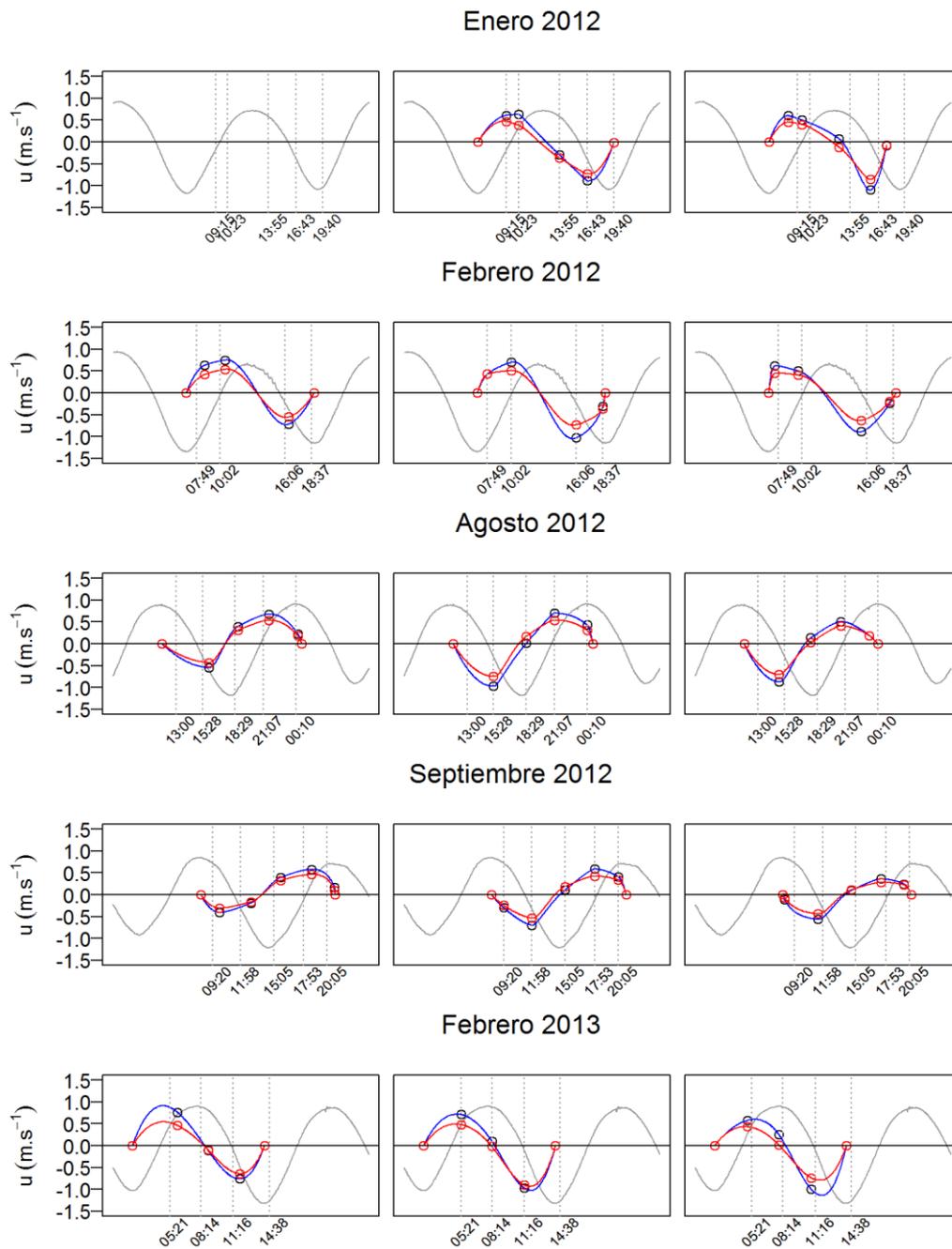


Fig. 2.12. Componente u de la velocidad de la corriente durante un ciclo de marea. Las líneas corresponden a los datos interpolados. Los tres gráficos de cada mes corresponden, de izquierda a derecha al veril sur, al centro y al veril norte del canal. En color azul los datos de superficie y en rojo los de fondo.

2.4.3.2.2 Velocidad residual

La velocidad residual en la dirección del eje longitudinal del canal tuvo un comportamiento diferente al del sitio 1 siendo hacia el interior del estuario en el veril sur del canal y hacia el exterior en resto del canal. Los mayores valores de velocidad, en general se hallaron en los veriles en lugar de en el centro del canal como en el sitio 1 (fig 2.13).

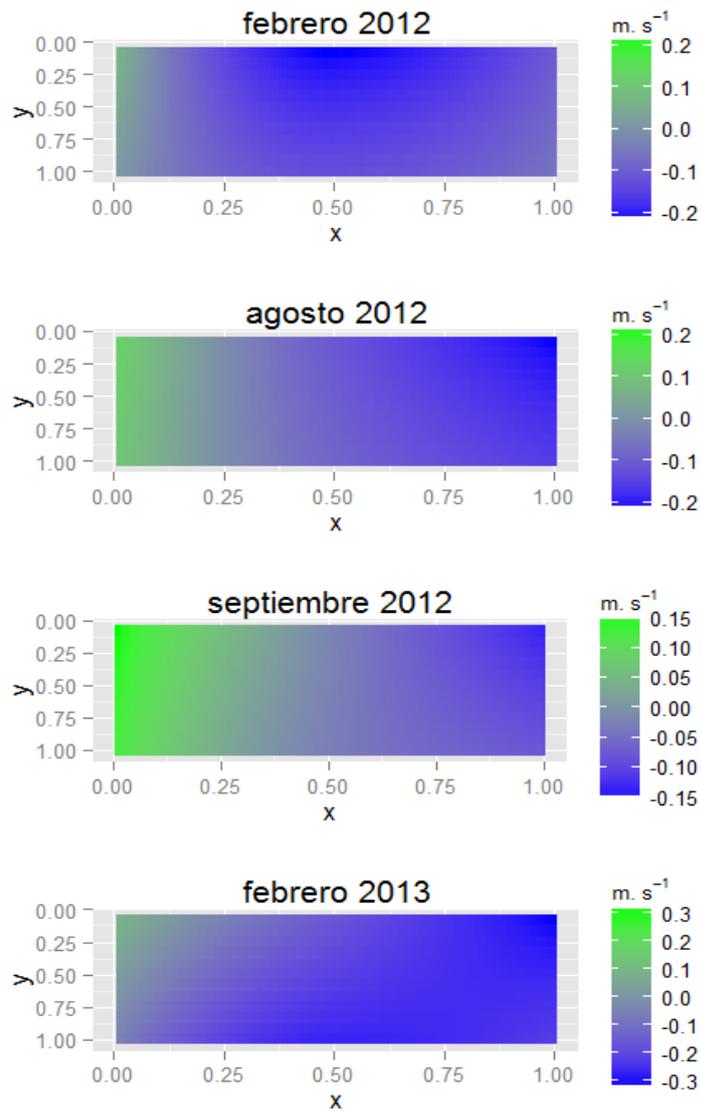


Fig. 2.13. Velocidad residual después de un ciclo de marea (m.s^{-1}) en el sitio 2. El signo negativo indica el sentido hacia el estuario exterior. Los ejes x e y representan esquemáticamente la sección transversal al canal. El veril sur del canal se encuentra a la izquierda de la figura y el norte a la derecha.

2.5 DISCUSIÓN

El estuario de Bahía Blanca tiene una relativa homogeneidad de las condiciones físico-químicas en la columna de agua, principalmente en la temperatura, el pH y la turbidez (Freije *et al.* 2008). Sin embargo los resultados obtenidos con respecto a la salinidad y temperatura del agua muestran variaciones estacionales. La salinidad alcanzó valores más altos en la zona interna en los meses de verano y en la zona media en los meses de invierno. En la figura 2.2, donde se muestra la relación de la salinidad con la altura de marea en la zona interna, se puede observar que los valores de salinidad son más altos en bajamar en verano y lo inverso ocurre en invierno. Esta situación se puede explicar teniendo en cuenta que en la zona interna, el estuario es definido como "hipersalino" en veranos cálidos y secos (Freije *et al.* 1981), donde elevadas tasas de evaporación producen altas concentraciones de sal en las planicies de marea y esto lo transforma en negativo durante esos períodos. Los flujos residuales concentran la sal en la cabecera, alcanzando valores incluso mayores que en la plataforma continental adyacente al estuario (Perillo *et al.* 2001, Freije *et al.* 2008).

Por otro lado, los valores de temperatura registrados en este trabajo son similares a los mencionados en trabajos previos (Freije *et al.* 2008). La temperatura del agua se relaciona directamente con la radiación solar fundamentalmente en el agua superficial donde es mayor que en el resto de la columna de agua. Lo mismo sucede durante el año donde los mínimos valores de la temperatura del agua se registran en invierno (Figs. 2.1 y 2.5).

En el mes de agosto, se hallaron los mayores valores de MPS en el veril norte y en el centro del canal en momentos de pleamar y bajamar. Estos valores son extremadamente elevados con respecto al resto de los valores y a los valores mencionados por otros autores para este estuario. Esto ocurrió solo en una parte del canal (principalmente en el veril norte) y fue debido a una especie de "nube" de alta concentración de sedimentos que fue observada durante la campaña y se desconoce su causa. En Puerto Cuatros, una zona más interna que el sitio 1, se ha observado que el MPS tiene una marcada estacionalidad con valores mínimos en invierno (Guinder *et al.* 2009, Menendez *et al.* 2012 a,b). El MPS en general fue mayor en los veriles y en el fondo del canal, a pesar de esto las pruebas estadísticas no mostraron diferencias entre estratos ni en sentido lateral. En el sitio 2 no se observó un patrón claro, pero generalmente fue estadísticamente mayor en fondo y en el veril norte en los meses de verano. El MOP en el sitio 1 alcanzó los valores más altos en agosto, estos valores elevados pueden estar relacionados a los elevados valores de MPS hallados ese mes ya que estas variables están altamente correlacionadas (ver tabla 2.5). Guinder *et al.* (2009) hallaron los mayores valores de MOP en

invierno (21.8 mg.l^{-1}) y en verano (24.3 mg.l^{-1}) en Pto. Cuatros pero esos valores fueron notablemente más bajos que los hallados en este estudio. La concentración de clorofila a fue más alta en el sitio 2 en febrero y agosto de 2012 pero en septiembre y febrero de 2013 sucedió lo contrario. Los mayores valores se hallaron en septiembre en la zona interna lo cual coincide con mediciones realizadas para esa zona anteriormente (Hoffmeyer *et al.* 2007).

Las corrientes en el estuario de Bahía Blanca son principalmente causadas por la marea. La velocidad de la corriente fue mayor en bajante que en creciente en los dos sitios muestreados. Estos resultados reflejan las diferencias entre las condiciones de creciente y bajante que produce la asimetría de la marea indicada en estudios previos (Piccolo y Perillo 1990, Pérez y Perillo 1998, Perillo *et al.* 2005) que definen el Canal Principal como dominado por el reflujo (Perillo y Piccolo 1999, Perillo *et al.* 2001). El análisis de la componente u de la velocidad en cada punto de la transecta medida muestra una disminución de la velocidad hacia los veriles y hacia el fondo del canal. Sin embargo como se puede ver en las figuras del anexo 1, las máximas velocidades no siempre se concentran en la parte media superior del canal, sino que a veces tienden a concentrarse sobre unos de los veriles. Esto coincide, en parte, con resultados obtenidos por otros autores para la zona interna del estuario quienes encuentran que las corrientes máximas de bajante se concentran en la parte media superior del canal principal, disminuyendo con la profundidad y hacia los veriles, pero las corrientes máximas de creciente tienden a concentrarse a lo largo de la parte sur del canal (Perillo *et al.* 2001, 2005). La importancia de la geomorfología en la asimetría de la marea es reflejada en las corrientes residuales. La velocidad residual es la velocidad obtenida después del balance de las corrientes de flujo y reflujo, y es de particular importancia en el transporte de material particulado (Campuzzano *et al.* 2008).

En la dirección del eje longitudinal del canal, las corrientes residuales tuvieron un comportamiento diferente entre la zona interna y media del estuario (figuras 2.11 y 2.13). En la zona interna, las corrientes residuales fueron hacia el exterior del estuario en toda la sección transversal al canal, pero en la zona media fueron hacia el interior del estuario en el lado sur del canal y hacia el exterior en el lado norte. La distribución de la velocidad residual en la sección transversal del canal de la zona media del estuario, es coherente con resultados hallados por Perillo *et al.* (2005) en el canal principal a la altura de Pto. Ing. White. Sin embargo el sitio donde estos autores realizaron el estudio es más cercano al sitio 1 de este trabajo que al sitio 2.

2.6 REFERENCIAS

- Box, G. E., & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 211-252.
- Campuzano FJ, Pierini JO, Leitaó, PC (2008). The continuous challenge of managing estuarine ecosystems. In *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America*, 2nd edn. pp. 15–28. Ed. by R. Neves, J. Baretta, and M. Mateus. IST Press, Lisboa. 604 pp.
- Freije, R.H., Asteasuain, R. O., Schmidt, A., Zavatti, J. 1981. Relación de la salinidad y temperatura del agua con las condiciones hidrometeorológicas en la porción interna del estuario de Bahía Blanca. *Contribución Científica, IADO Nº 57*: 81 pp.
- Freije RH, Spetter CV, Marcovecchio JE, Popovich CA, Botté SE, Negrin V, 2008. Water chemistry and nutrients of the Bahía Blanca Estuary. In: Neves R, Barretta J, Mateus M, editors. *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America*. Lisboa: IST Press, p 241-54.
- Garibotti E. 2012. Distribución vertical y dinámica temporal del mesozooplankton, en relación a variables fisicoquímicas, en el estuario de Bahía blanca. Tesis doctoral, UNS. Bahía Blanca.
- Gelos EM, Marcos AO, Spagnuolo JO, Schillizzi RA (2004) Textura y mineralogía de sedimentos. En: Piccolo, M.C. y Hoffmeyer, M.S. (eds.). *Ecosistema del estuario de Bahía Blanca*, Instituto Argentino de Oceanografía., Bahía Blanca, 43-50.
- Ginsberg S.S., Perillo G.M.E. 1990. Channel bank recession in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *J. Coast. Res.* 6: 999-1010.
- Ginsberg SS, Perillo GME (2004) Characteristics of tidal channels in a mesotidal estuary of Argentina. *Journal of Coastal Research* 20: 489-497
- Guinder, V. A., Popovich, C. A., & Perillo, G. M. (2009). Particulate suspended matter concentrations in the Bahía Blanca Estuary, Argentina: implication for the development of phytoplankton blooms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 85(1), 157-165.
- Lorenzen CJ (1967) Determination of chlorophyll and phaeopigment: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12: 343-346.
- Mateus, M., Baretta, J., and Neves, R. (2008). The continuous challenge of managing estuarine ecosystems. In *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America*, 2nd edn. pp. 15–28. Ed. by R. Neves, J. Baretta, and M. Mateus. IST Press, Lisboa. 604 pp.
- Menéndez, M. C., Piccolo, M. C., & Hoffmeyer, M. S. (2012). Short-term variability on mesozooplankton community in a shallow mixed estuary (Bahía Blanca, Argentina): Influence of tidal cycles and local winds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 112, 11-22.
- Pérez, D.E. and Perillo, G.M.E. (1998). Residual fluxes of mass, salt, temperature and suspended sediments through a section of Bahía Blanca Estuary. *Geoacta* 23, pp 56-65.
- Perillo GME (1995a) an introduction. In: Perillo GME (ed), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Development in Sedimentology Vol. 53, Elsevier Science BV, Amsterdam, 1-16.
- Perillo GME (1995b) Definition and geomorphologic classifications of estuaries. In: Perillo GME (ed), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Development in Sedimentology Vol. 53, Elsevier Science BV, Amsterdam, 17-47.

- Perillo, G. M., Pierini, J. O., Pérez, D. E., & Gómez, E. A. (2001). Suspended sediment circulation in semi-enclosed docks, Puerto Galván, Argentina. *Terra et Aqua*, 13-20.
- Perillo GME, Piccolo MC, Palma ED, Perez DE, Pierini JO. (2004). Oceanografía física. En: Piccolo, M.C. y Hoffmeyer, M.S. (eds.). Ecosistema del estuario de Bahía Blanca, Instituto Argentino de Oceanografía. pp 61-67.
- Perillo, G. M., Pierini, J. O., Pérez, D. E., & Piccolo, M. C. (2005). Suspended sediment fluxes in the middle reach of the Bahia Blanca Estuary, Argentina. *High Resolution Morphodynamics and Sedimentary Evolution of Estuaries* (pp. 101-114). Springer Netherlands.
- Perillo GME, Piccolo MC. (2013) Procesos físicos en estuarios. En: Marcovecchio J y Freije, HR (Eds) Procesos químicos en estuarios. Edutecne. Bahía Blanca, pp 48-83.
- Piccolo, M.C. Perillo, G.M.E., Melo W.D. (2008) The Bahía Blanca estuary: an integrated overview of its geomorphology and dynamics. In *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America*, 2nd edn. pp. 15–28. Ed. by R. Neves, J. Baretta, and M. Mateus. IST Press, Lisboa. 604 pp.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- RD Instrument 1996. Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation A Practical Primer. RD Instruments, Second Edition Second Edition for Broadband ADCPs. San Diego, California USA. 52pp.
- Schwamborn, R.; Melo Jr, M.; DE Leitão, S. L.; Ekau, W.; Paranaguá, M. N. Dynamic patterns of zooplankton transport and migration in Catuama Inlet (Pernambuco, Brazil), with emphasis on the decapod crustacean larvae. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, v. 36, n. 1, p. 109-113, 2008.
- Stineman, R. W. A Consistently Well Behaved Method of Interpolation. *Creative Computing* (1980), volume 6, number 7, p. 54-57.

3 MESOZOOPLANCTON

3.1 INTRODUCCIÓN

El zooplancton estuarino constituye el vínculo estructural y funcional entre los productores primarios y los organismos mayores pelágicos y bentónicos (Cushing, 1975). Estos organismos se adaptan con éxito a condiciones muy variables y toleran un amplio rango de factores de estrés ambiental. El zooplancton estuarino también es mucho más tolerante a altos niveles de perturbación (contaminación por productos químicos tóxicos, dragados, eutrofización) que el de aguas de la plataforma continental (Uye *et al.* 1992, Esteves *et al.* 1997).

La biología, ecología y biodiversidad de las comunidades del mesozooplancton en el estuario de Bahía Blanca han sido ampliamente estudiadas (Cervellini 1986, 1988, Guerrero *et al.* 1976, Hoffmeyer 1983, 1986, 1990, 1994, 2004 a, b, Hoffmeyer y Prado Figueroa 1997, Hoffmeyer y Torres 2001, Mianzan y Sabatini 1985, Sabatini 1988, 1989, 1990). Se han realizado numerosos trabajos, principalmente, sobre el zooplancton del canal principal y la zona interna del estuario. Esta zona es la que ha sufrido más modificaciones como consecuencia de una combinación de presiones antropogénicas, incluyendo las de carácter industrial (refinerías de petróleo, industrias petroquímicas, otras industrias) y las relacionadas con la producción de aguas residuales, actividades de dragado y navegación. Uno de los primeros antecedentes sobre el mesozooplancton del estuario es el trabajo de Guerrero *et al.* (1976), en el cual se mencionan a los copépodos calanoideos y las larvas zoeas de cangrejos *Brachyura* como las formas más conspicuas y dominantes durante los meses cálidos.

Hoffmeyer (1983) realizó una caracterización del mesozooplancton desde la boca hasta la cabecera del estuario durante 1979 – 1981. En ese trabajo se observó que el holoplancton estaba compuesto principalmente de especies de copépodos como *Acartia tonsa*, *Paracalanus parvus*, *Labidocera fluviatilis*, *Calanoides carinatus*, *Oithona nana*, *Monstrilla sp.*, *Monstrilla helgolandica*, *Tisbe varians*, *Harpacticus chelifera*, *Nannopus palustris*, *Robertsonia propinqua*, *Dactylopodia tisboides*, *Heterolaophonte sp. (aff pauciseta)* y *Euterpina acutifrons*. Los copépodos *C. carinatus* y *L. fluviatilis* fueron observados con mayor frecuencia en la zona externa del estuario (Hoffmeyer 2004a).

Acartia tonsa es históricamente la especie más importante desde el punto de vista numérico, dominando a lo largo de cada ciclo anual (Hoffmeyer, 2004b) y es un componente fundamental en la trama trófica de la porción interna del estuario (Hoffmeyer 1983, Sabatini 1989). El ciclo

anual de esta especie y su producción en el estuario de Bahía Blanca han sido aspectos ampliamente estudiados (Sabatini 1988, 1989, Hoffmeyer 1983, 1986, 1994, 2004b, Hoffmeyer y Prado Figueroa 1997, Diodato y Hoffmeyer 2008).

Eurytemora americana fue observada por primera vez a mediados de la década del 80' y se cree que su introducción puede haber sido efectuada a través del agua de lastre de los barcos (Hoffmeyer, 2004b). Es una especie numéricamente importante en el estuario entre fines de invierno y principios de primavera cuando se produce la declinación de la población de *A. tonsa*. En 1990 esta especie se registró en el plancton en el mes de julio y hasta octubre y su presencia coincidió con temperaturas de entre 7 y 19,6 °C y salinidades entre 28,7 y 35,6 (Hoffmeyer, 1994). Durante su máximo de abundancia en el mes de septiembre, llegó a significar más del 60% de la abundancia total del holoplancton (Hoffmeyer, 1994, 2004b). El pulso planctónico observado en este estuario deriva directamente de la eclosión de huevos diapáusicos que emergen de los sedimentos del fondo (Hoffmeyer *et al.*, 2008b). El incremento de la abundancia de larvas nauplius de esta especie durante el mes de junio, está principalmente asociado a los altos valores de clorofila-a y salinidad así como también a las temperaturas más bajas y a los menores valores de fotoperíodo y radiación (Hoffmeyer *et al.* 2008b). *E. americana* es una especie herbívora (Hoffmeyer y Prado Figueroa 1997), lo que significa una ventaja con respecto a *A. tonsa* durante el bloom de fitoplancton que se produce en el estuario durante fines de invierno-primavera. Otros factores tales como la presión de consumo selectiva de larvas de peces y ctenóforos sobre *A. tonsa* también parecen contribuir a la disminución de esta especie durante los meses de invierno y primavera (Hoffmeyer *et al.* 2008b). El área de distribución de *E. americana* se encuentra restringida a la zona más interna del estuario (Hoffmeyer y Tumini 1999). Estudios realizados durante 2006-2007 mostraron la presencia de diversas etapas de desarrollo de *L. fluviatilis* y *C. carinatus* y un aumento de la abundancia de *P. parvus* en la zona interna del estuario, lo que indica un aumento del rango de distribución de estas especies (Hoffmeyer 2008).

Con respecto al meroplancton, han sido mencionados varios taxa como larvas de cirripedios, poliquetos, moluscos gasterópodos y pelecípodos, cangrejos decápodos, ascidias y cnidarios (Guerrero *et al.* 1976, Hoffmeyer 1983). Las larvas de Grapsidae aparecen en primavera y aumentan en verano (Hoffmeyer 2004b). En la zona interior del estuario se encuentran dos especies de Grapsidae: *Neohelice granulata* y *Cyrtograpsus altimanus* (Cervellini 1986, 1988). Las especies de cirripedios descritas para la zona interna del estuario de Bahía Blanca corresponden a *Balanus amphitrite* (nativo del estuario) y *Balanus glandula* (especie exótica)

(Hoffmeyer 1983, Wagner *et al.* 1991, Hoffmeyer 2004a). Para el ciclo anual 1990-1991, Wagner *et al.* (1991) encontró dominancia casi total de *B. glandula* sobre *B. amphitrite* en el bentos del muelle de Ingeniero White. La misma situación se observó en Puerto Cuatros (Hoffmeyer 2004a). Desde su llegada al estuario de Bahía Blanca, la población ha crecido rápidamente, es una especie agresiva e invasora que fue paulatinamente extendiéndose hacia el sur por la costa argentina, llegando hasta la costa de Comodoro Rivadavia (Hoffmeyer 1983, Orensanz *et al.* 2003, Rico *et al.* 2001, Spivak *et al.* 1976, Wagner *et al.* 1991).

3.1.1 Objetivos

A fin de poder analizar la distribución vertical del mesozooplankton en relación a los distintos estados de marea y cuantificar el transporte del zooplankton, en este capítulo se propone analizar la comunidad mesozooplanktonica en la zona interna y media del estuario de Bahía Blanca.

3.2 RESULTADOS

3.2.1 Estuario interno

La composición del mesozooplankton en este sitio varió fundamentalmente debido a la marcada estacionalidad lo que permitió determinar fuertes diferencias entre los meses de invierno y verano. En el verano, el mesozooplankton estuvo representado principalmente por el copépodo *Acartia tonsa* y en invierno por larvas nauplius de *Balanus glandula*. En enero de 2012 se hallaron 17 taxa de los cuales los más abundantes fueron *Acartia tonsa* y las larvas veliger de *Crassostrea gigas*. Estas últimas se observaron principalmente en superficie mientras que los adultos y copepoditos de *A. tonsa* predominaron sobre el resto de los taxa en las muestras de fondo. En febrero de 2012 se hallaron 16 taxa siendo *A. tonsa* la especie dominante en la mayoría de las muestras. Los adultos y copepoditos de esta especie alcanzaron un valor medio mucho mayor que el resto de los taxones (tabla 3.1). Se observó también una mayor abundancia de nauplii de *A. tonsa* en superficie que en fondo, llegando incluso a superar a la abundancia de adultos y copepoditos de dicha especie, en dos muestras del estrato superficial (figura 3.1). En agosto se hallaron 17 taxa en total y la abundancia del mesozooplankton fue muy baja en general y estuvo estrechamente condicionada por la abundancia de nauplii de *B. glandula* que fue el taxón más abundante en todas las muestras, tanto de superficie como de fondo. Aunque la abundancia en general fue baja se observó una abundancia extraordinariamente elevada en dos muestras correspondientes a los momentos de bajante y creciente del centro del canal (figura 3.2). En febrero de 2013 se hallaron 15 taxa en total y al igual que en enero de 2012 los más abundantes fueron los adultos y copepoditos de *A. tonsa* y las larvas de *C. gigas*. Sin embargo a diferencia de lo observado en el verano 2012 en este caso no se observó una diferencia marcada entre el estrato superficial y el profundo. En este mes, también fue importante la abundancia de *E. acutifrons* principalmente en el estrato superficial (figura 3.2).

taxa	Ene 12	Feb 12	Ago 12	Feb 13
<i>Acartia tonsa</i>	1814.73	2362.89	19.11	2261.01
<i>Acartia tonsa</i> (L)	290.95	414.47	3.71	217.14
<i>Alpheus puapeba</i> (L)	0.95	###	###	###
<i>Amphibalanus amphitrite</i> (L)	100.12	42.89	###	70.44
<i>Austinixa patagoniensis</i> (L)	1.03	###	###	###
<i>Balanus glandula</i> (Cypris)	###	###	23.82	###
<i>Balanus glandula</i> (Nauplius)	###	###	715.01	###
<i>Crassostrea gigas</i> (L)	1840.69	215.47	###	1349.69
<i>Bosmina longirostris</i>	###	###	0.63	###
<i>Calanoides carinatus</i>	###	###	0.31	###
<i>Calanoides carinatus</i> (L)	###	###	0.63	###
<i>Corophium</i> sp. (J)	2.84	###	###	###
<i>Ctenocalanus vanus</i>	###	###	0.38	###
Cyclopoida	###	###	0.1	###
<i>Eurytemora americana</i>	###	###	4.44	###
<i>Eurytemora americana</i> (L)	###	###	1.09	###
<i>Euterpina acutifrons</i>	390.27	183.49	4.77	868.24
<i>Euterpina acutifrons</i> (L)	233.18	###	0.06	1.89
Gastropoda (L)	10.8	16.73	###	32.23
Grapsidae (L)	111.01	62.14	0.38	39.78
<i>Halicyclops</i> sp.	1.85	20.13	0.2	1.26
Harpacticoida	53	123.52	1.18	25.94
<i>Labidocera fluviatilis</i>	5.66	9.43	###	5.87
<i>Labidocera fluviatilis</i> (L)	19.76	4.4	###	3.46
<i>Longipedia</i> sp. (L)	109.82	217.61	###	118.24
<i>Monocorophium</i> sp.(J)	2.25	2.31	0.17	0.94
<i>Monstrilla helgolandica</i>	###	###	0.55	###
<i>Oithona nana</i>	40.42	23.4	0.19	39.47
Ostracoda	###	1.26	###	###
<i>Pagurus</i> sp. (L)	###	###	###	0.63
<i>Paracalanus parvus</i>	22.02	3.14	2.73	7.08
<i>Penella</i> sp.	###	0.63	0.06	
Polychaeta (L)	2.57	19.62	1.95	5.03

Tabla 3.1. Valores medios de abundancia (ind.m⁻³) de cada taxón para cada mes en el sitio 1.

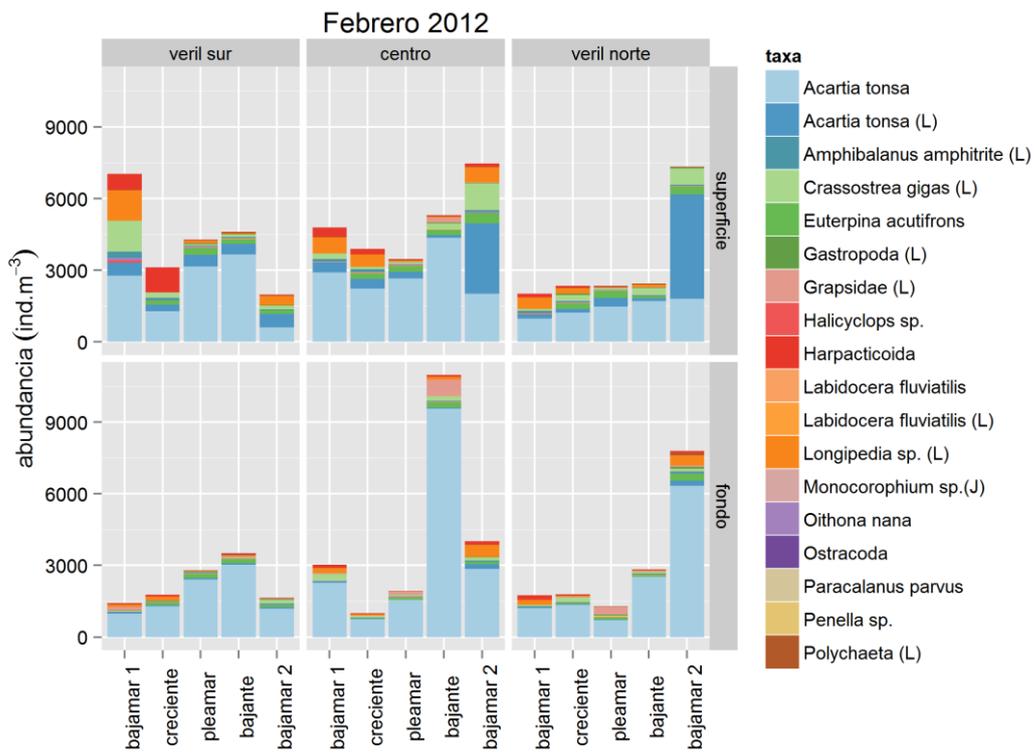
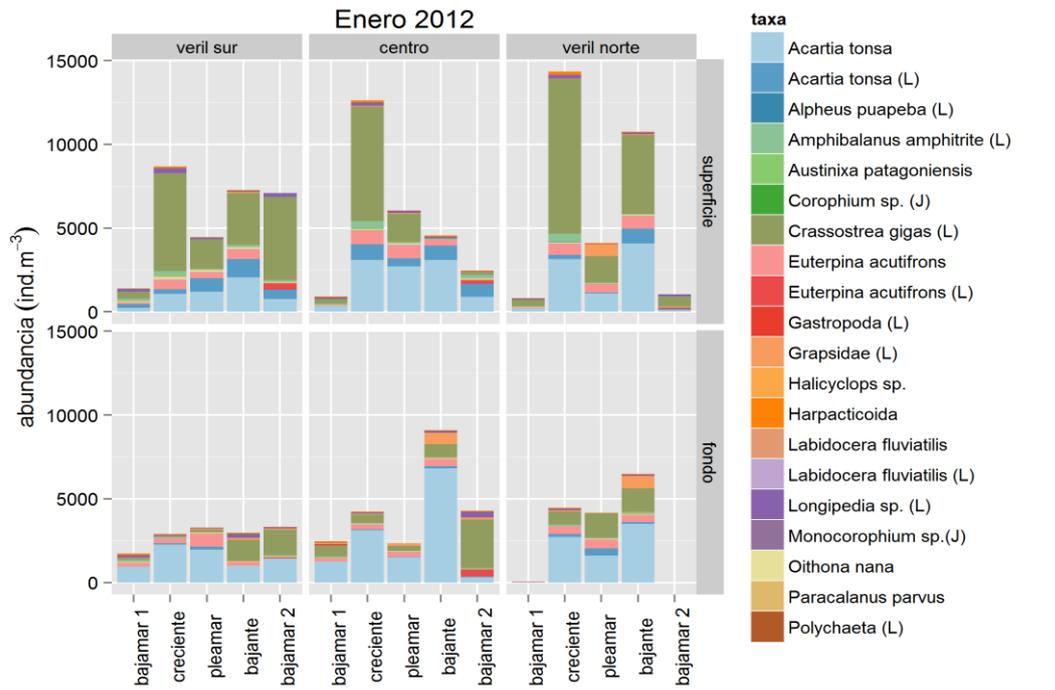


Fig 3.1. Abundancia (ind.m⁻³) de cada muestra y contribución de cada taxón a la abundancia total.

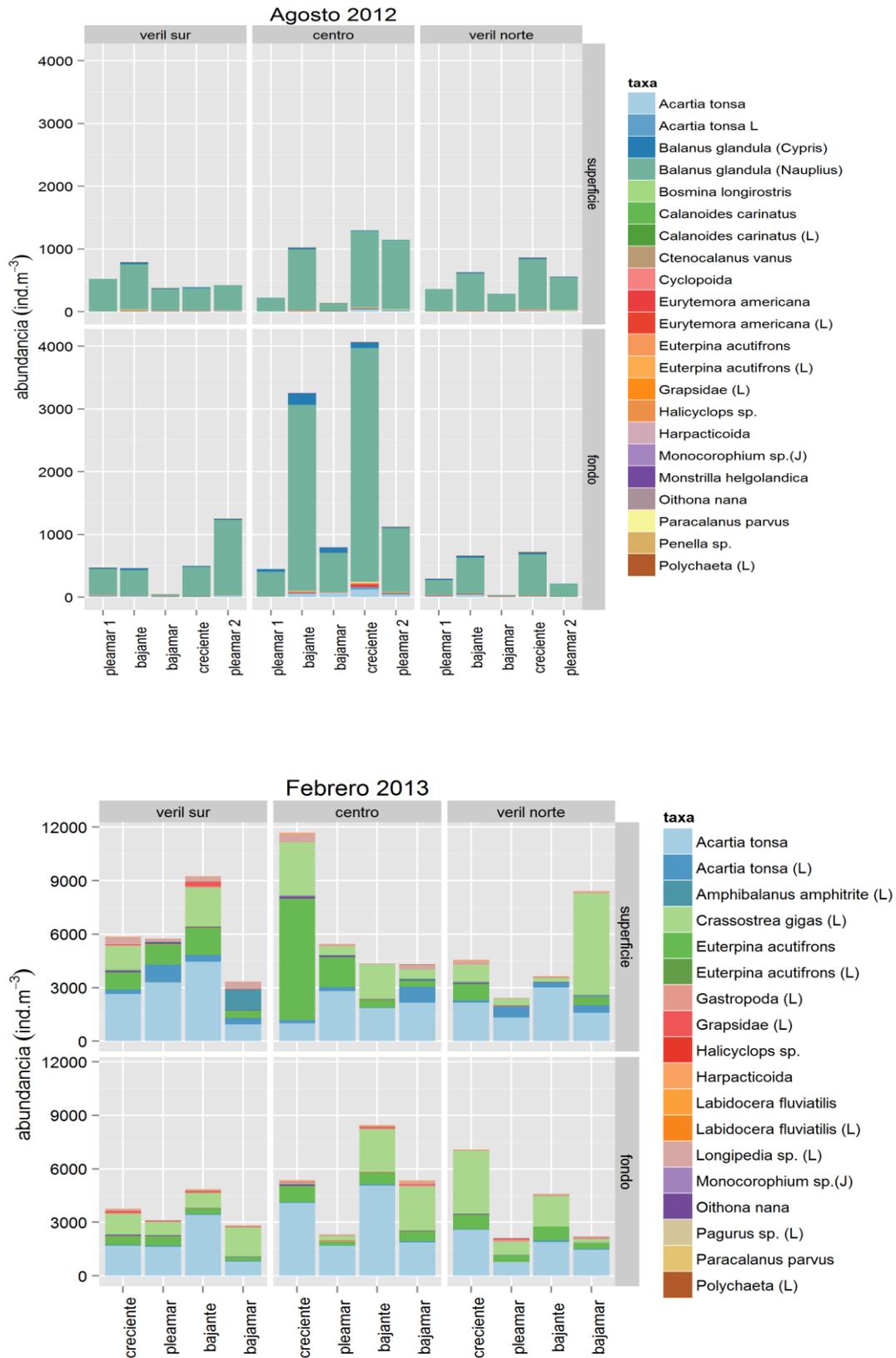


Fig 3.2. Abundancia (ind.m⁻³) de cada muestra y contribución de cada taxón a la abundancia total.

3.2.2 Estuario medio

En el sitio 2 la composición y la abundancia del mesozooplancton también estuvieron determinadas principalmente, por la estacionalidad marcada, observándose diferencias entre los meses de invierno y verano. En enero de 2012 se hallaron 17 taxa de los cuales los dos más abundantes fueron *E. acutifrons* y *A. tonsa*. En general la abundancia de adultos y copepoditos de *E. acutifrons* y la abundancia de nauplii de *A. tonsa* fue mayor en superficie. También se hallaron larvas zoeas de la familia Grapsidae principalmente en el estrato profundo, sin embargo se observó un aumento de su abundancia en el estrato superficial del veril norte durante la bajante. Con una abundancia baja pero con presencia en más del 70 % de las muestras, también se observaron larvas nauplius de *Longipedia* sp. y nauplii, copepoditos y adultos de *L. fluviatilis* (fig 3.3).

En febrero del mismo año, se hallaron 15 taxa siendo *A. tonsa* el más abundante en todas las muestras tanto de fondo como de superficie. En general se observó una abundancia baja en el veril norte y en todo el estrato profundo. Al igual que en enero se observaron larvas nauplius de *A. tonsa* principalmente en superficie, y también adultos y copepoditos de *E. acutifrons*. Las zoeas de Grapsidae estuvieron presentes en el 80 % de las muestras con valores bajos de abundancia, sin embargo se puede observar en la figura 3.3 un aumento de su abundancia en superficie en momentos de marea bajante y bajamar. En agosto se hallaron 15 taxa, con un fuerte dominio de larvas de *B. glandula* sobre el resto de los taxa y seguidos numéricamente por *C. carinatus* (principalmente en superficie) y *A. tonsa* (fig 3.4). En septiembre aumentó el número de taxa a 23 y los más abundantes fueron *A. tonsa*, *B. glandula* y *E. acutifrons* (3.5). En febrero de 2013 el número de taxa se redujo a 16 siendo *E. acutifrons* y *A. tonsa* los más abundantes (3.6).

taxa	ene	feb	ago	sep	feb-13
Acartia tonsa	1147.16	1519.65	8.5	46.29	1480
Acartia tonsa (L)	173.58	177.04	0.63	7.28	53.01
Amphibalanus amphitrite (L)	7.1	4.19	####	####	1.95
Balanus glandula (Cypris)	####	####	0.13	0.65	####
Balanus glandula (Nauplius)	####	####	39.4	30.4	####
Bivalvia (L)	31.53	14.05	####	####	7.71
Botryllus sp.	####	####	####	0.06	####
Calanoides carinatus	####	####	1.35	1.02	####
Calanoides carinatus (L)	####	####	10.03	0.75	####
Caligus sp. (J)	####	####	####	0.06	####
Ctenocalanus vanus	####	####	2.63	0.59	####
Ctenocalanus vanus (L)	####	####	####	0.57	####
Cumacea	####	0.63	####	0.06	####
Decapoda (Nauplius)	####	####	####	2.5	####
Eurytemora americana	####	####	0.6	6.91	####
Eurytemora americana (L)	####	####	0.31	1.21	####
Euterpina acutifrons	900	151.41	3.75	23.41	1609.6
Euterpina acutifrons (L)	22.25	####	0.79	1.2	####
Gastropoda (L)	46.31	9.43	0.06	####	7.26
Grapsidae (L)	316.76	43.24	####	2.01	33.61
Halicyclops sp.	1.42	####	0.23	0.06	0.44
Harpacticoida	6.39	9.12	0.89	0.36	4.96
Labidocera fluviatilis	24.72	10.53	0.09	0.65	3.55
Labidocera fluviatilis (L)	36.08	10.22	0.06	0.94	5.11
Longipedia sp. (L)	31.53	12.11	####	0.31	6.01
Monocorophium sp.(J)	1.42	0.63	0.06	0.09	0.35
Monstrilla helgolandica	####	####	0.09	0.19	####
Monstrilla sp.	0.71	####	####	0.06	0.06
Neomysis americana (J)	####	2.2	####	1.28	####
Oithona nana	63.64	35.38	0.65	0.11	21.21
Pagurus sp. (L)	9.94	0.94	####	####	0.69
Paracalanus parvus	9.94	####	8.25	5.41	4.92
Penella sp.	####	####	####	0.16	####
Polychaeta (L)	2.13	4.82	0.72	3.9	2.74
Rizocephala (L)	0.71	####	####	####	####

Tabla 3.2. Valores medios de abundancia (ind.m⁻³) de cada taxón para cada mes en el sitio 2.

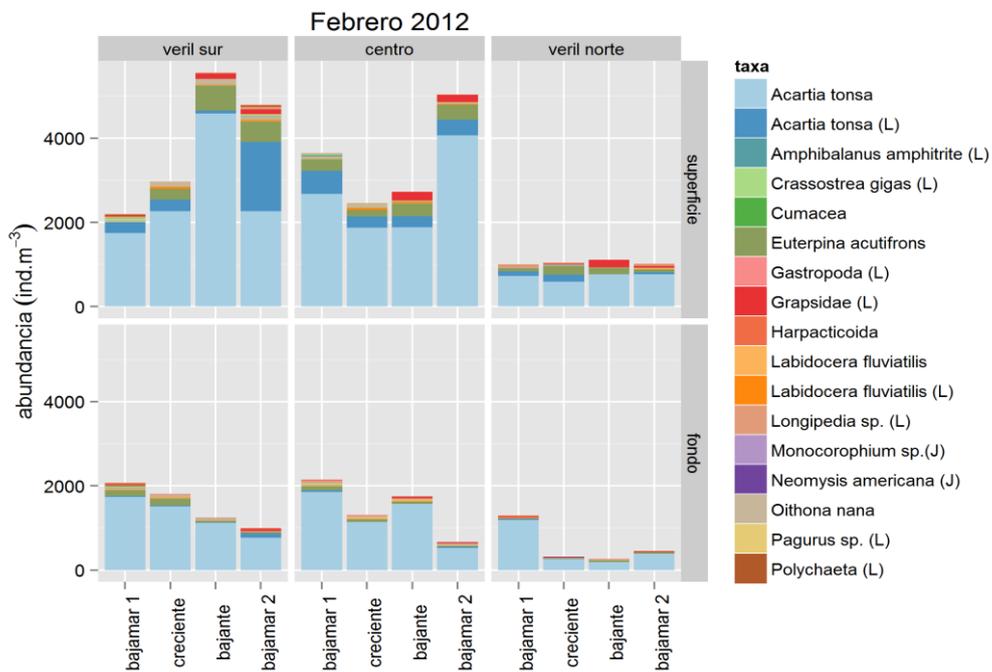
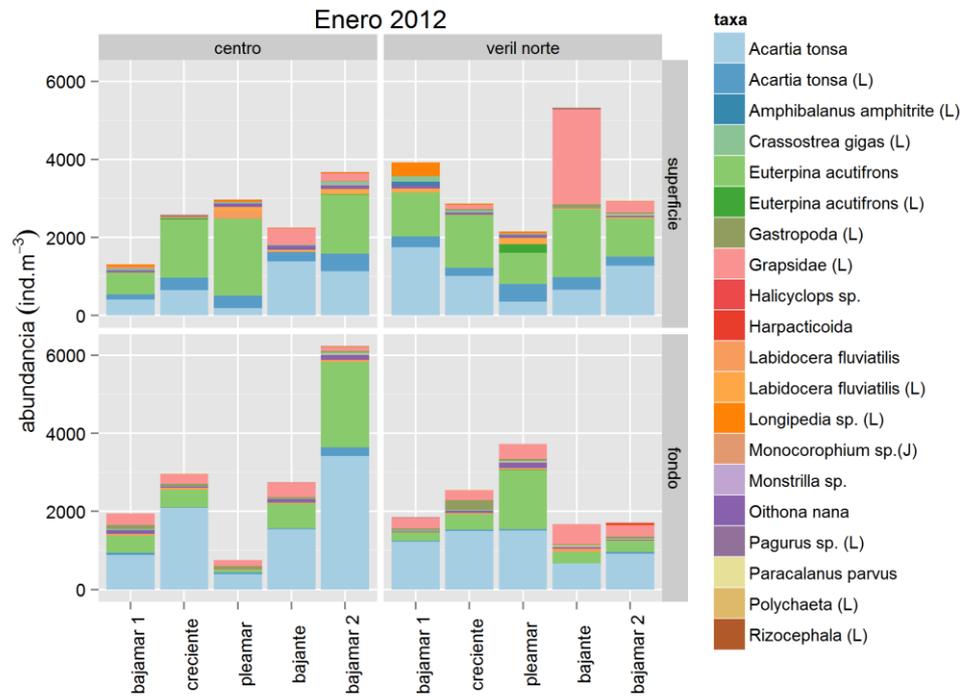


Fig 3.3. Abundancia (ind.m⁻³) de cada muestra y contribución de cada taxón a la abundancia total.

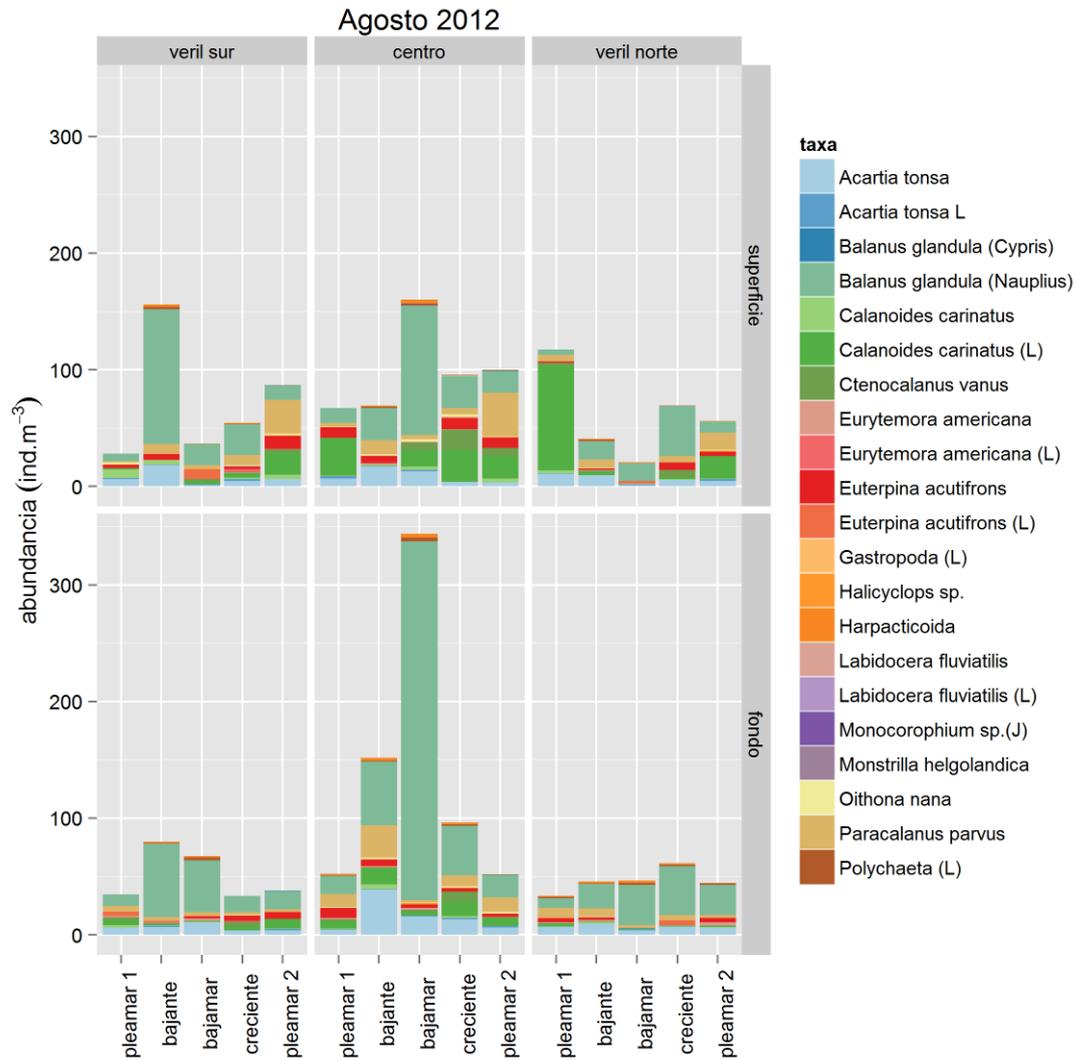


Fig 3.4. Abundancia (ind.m⁻³) de cada muestra y contribución de cada taxón a la abundancia total.

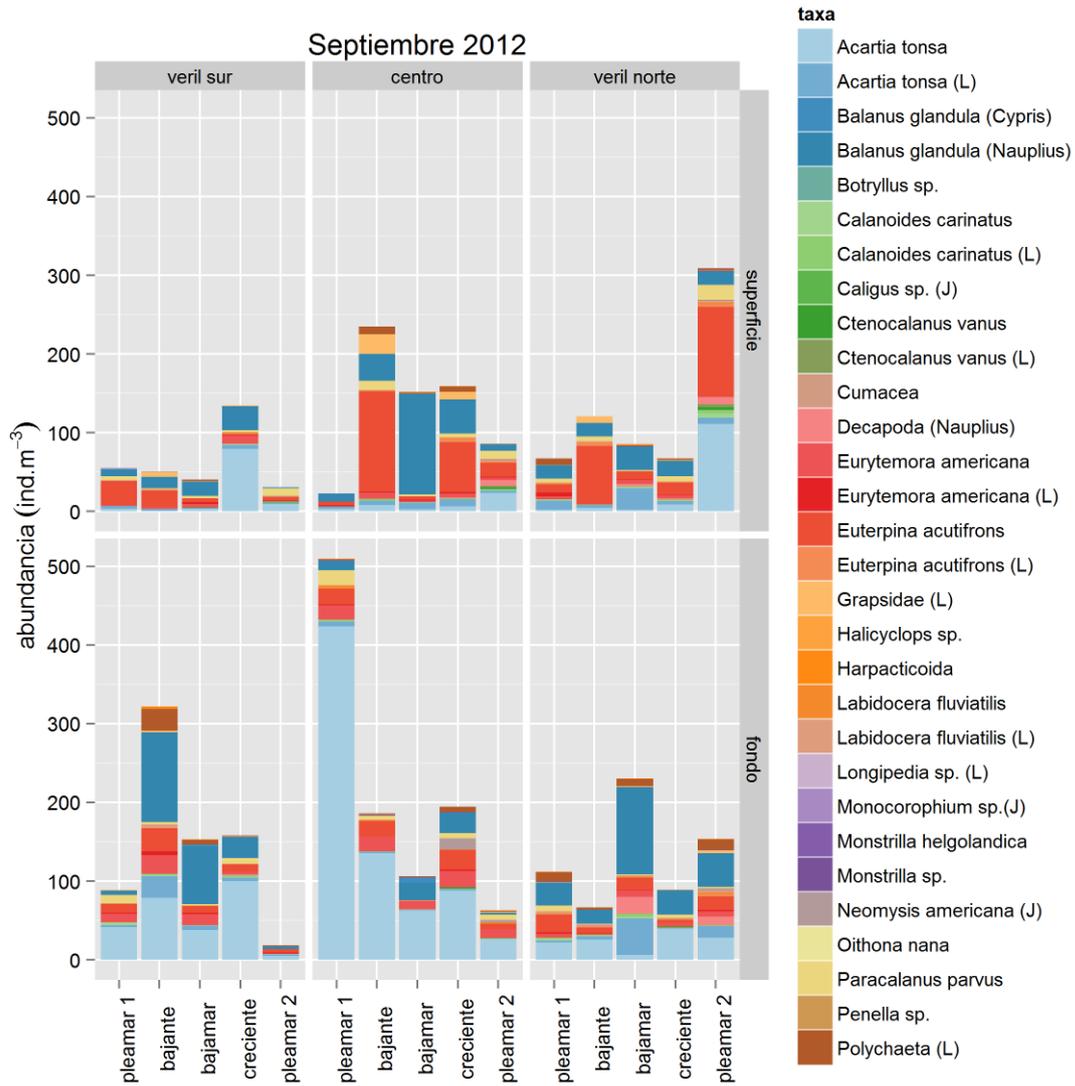


Fig 3.5. Abundancia (ind.m⁻³) de cada muestra y contribución de cada taxón a la abundancia total.

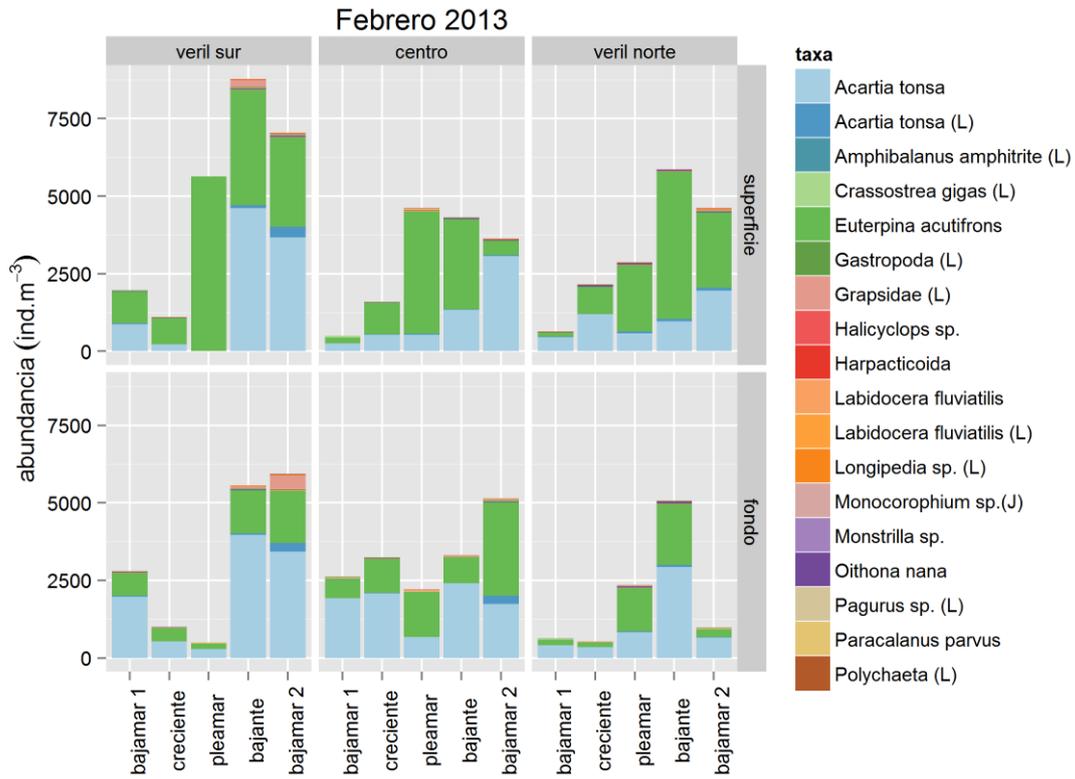


Fig 3.6. Abundancia (ind.m⁻³) de cada muestra y contribución de cada taxón a la abundancia total.

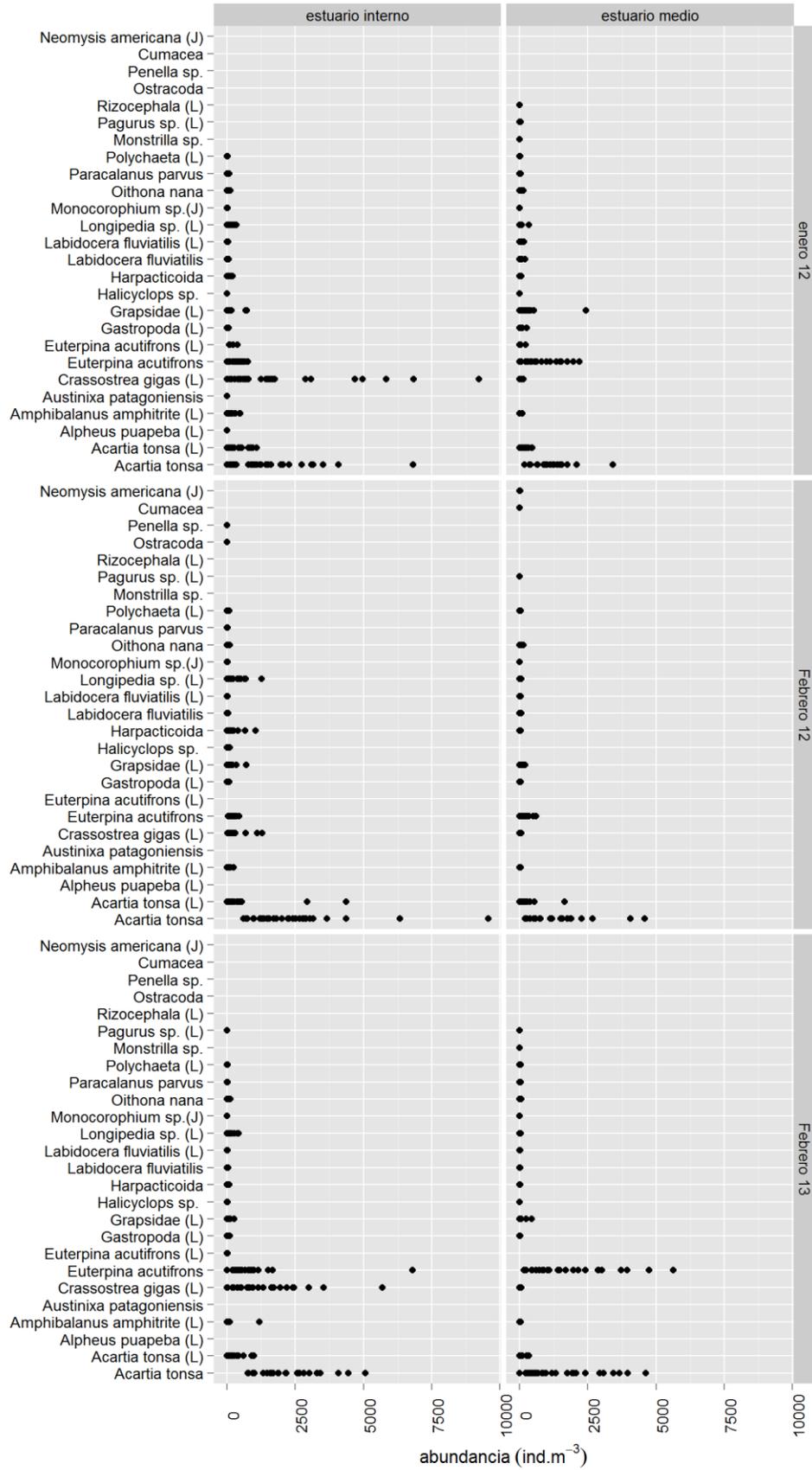


Fig. 3.7. Comparación de la abundancia (ind.m⁻³) de los distintos taxa entre el estuario interno y medio en verano.

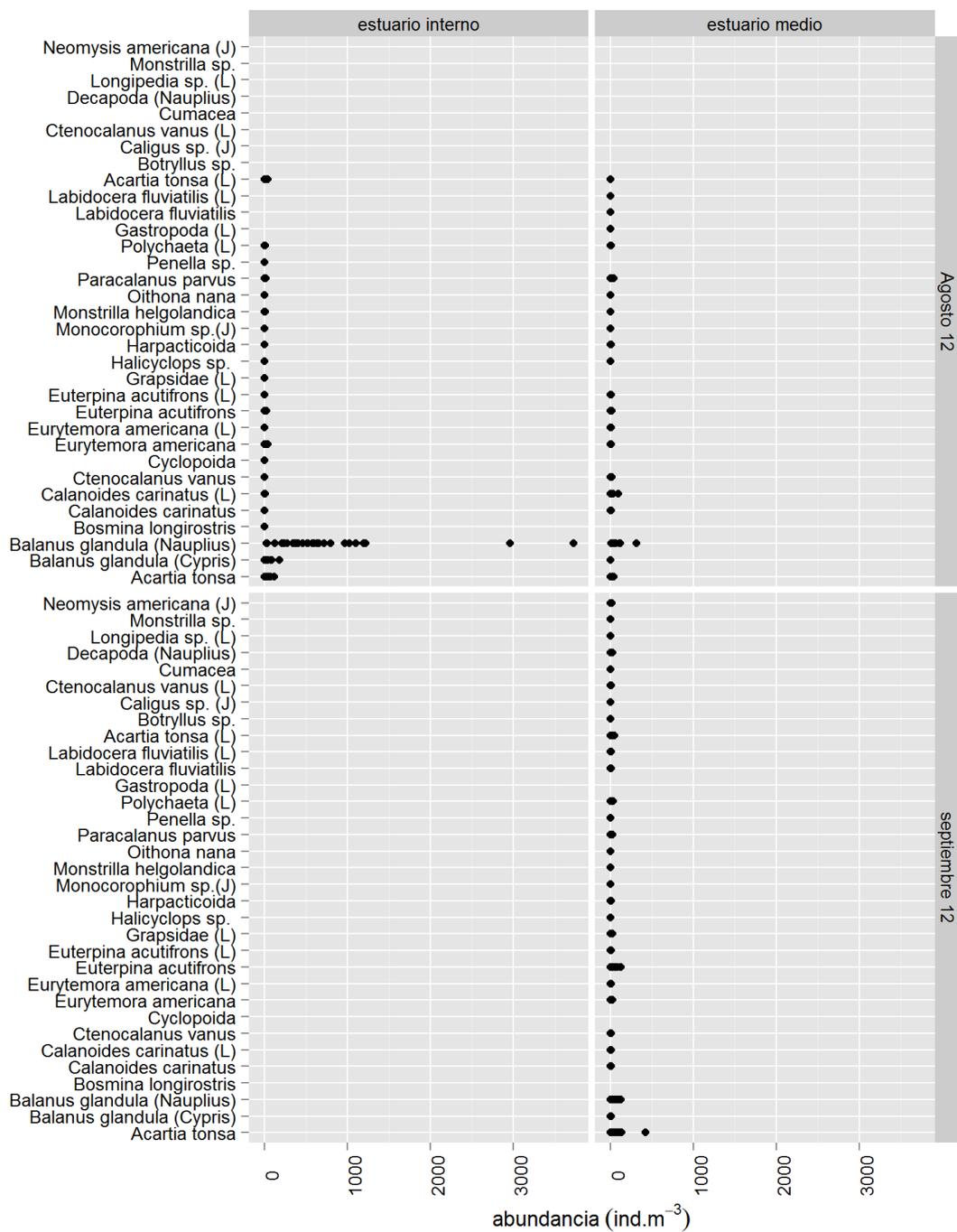


Fig. 3.8. Comparación de la abundancia (ind.m⁻³) de los distintos taxa entre el estuario interno y medio en invierno.

3.3 DISCUSIÓN

La composición y abundancia del mesozooplancton coincidió, en general, con los valores históricos reportados por Hoffmeyer (1994, 2004 a, b) para la zona interna del estuario. También la diferencia de abundancia y composición entre los meses de verano e invierno coincidió con los resultados ya reportados para la zona interna y media del estuario (Hoffmeyer, 1994, 2004 a, b). Con respecto al holoplancton, los principales copépodos hallados durante este estudio ya han sido reportados en estudios previos, Hoffmeyer (1983) cita las especies *Acartia tonsa*, *Paracalanus parvus*, *Calanoides carinatus* y *Labidocera fluviatilis*, estos dos últimos fueron más frecuentes y abundantes en las estaciones ubicadas entre Pto Ing. White y la boya 18 lo cual coincide con lo observado en este estudio. También el harpacticóideo *E. acutifrons* y el cyclopoideo *O. nana* han sido citados en trabajos previos y fueron hallados durante este trabajo. En los dos sitios estudiados, los resultados muestran a *A. tonsa* como la especie dominante en el holoplancton durante los meses de verano. Esta especie es clave en el estuario y es históricamente la más importante desde el punto de vista numérico (Hoffmeyer 1983, Hoffmeyer 2004, Sabatini 1989). El meroplancton estuvo principalmente dominado por larvas de *B. glandula* en invierno y larvas de *C. gigas* en verano. Durante el mes de enero de 2012 la abundancia de *C. gigas* igualó a la abundancia de adultos y copepoditos de *A. tonsa*. Se debe destacar que es en el presente estudio que se reconoce por primera vez la presencia de larvas de *C. gigas* en el plancton del estuario de Bahía Blanca. El establecimiento de esta especie podría ser desfavorable para el ecosistema ya que el adulto es un ingeniero ecosistémico (Jones 1994, Wright y Jones 2006) que con su actividad es capaz de modificar el sistema estuarino. Por ejemplo, puede producir cambios en la geomorfología alterando el sustrato, y variabilidad en la disponibilidad de nutrientes de la columna de agua, así como también cambios en la dinámica sedimentaria y producir una aceleración del reciclado de nutrientes (Orensanz *et al.* 2002, Escapa *et al.* 2004, Troost 2010). Esta especie fue introducida para su cultivo en Bahía Anegada, al sur de la provincia de Buenos Aires en la década del 80 (Borges 2006) y tiene la característica de poseer un amplio rango de tolerancia a la salinidad y temperatura (Carrasco y Barón 2010). Años más tarde, entre 1998 y 1999 también fue introducida en Las Toninas (Pcia. de Buenos Aires) y Río Gallegos, San Julián y Caleta Olivia (Pcia. de Santa Cruz) (Orensanz *et al.* 2002). En 2010, se observaron por primera vez asentamientos de *C. gigas* en el estuario de Bahía Blanca (dos Santos y Fiori 2010). Existen antecedentes de expansión y naturalización de la especie en lugares donde fue introducida y se ha expandido hasta establecer nuevas poblaciones en Europa, por ejemplo en la costa de Alemania, Holanda y Dinamarca (Nehring 2006, Smaal *et al.* 2009,

Troost *et al.* 2009, Diederich 2005, Wang *et al.* 2007) y en Sudamérica, en Santa Catarina, Brasil (Melo *et al.* 2009).

Hasta hace unos pocos años, el único banco conocido que podía actuar como emisor de larvas era el de Bahía Anegada, ubicado unos 100 km al sur del estuario de Bahía Blanca (Dos Santos y Fiori 2010, Carrasco y Barón 2009). Sin embargo recientemente, se han observado asentamientos importantes de *C. gigas* dentro del estuario de Bahía Blanca, en las zonas de Puerto Rosales y Puerto Galván (Bravo 2014). Aunque todavía incipiente, la presencia de *C. gigas* en el estuario de Bahía Blanca, merece una atención especial porque junto a la presencia dominante de larvas planctónicas evidencian que puede reproducirse dentro del estuario y las larvas podrían dispersarse a nuevos sitios de asentamiento.

3.4 REFERENCIAS

- Boltovskoy, D. (ed). 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Mar del Plata. 933 pp.
- Boltovskoy, D. (ed.). 1999. South Atlantic Zooplankton (Volumen 1 y 2). Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 1706 pp.
- Borges, M. E. (2006). Ecología de las ostras en ambientes del sur bonaerense: cultivo y manejo de sus poblaciones. Tesis de Doctor en Biología. Universidad Nacional del Sur (Argentina). 247 p.
- Bravo (2014). Estado de la invasión de la ostra del pacifico, *Crassostrea gigas*, en el estuario de Bahía Blanca. Tesis de grado. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 40 pp.
- Brink, L. 1997. Cross-shelf transport of planktonic larvae of inner shelf benthic invertebrates. Thesis of Master of Science. Department of Biology. University of Oregon. 153 pp.
- Carrasco M. y Barón P. (2010). Analysis of the potential geographic range of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) based on surface seawater temperature satellite data and climate charts: the coast of South America as a study case. *Biolog. Invasions*: 2597-2607.
- Cushing D.H (1975). *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press, Cambridge, 278pp.
- Diederich, S. (2005). Invasion of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in the Wadden Sea: competitive advantage over native mussels. *Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität*, PhD Thesis, Kiel, Germany: 151 p.
- Dixon, P. y Robertson, A. I. 1986. A compact, self-contained zooplankton pump for use in shallow coastal habitats: design and performance compared to net samples. *Marine Ecology*. 32: 97-100.
- dos Santos, E. P., & Fiori, S. M. (2010). Primer registro sobre la presencia de *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) (Bivalvia: Ostreidae) en el estuario de Bahía Blanca (Argentina). *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay*, 9(93), 245-252.
- Escapa, M.; Isacch, J. P.; Daleo, P., J. Alberti; Iribarne, O.; Borges, M.; Dos Santos, E. P.; Galiardini, D.; Lasta, M. (2004). The distribution and ecological effects of the invasive Pacific Oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) in Northern Patagonia. *Journal Shellfish Research* 23: 765-772.
- Esteves J. L, Solís M, Gil M, Santinelli N, Sastre V, Gonzalez Raies C, Hoffmeyer M, Commendatore M (1997). Evaluación de la contaminación urbana de la Bahía Nueva (Provincia del Chubut). *Informes Técnicos del Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica* (Fundación Patagonia Natural, Puerto Madryn, Argentina), pp 31-32.
- Guerrero M.A, Izquierdo M, Canelo S (1976). Observaciones mensuales sobre algunos aspectos biológicos de la ría de Bahía Blanca entre Pto. Ing. White y Pto. Cuatros. *Contribución Científica. IADO* 36:1-7.
- Harris, R. P.; Wiebe, P. H.; Lenz, J.; Skjoldal, H. R. y Huntley, M. (eds.). 2000. *ICES Zooplankton Methodology Manual*. Academic Press., London San Diego, 673 pp.
- Hoffmeyer, M. S. 1983. Zooplancton del área interna de la Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina). 1. Composición faunística. *Historia Natural*, 3: 73–94
- Hoffmeyer M.S (1986). Estudios relativos a la alimentación del copépodo planctónico *Acartia tonsa* Dana en el estuario de Bahía Blanca. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- Hoffmeyer M.S (1990). The occurrence of *Neomysis americana* in two new localities of the South American coast (Mysidacea). *Crustaceana* 58: 186-192
- Hoffmeyer M.S (1994). Seasonal succession of Copepoda in the Bahía Blanca estuary. In: Ferrari, F.D., Bradley, B.P (eds). *Ecology and Morphology of Copepods, Developments on Hydrobiology*. *Hydrobiologia*, pp. 303-308
- Hoffmeyer M.S (2004a). Meso-zooplankton. In: Piccolo, M.C. y Hoffmeyer, M.S. (eds.). *Ecosistema del estuario de Bahía Blanca*, pp 133-141
- Hoffmeyer M.S (2004b). Decadal change in zooplankton seasonal succession in the Bahía Blanca estuary, Argentina, following introduction of two zooplankton species. *Journal of Plankton Research* 26:181-189
- Hoffmeyer M.S, Prado Figueroa M (1997). Oral field integumental structures of the copepods *Eurytemora affinis* and *Acartia tonsa* related with their trophic habits. *Crustaceana* 70: 257-271
- Hoffmeyer M.S, Torres E (2001). Morphometric variables and individual volume of *Eurytemora Americana* and *Acartia tonsa* females from the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Hidrobiología* 459: 73-82

- Hoffmeyer, M. S. y Tumini, L. 1999. Seasonal variation of temperature, salinity, chlorophyll a and Eurytemora americana population (Copepoda) at Cuatros port, Bahía Blanca estuary. En Abstracts 4th. Open Science Meeting LOICZ y XI Coloquio Argentino de Oceanografía (LOICZ – IAPSO), Bahía Blanca, Argentina.
- Hoffmeyer M.S (2008a). Convenio específico MBB - UNS. Programa de monitoreo de la calidad ambiental de la zona interior del estuario de Bahía Blanca. Anexo III: Estudio del fitoplancton, micro, meso y macrozooplancton. Informe final, 2007
- Hoffmeyer, M. S.; Berasategui, A. A.; Beigt, D. y Piccolo, M. C. 2008b. Environmental regulation of the estuarine copepods *Acartia tonsa* and *Eurytemora americana* during coexistence period. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, Publicado on-line por Cambridge University Press.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69(3), 373-386.
- Melo, C. M. R.; Silva, F. C.; Gomes, C. H. A. M.; Sole-Cava, A. M.; Lazoski, C. (2009). *Crassostrea gigas* in natural oyster banks in southern Brazil. *Biological Invasions* 12(3): 441-449.
- Miller, C D. y Judkins, D. C. 1981. Design of pumping system for sampling zooplankton, with descriptions of two high-capacity samples for coastal studies. *Biological Oceanography*, 1: 29-56.
- Nehring, S. (2006) NOBANIS – Invasive Alien Species Fact Sheet – *Crassostrea gigas*. – From: Online Database of the North European and Baltic Network on Invasive Alien Species - NOBANIS www.nobanis.org
- Orensanz J.M, Schwindt E, Pastorino G, Bortolus A, Casas G, Darrigran G, Elías R, López Gappa J. J, Obenat S, Pascual M, Penchaszadeh P, Píriz M. L, Scarabino F, Spivak E. D, Vallarino E.A (2002). No longer the pristine confines of the world ocean: A survey of exotic marine species in the southwestern Atlantic. *Biological Invasions* 4: 115-143
- Pinto Silva, A. 2007. Dinámica do microzooplancton no Canal de Santa Cruz, Pernambuco, Brazil. Tesis doctoral. Universidade Federal de Pernambuco. 94 pp.
- Rawlinson, K.; Davenport, J. y Barnes, D. K. A. 2005. Tidal exchange of zooplankton between Lough Hyne and the adjacent coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62: 205–215.
- Sabatini M. E (1988). Fito y zooplancton de un sector de la Bahía Blanca: especies dominantes, standing stock y estimación de la producción, con particular referencia a *Acartia tonsa* Dana, 1849 (Copepoda: Calanoida). Tesis Doctoral. Departamento de Biología. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.
- Sabatini M.E (1989). Ciclo anual del copepodo *Acartia tonsa* Dana, 1849 en la zona interna de la Bahía Blanca (Pcia. de Buenos Aires, Argentina). *Scientia Marina* 53: 847-856
- Sabatini M.E (1990). The developmental stages (copepodids I to VI) of *Acartia tonsa* Dana, 1849 (Copepoda, Calanoida). *Crustaceana* 59: 53-61.
- Schwamborn, R.; de Melo Junior, M.; Neumann Leitão, S.; Ekau, W. y Nogueira Paranaguá, M. 2008. Dynamic patterns of zooplankton transport and migration in Catuama Inlet (Pernambuco, Brazil), with emphasis on the decapod crustacean larvae. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 36(1):109-113.
- Smaal, A. C.; Kater, B. J.; Wijsman, J. (2009). Introduction, establishment and expansion of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Oosterschelde (SW Netherlands). *Helgoland Marine Research* 63:75-83.
- Troost, K., Gelderman, E., Kamermans, P., Smaal, A. C., & Wolff, W. J. (2009). Effects of an increasing filter feeder stock on larval abundance in the Oosterschelde estuary (SW Netherlands). *Journal of Sea Research*, 61(3), 153-164.
- Uye S, Ayaki Y, Onbé T (1992). Seasonal geographical distribution of zooplankton in Hiroshima Bay and its adjacent waters, the inland Sea of Japan. *J. Fac. Appl. Biol. Sci. Hiroshima Univ* 31: 99-119
- Wagner, J. M.; Hoffmeyer, M. S.; Tejera, L. A. y Nizovoy, A. 1991. Variación estacional de larvas y adultos de *Balanus* en el Puerto de Ingeniero White (Estuario de Bahía Blanca, Argentina). En *Actas II Jornadas nacionales de Ciencias del Mar*, Puerto Madryn, Argentina, pp. 79-86.
- Young, C. M. 2002. Atlas of Marine Invertebrate Larvae. Academic Press, London, 626 pp.

4 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DEL MESOZOOPLANCTON Y SU RELACIÓN CON LA MAREA

4.1 INTRODUCCIÓN

Los estuarios se encuentran entre los sistemas ecológicos más productivos de todo el mundo (Wilson, 2002). En las zonas templadas soportan pesquerías, acuicultura, turismo y las actividades recreativas (Leandro *et al.* 2007). El conocimiento de la variabilidad de estos sistemas a diferentes escalas espacio-temporales es fundamental para poder entender la dinámica del mesozooplancton estuarino. Las mareas, los vientos y la circulación influyen y modifican la composición y abundancia del zooplancton en estos ambientes y por lo tanto afectan su distribución espacio- temporal (Hill, 1991, Wiafe y Frid 1996, Dauvin *et al.* 1998, Kimmerer *et al.* 1998, 2002, Peitsch *et al.* 2000, Roman *et al.* 2001, Mouny and Dauvin 2002, Naylor 2006, Thorisson 2006, Devreker *et al.* 2008, 2010, Hsieh *et al.* 2010, Ueda *et al.* 2010, Scmith *et al.* 2011, Menendez *et al.* 2011, 2012, Gonçalves *et al.* 2012, da Costa *et al.* 2013). La variación estacional en las condiciones ambientales es otro factor que afecta fuertemente las características y la distribución de las comunidades zooplanctónicas en estuarios sometidos, por su ubicación latitudinal, a una significativa variabilidad climática a lo largo del año (Dauvin *et al.* 1998, Marques *et al.* 2009, Dutto *et al.* 2012). La distribución vertical del plancton se ve especialmente afectada por la velocidad y dirección de las corrientes (Hill, 1991). Mecanismos de comportamiento de los organismos relacionados con las corrientes de marea han sido mencionados también como posibles responsables de la retención o la exportación de los organismos en estuarios. Éste es el caso de la llamada migración vertical influenciada por la marea ó “Tidal vertical migration” (TVM), “Selective tidal stream transport” (Cronin and Forward 1979, Kimmerer *et al.* 1998, Kimmerer and McKinnon 1987, Hough and Naylor 1991, Morgan *et al.* 1997, Shang *et al.* 2007, Ueda *et al.* 2010). La influencia de las mareas sobre las características y dinámica del zooplancton es un fenómeno bien conocido en diferentes tipos de ambientes costeros (Hough and Naylor 1991, Morgan *et al.* 1997, Villate 1997, Dauvin *et al.* 1998, Krume and Liang 2004, Morgado *et al.* 2006, Schwamborn *et al.* 2008, Hsieh *et al.* 2010).

En particular, para el estuario de Bahía Blanca, varios trabajos se han realizado en la zona interna y media del estuario (Garibotti 2012, Menéndez *et al.* 2011, 2012). Estos autores concluyeron que la distribución del mesozooplancton está fuertemente influenciada por la marea. Por ejemplo, la abundancia de *Acartia tonsa*, el copépodo dominante en este estuario en particular durante el verano, se ve fuertemente afectada por la onda de marea (Menéndez *et al.* 2011,

Garibotti 2012). Estos hallazgos fueron corroborados por Menéndez *et al.* (2012), quienes encontraron mayores abundancias de esta especie en los márgenes y en el estrato inferior del canal principal durante marea bajante. Este hecho proporcionó evidencias sobre la existencia de algún mecanismo que permite a los organismos evitar corrientes fuertes durante este estado de marea. Especies de copépodos como *Acartia tonsa*, *Paracalanus parvus*, *Labidocera fluviatilis* y *Euterpina acutifrons* permanecen en la parte profunda de la columna de agua, la mayor parte del tiempo (Garibotti 2012), lo que les permite evitar ser arrastrados por las corrientes de bajante hacia la boca del estuario. En este capítulo se propone analizar y evaluar la distribución vertical del mesozooplancton y su relación con la marea, en una sección transversal al canal principal del estuario interno y medio.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Análisis estadístico

Los datos de abundancia del mesozooplancton fueron transformados por medio de la transformación $\ln(x+1)$. Luego se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías (Quinn y Keough 2002) en el cual los dos factores fueron: estado de la marea (bajamar, creciente, pleamar y bajante), y estratos en la columna de agua (superficie y fondo). Cuando hubo interacción entre los factores se utilizó un ANOVA de una vía para cada factor. Para comparar entre la abundancia en marea creciente y bajante, así como entre pleamar y bajamar se realizó la prueba de comparaciones múltiples HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey (Tukey 1949). Todas las pruebas fueron realizadas con el software R.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Estuario interno

En la tabla 4.1, se presentan los resultados del ANOVA de dos vías y la prueba de comparaciones múltiples. Algunos taxones mostraron una distribución vertical diferente a lo largo del ciclo de marea. Las naupli de *A. tonsa*, *Longipedia* sp. y *A. amphitrite* así como las larvas veliger de *C. gigas* fueron más abundantes en superficie que en fondo. Esta distribución también fue observada para los adultos y copepoditos de *E. acutifrons* y *P. parvus*. Sólo los adultos y copepoditos de *A. tonsa* y las zoeas de Grapsidae fueron más abundantes en el estrato cercano al fondo (tabla 4.1).

A lo largo del ciclo de marea, se comparó la abundancia entre creciente y bajante y entre pleamar y bajamar. En general no se hallaron diferencias entre creciente y bajante. Solo la abundancia de adultos y copepoditos de *A. tonsa* y de *P. parvus* fueron diferentes entre bajante y creciente, siendo *A. tonsa* más abundante en bajante mientras que *P. parvus* lo fue en creciente. Como se puede observar en la tabla 4.1, fueron halladas más diferencias entre pleamar y bajamar que entre creciente y bajante. Las nauplii de *B. glandula*, *A. tonsa* y *L. fluviatilis*, fueron más abundantes en pleamar que en bajamar. Los adultos y copepoditos de *L. fluviatilis*, *E. acutifrons*, y el mesozooplancton total también fueron más abundantes en pleamar que en bajamar. Una distribución invertida, en cambio, fue observada para las nauplii de *A. amphitrite* y de *Longipedia* sp.

En las figuras 4.1 a 4.28 se observa la distribución vertical de la abundancia (ind. m⁻³) a lo largo de todo el ciclo de marea, en cada estación de muestreo (veril sur, centro del canal, veril norte). La distribución vertical de los taxa en cada estado de marea permite visualizar patrones de distribución que resultan relevantes para interpretar el transporte de los organismos planctónicos y que no se pueden detectar a partir del análisis estadístico.

En los meses de verano, la abundancia del mesozooplancton total en el centro del canal fue mayor en fondo que en superficie durante la bajante y esta distribución fue observada en forma invertida durante la creciente. El mismo patrón vertical fue también observado para los adultos y copepoditos de *E. acutifrons* y *P. parvus*, y nauplii de *Longipedia* sp. Sin embargo, la situación anterior no fue observada en los veriles del canal.

Las nauplii de *B. glandula* tuvieron una distribución vertical similar durante la creciente y la bajante en el centro del canal, siendo mayor la abundancia en el fondo en los dos estados de marea (ver figura 4.4). En general en el centro del canal, la abundancia de *B. glandula* fue mayor en fondo que en superficie pero esto se invirtió en los veriles. La abundancia de adultos y

copepoditos de *E. americana* tuvo un comportamiento similar al de las larvas de *B. glandula* con un máximo en el centro del canal en fondo durante la bajante. Los valores más altos de abundancia de *C. gigas* fueron hallados en superficie durante la creciente y la bajamar.

ANOVA sitio 1	Ene 12		12-Feb		Ago 12		13-Feb	
taxa	marea	estrato	marea	estrato	marea	estrato	marea	estrato
meso total	**	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
Acartia tonsa	**	ns	**	ns	ns	F	ns	ns
Acartia tonsa (L)	**	S	**	S	ns	ns	ns	S
Amphibalanus amphitrite (L)	**	S	ns	S			**	S
Balanus glandula (L)					**	ns		
Crassostrea gigas (L)	ns	ns	ns	S			ns	ns
Calanoides carinatus					ns	ns		
Calanoides carinatus (L)					ns	ns		
Eurytemora americana					**	ns		
Eurytemora americana (L)					ns	ns		
Euterpina acutifrons	**	ns	**	S	ns	ns	ns	ns
Grapsidae (L)	ns	ns	ns	F			ns	F
Harpacticoida	**	ns	**	ns	**	ns	**	ns
Labidocera fluviatilis	ns	ns	ns	ns			**	ns
Labidocera fluviatilis (L)	**	ns	ns	ns			ns	ns
Longipedia sp. (L)	**	S	ns	ns			**	S
Paracalanus parvus	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	F

Tukey sitio 1	Ene 12		12-Feb		Ago 12		13-Feb	
taxa	cr-bj	pm-bm	cr-bj	pm-bm	cr-bj	pm-bm	cr-bj	pm-bm
meso total	ns	pm			ns	ns		
Acartia tonsa	ns	ns	bj					
Acartia tonsa (L)	ns	pm	ns					
Amphibalanus amphitrite (L)	ns	ns					ns	bm
Balanus glandula (L)					ns	pm		
Crassostrea gigas (L)								
Calanoides carinatus								
Calanoides carinatus (L)								
Eurytemora americana					ns	ns		
Eurytemora americana (L)								
Euterpina acutifrons	ns	pm	ns					
Grapsidae (L)								
Harpacticoida	ns	ns	ns		ns	pm	ns	bm
Labidocera fluviatilis							ns	pm
Labidocera fluviatilis (L)	ns	pm						
Longipedia sp. (L)	ns	ns					ns	bm
Paracalanus parvus							cr	ns

Tabla 4.1. ANOVA de dos vías (marea/estratos) la letra S significa que la abundancia fue mayor en superficie y la F en fondo. **: significativo. ns: no significativo. Prueba de Tukey cr-bj: creciente vs bajante, pm-bm: pleamar vs bajar.

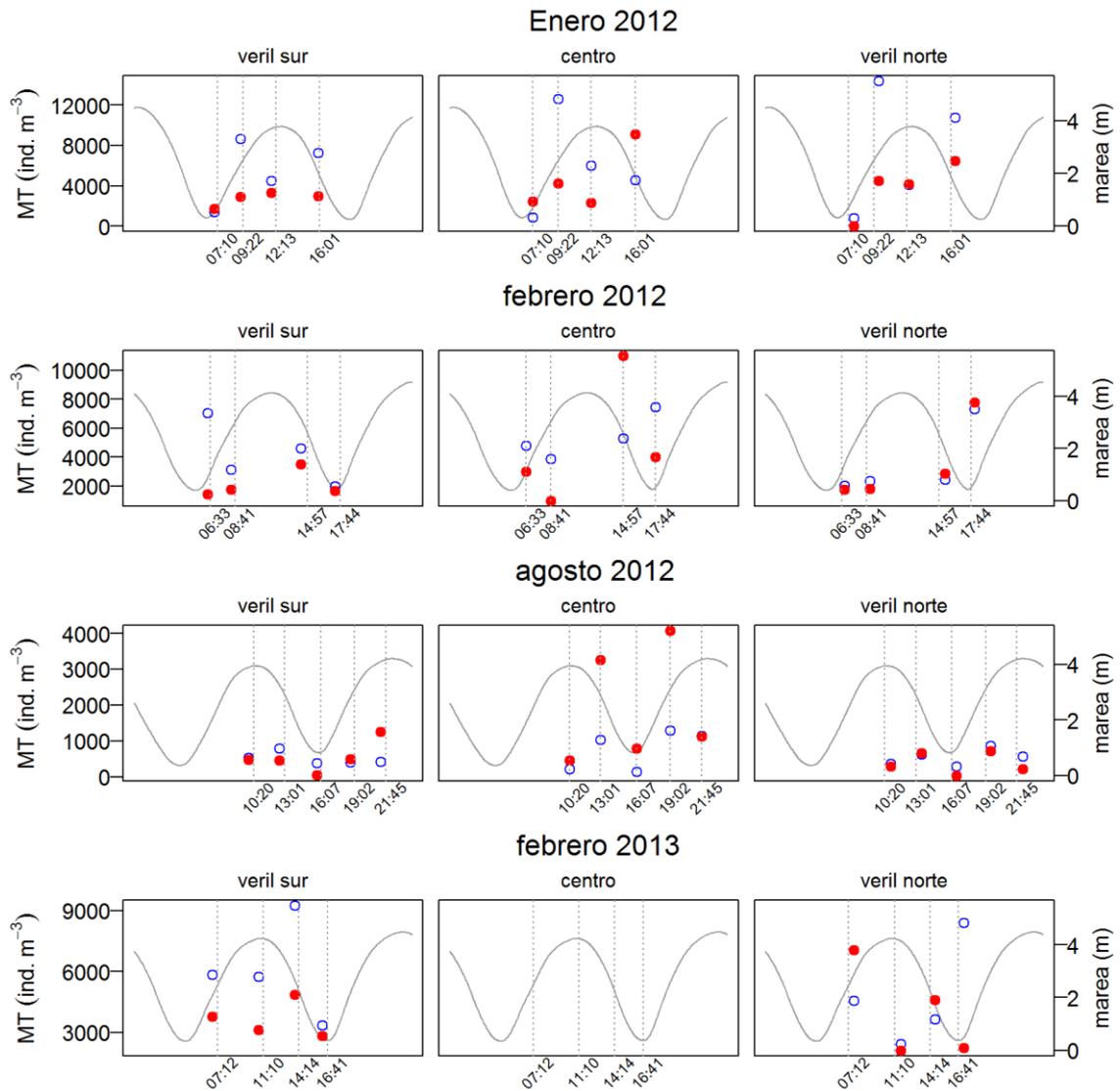


Fig. 4.1 Distribución vertical de la abundancia del mesozooplancton total a lo largo de todo el ciclo de marea, en cada estación de muestreo (veril sur, centro del canal, veril norte) en el estuario interno. en azul los datos de superficie y en rojo los de fondo. Las etiquetas del eje horizontal con sus líneas punteadas verticales corresponden a los momentos de muestreo del centro del canal. En gris la curva de marea.

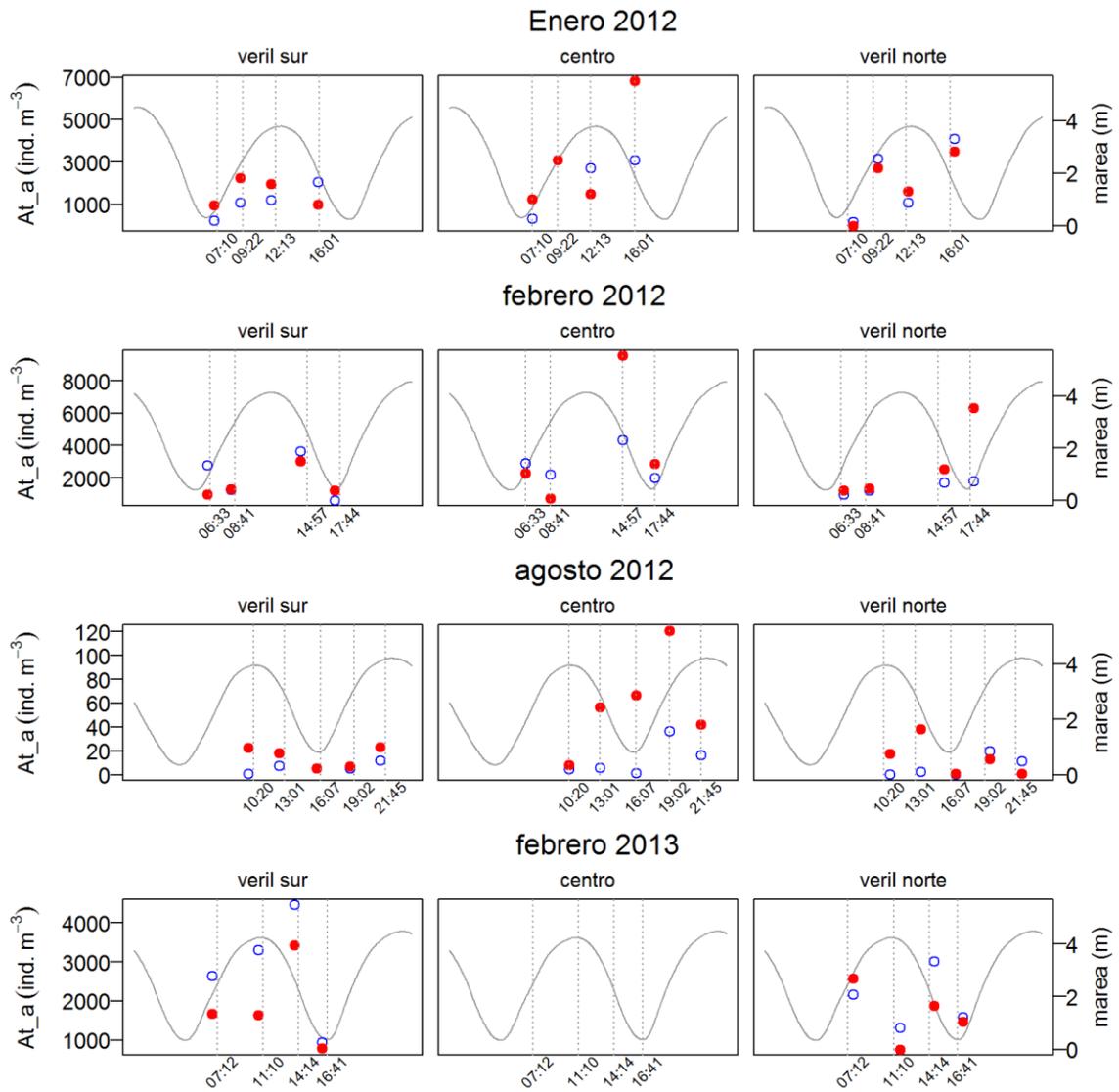


Fig 4.2. Distribución vertical de la abundancia de *A. tonsa* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

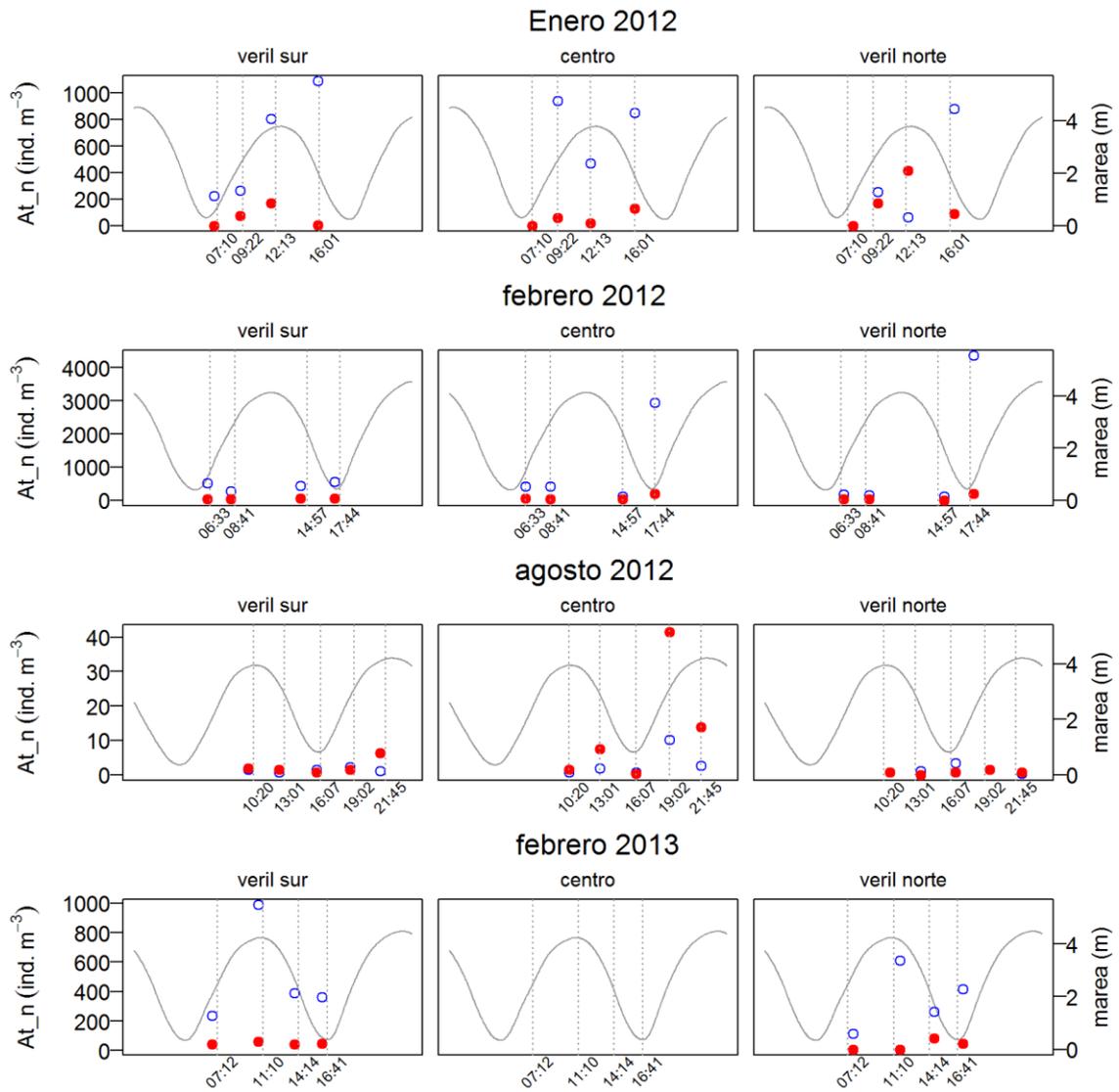


Fig 4.3. Distribución vertical de la abundancia de *A. tonsa* (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

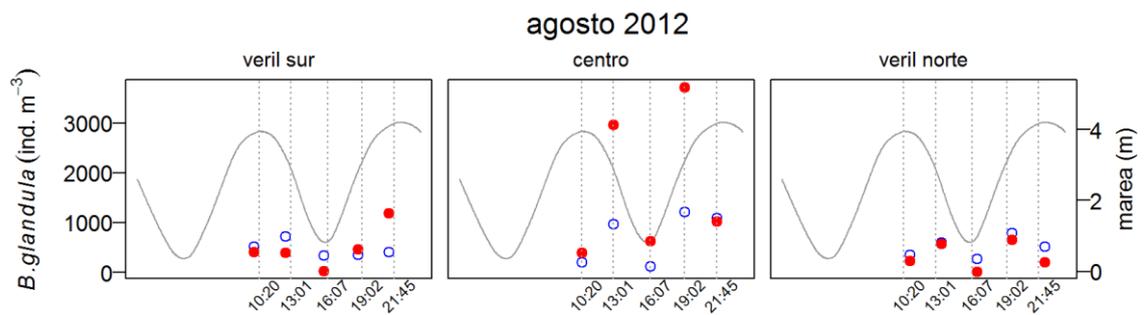


Fig. 4.4. Distribución vertical de la abundancia a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

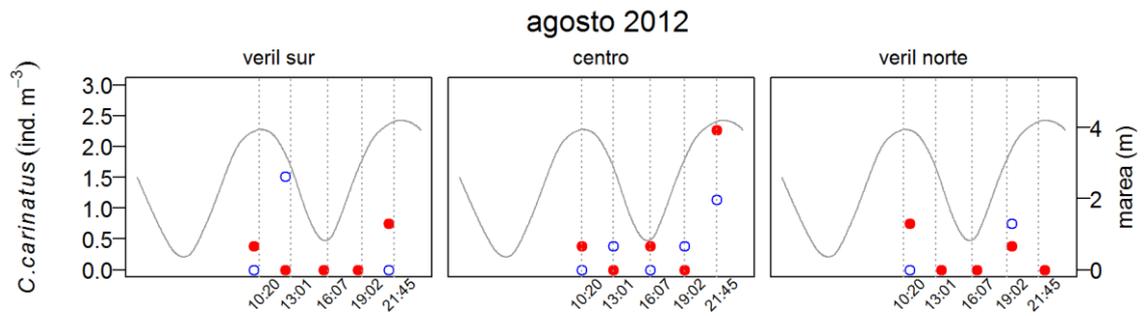


Fig. 4.5. Distribución vertical de la abundancia de adultos y copepoditos de *C. carinatus* a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

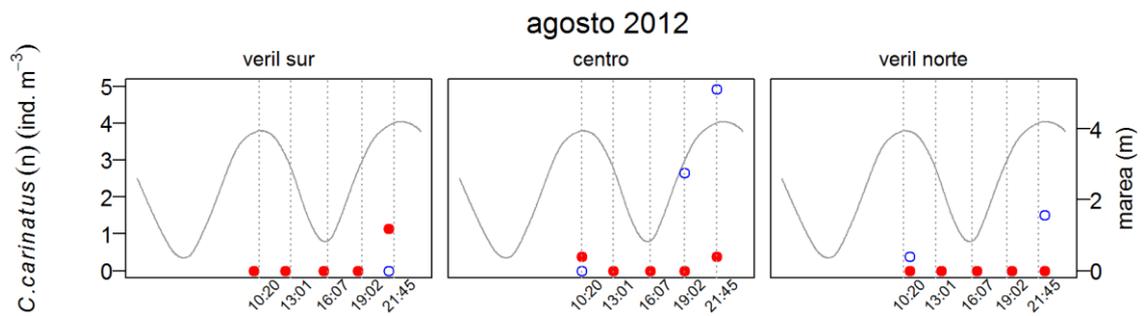


Fig. 4.6. Distribución vertical de la abundancia de nauplius de *C. carinatus* a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

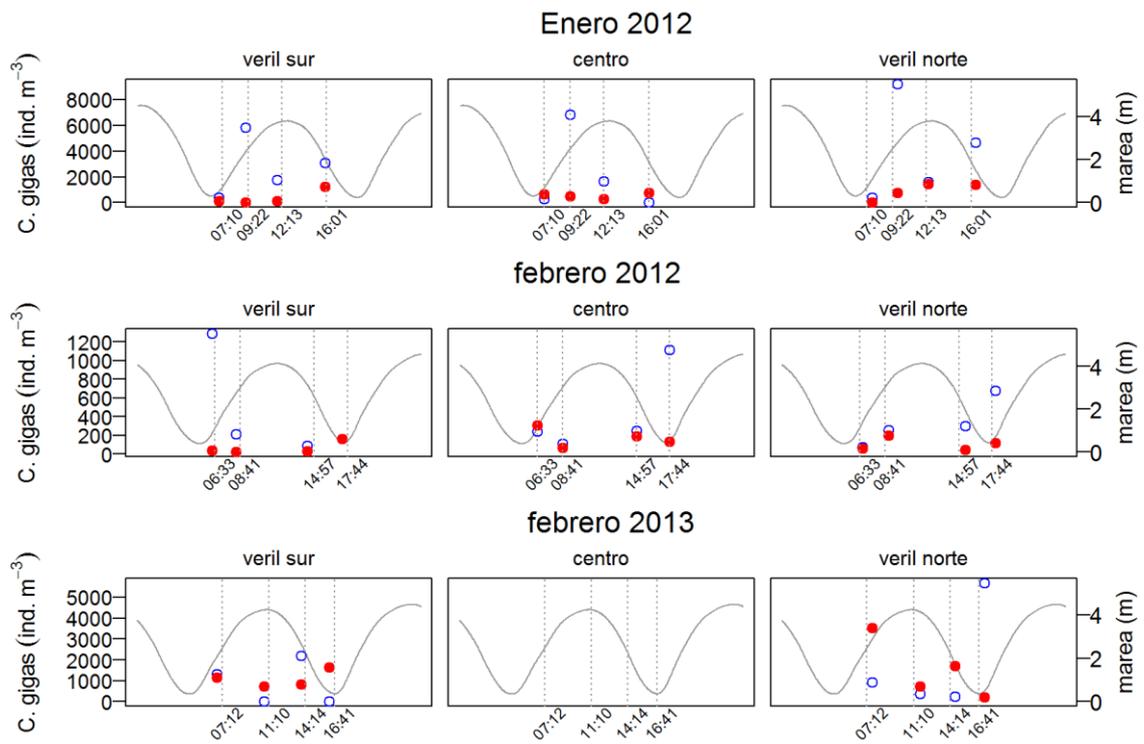


Fig. 4.7. Distribución vertical de la abundancia a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

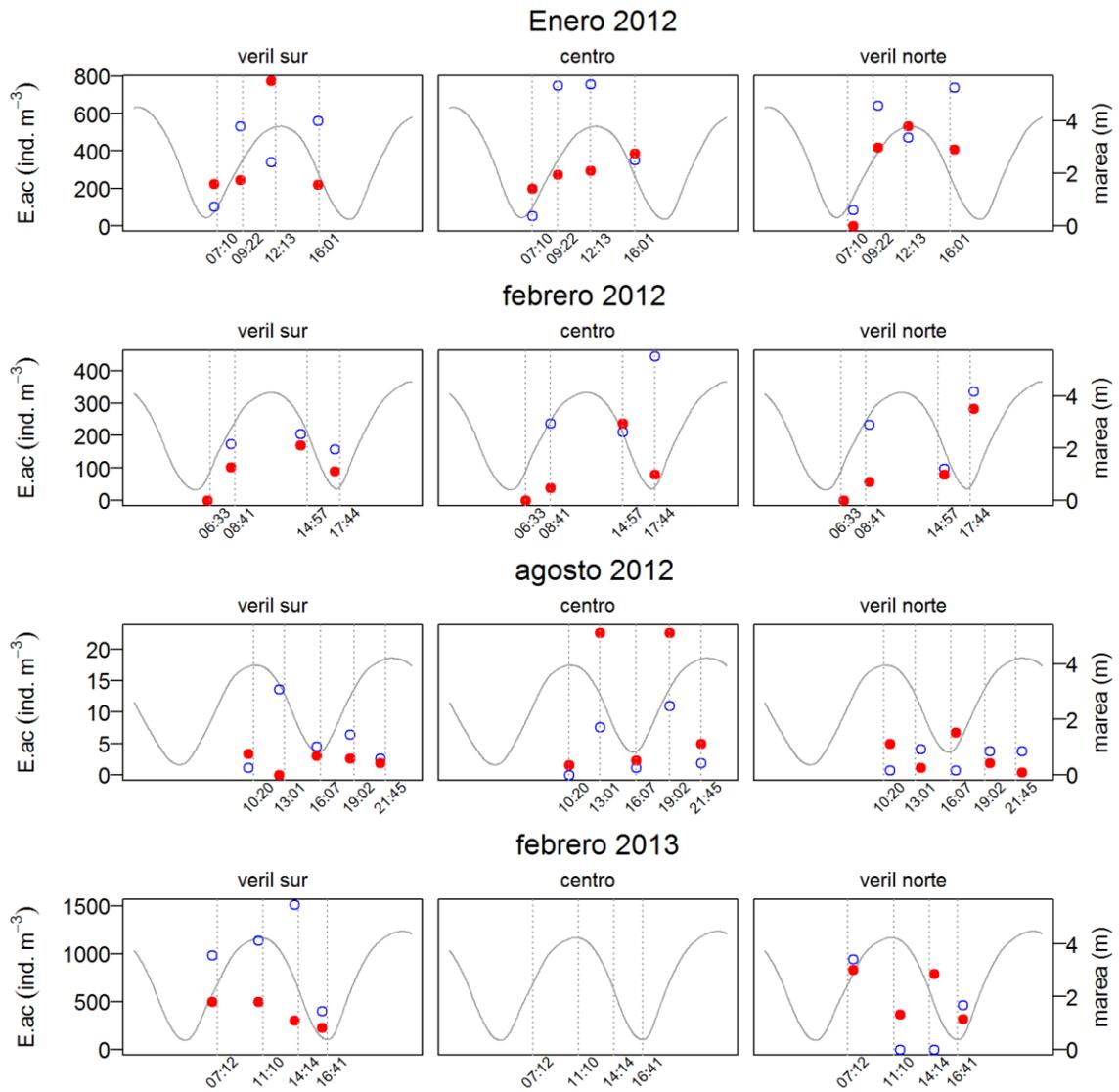


Fig. 4.8. Distribución vertical de la abundancia de *E. acutifrons* a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

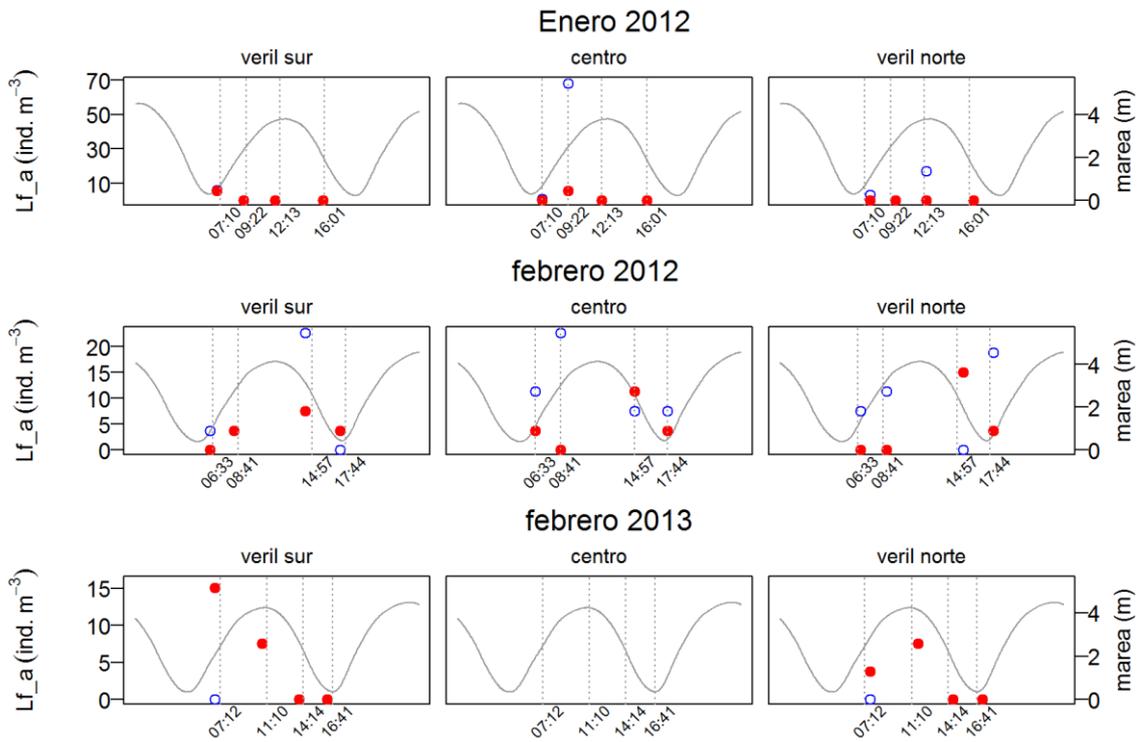


Fig. 4.9. Distribución vertical de la abundancia de *L. fluviatilis* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

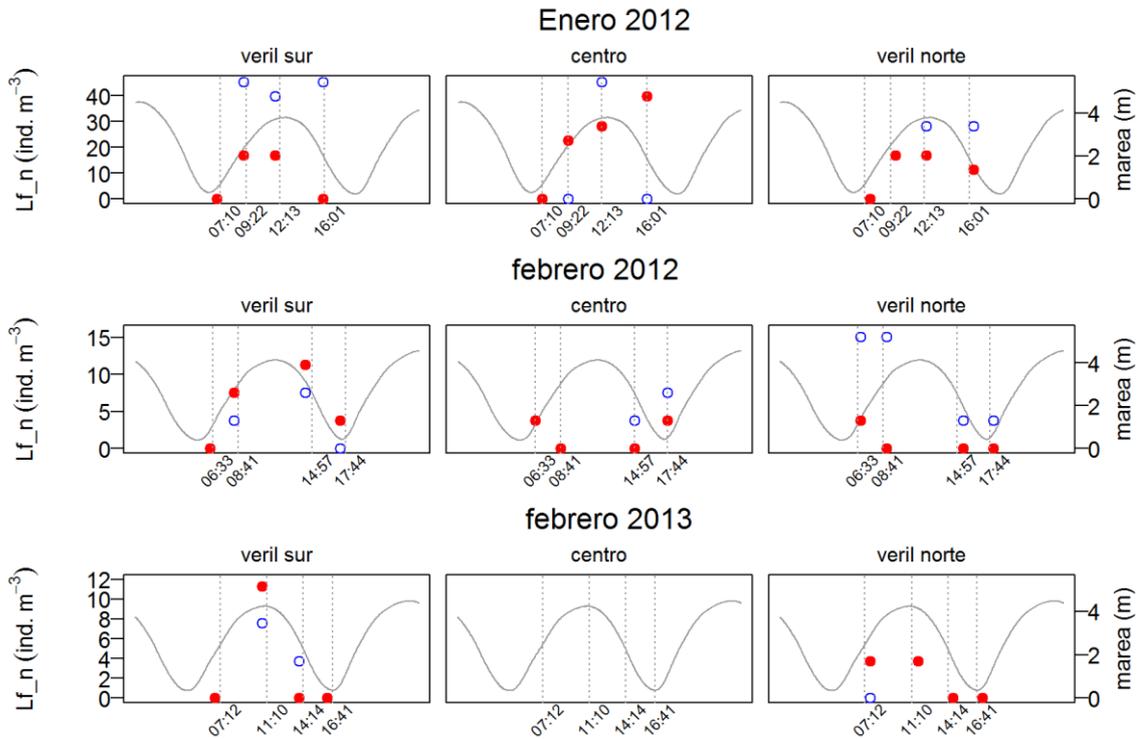


Fig 4.10. Distribución vertical de la abundancia de *L. fluviatilis* (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

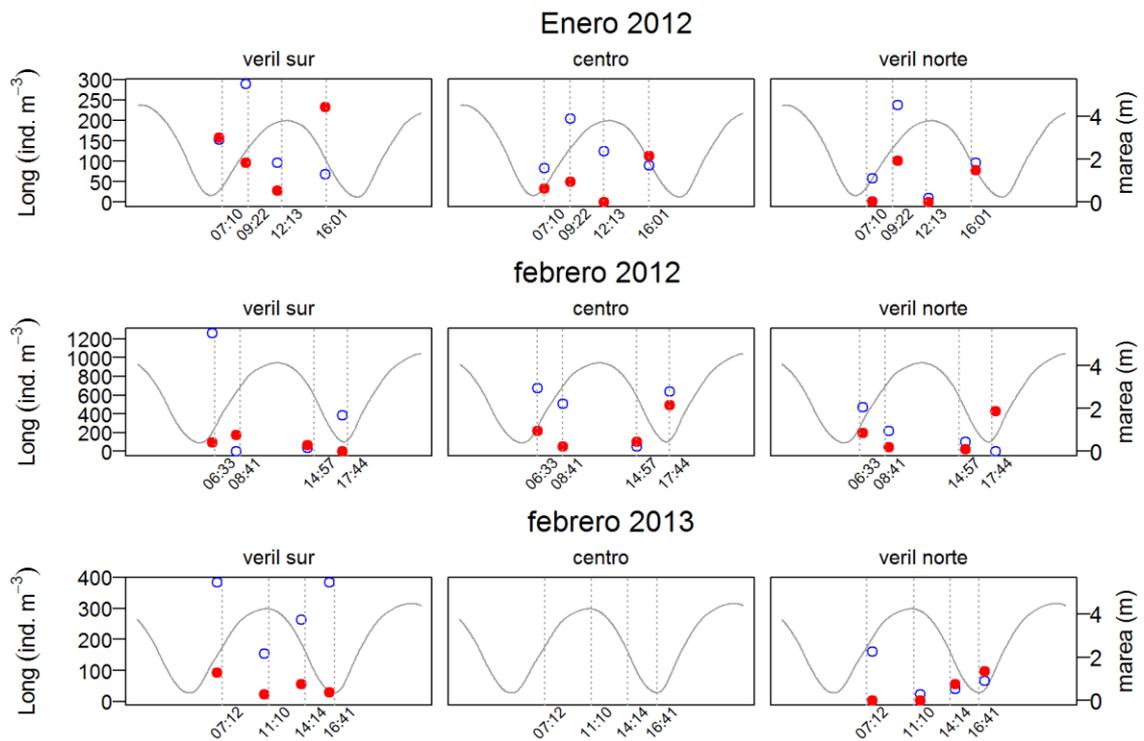


Fig. 4.11. Distribución vertical de la abundancia de *Longipedia* sp. (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

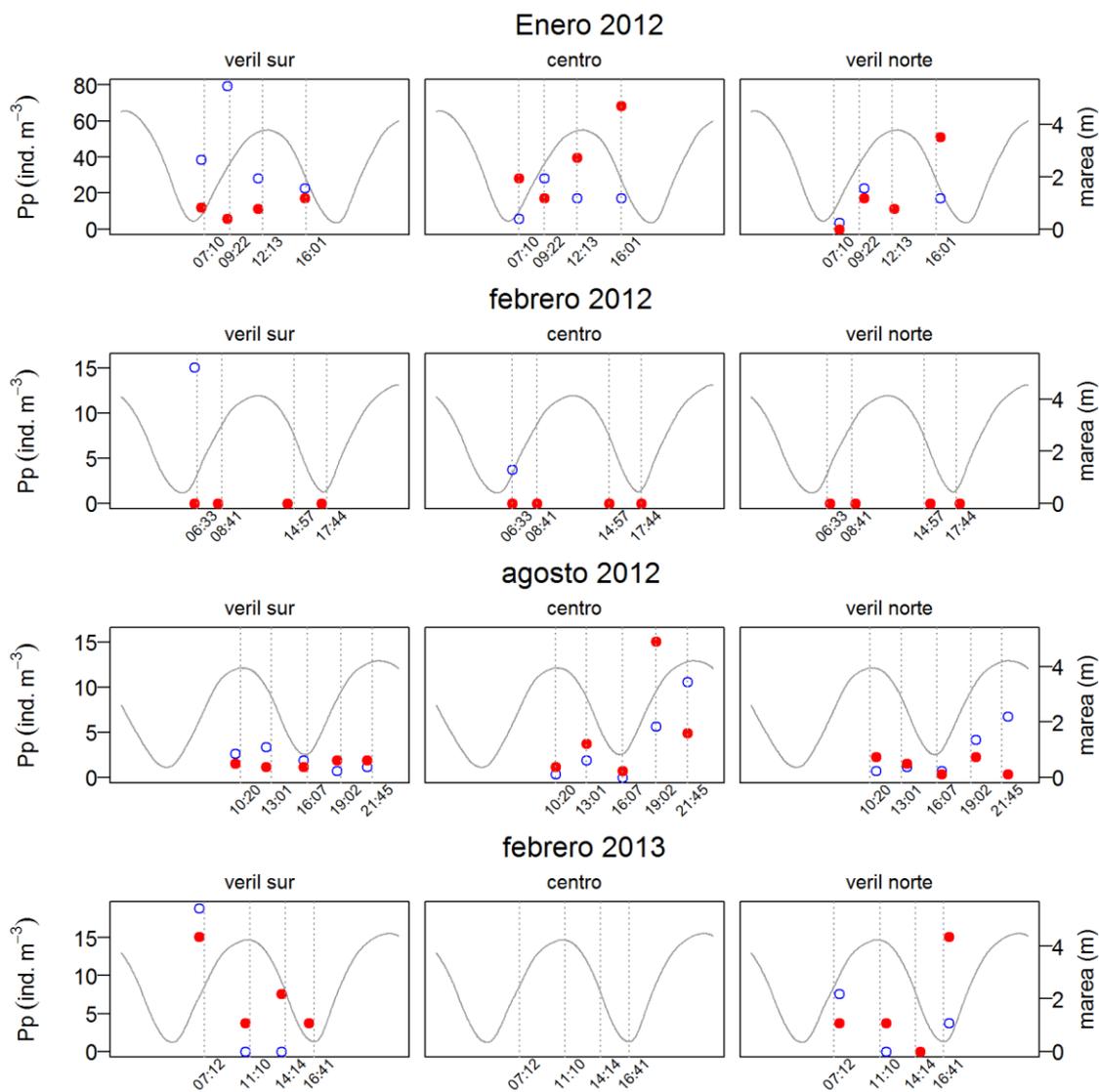


Fig. 4.12. Distribución vertical de la abundancia de *P. parvus* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

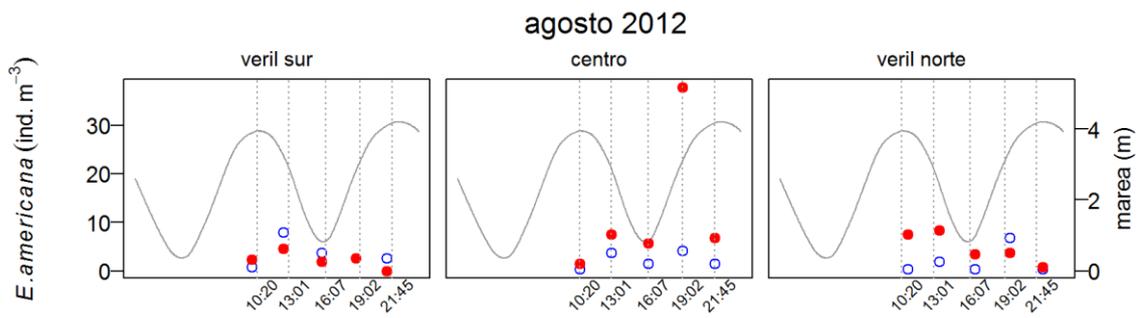


Fig. 4.13. Distribución vertical de la abundancia de *E. americana* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

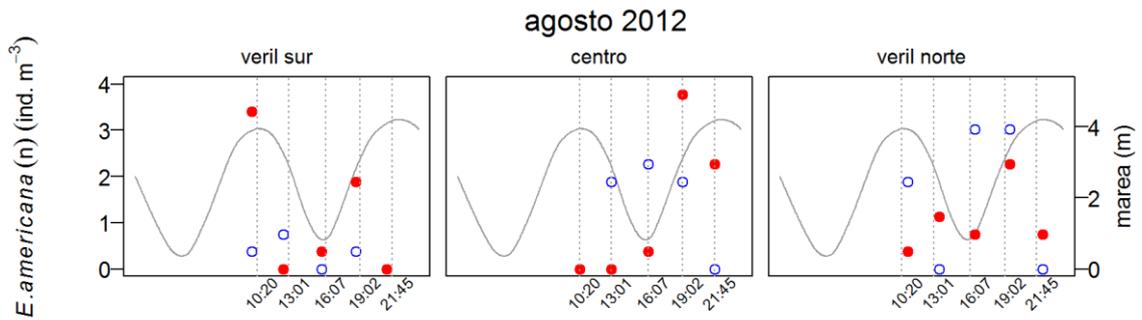


Fig. 4.14. Distribución vertical de la abundancia de *E. americana* (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario interno. Explicación ídem figura 4.1.

4.3.2 Estuario medio

En la tabla 4.2 se presentan los resultados del ANOVA de dos vías y la prueba de comparaciones múltiples para los datos de abundancia del sitio 2. Los resultados del análisis estadístico mostraron que las nauplius de *A. tonsa* y *L. fluviatilis*, los adultos y copepoditos de *E. acutifrons* y el mesozooplancton total fueron más abundantes en superficie que en fondo. Los adultos de *E. americana* y de *L. fluviatilis* fueron más abundantes en fondo que en superficie. Sin embargo los adultos de *A. tonsa* fueron más abundantes en fondo en invierno pero esto estuvo invertido en verano.

A lo largo del ciclo de mareas fue comparada la abundancia entre creciente y bajante, y entre pleamar y bajamar. Solo se hallaron diferencias entre la abundancia de creciente y de bajante en el mesozooplancton total y en las zoeas de Grapsidae. En los dos casos la abundancia fue mayor en bajante. Los adultos y copepoditos de *E. acutifrons* y *P. parvus* fueron más abundantes en pleamar que en bajamar. En cambio los adultos y copepoditos de *A. tonsa* y también las nauplius de esta especie, de *Longipedia* sp y de *B. glandula*, así como los harpacticoideos fueron más abundantes en bajamar que en pleamar.

En este sitio, a diferencia de lo observado en el sitio 1, no fue observada una distribución vertical opuesta entre la abundancia del mesozooplancton total en creciente y en bajante.

ANOVA sitio 2	12-Feb		Ago 12		12-Sep		13-Feb	
taxa	marea	estrato	marea	estrato	marea	estrato	marea	estrato
meso total	ns	S	ns	ns	ns	ns	**	ns
Acartia tonsa	ns	S	ns	ns	ns	F	**	ns
Acartia tonsa (L)	ns	S	ns	ns	ns	ns	**	ns
Amphibalanus amphitrite (L)	ns	ns					ns	ns
Balanus glandula (L)			**	ns	ns	ns		
Crassostrea gigas (L)	**	ns					ns	ns
Calanoides carinatus			ns	ns	ns	ns		
Calanoides carinatus (L)			ns	ns	ns	ns		
Eurytemora americana			ns	F	ns	F		
Eurytemora americana (L)			ns	ns	ns	ns		
Euterpina acutifrons	ns	S	**	ns	ns	ns	ns	S
Grapsidae (L)	**	ns					**	ns
Harpacticoida	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
Labidocera fluviatilis	ns	F					ns	F
Labidocera fluviatilis (L)	ns	S					ns	ns
Longipedia sp. (L)	**	ns					**	ns
Paracalanus parvus			**	ns	ns	ns	ns	ns

Tukey sitio 2	12-Feb		Ago 12		12-Sep		13-Feb		
taxa	cr-bj	pm-bm	cr-bj	pm-bm	cr-bj	pm-bm	cr-bj	pm-bm	
meso total							bj	ns	
Acartia tonsa							ns	bm	
Acartia tonsa (L)							ns	bm	
Amphibalanus amphitrite (L)									
Balanus glandula (L)			ns	bm					
Crassostrea gigas (L)	ns							ns	ns
Calanoides carinatus									
Calanoides carinatus (L)									
Eurytemora americana									
Eurytemora americana (L)									
Euterpina acutifrons			ns	pm					
Grapsidae (L)	bj							bj	ns
Harpacticoida	ns			ns	bm				
Labidocera fluviatilis									
Labidocera fluviatilis (L)									
Longipedia sp. (L)	ns							ns	bm
Paracalanus parvus			ns	pm					

Tabla 4.2. ANOVA de dos vías (marea/estratos) la letra S significa que la abundancia fue mayor en superficie y la F en fondo. **: significativo. ns: no significativo. Prueba de Tukey cr-bj: creciente vs bajante, pm-bm: pleamar vs bajamar.

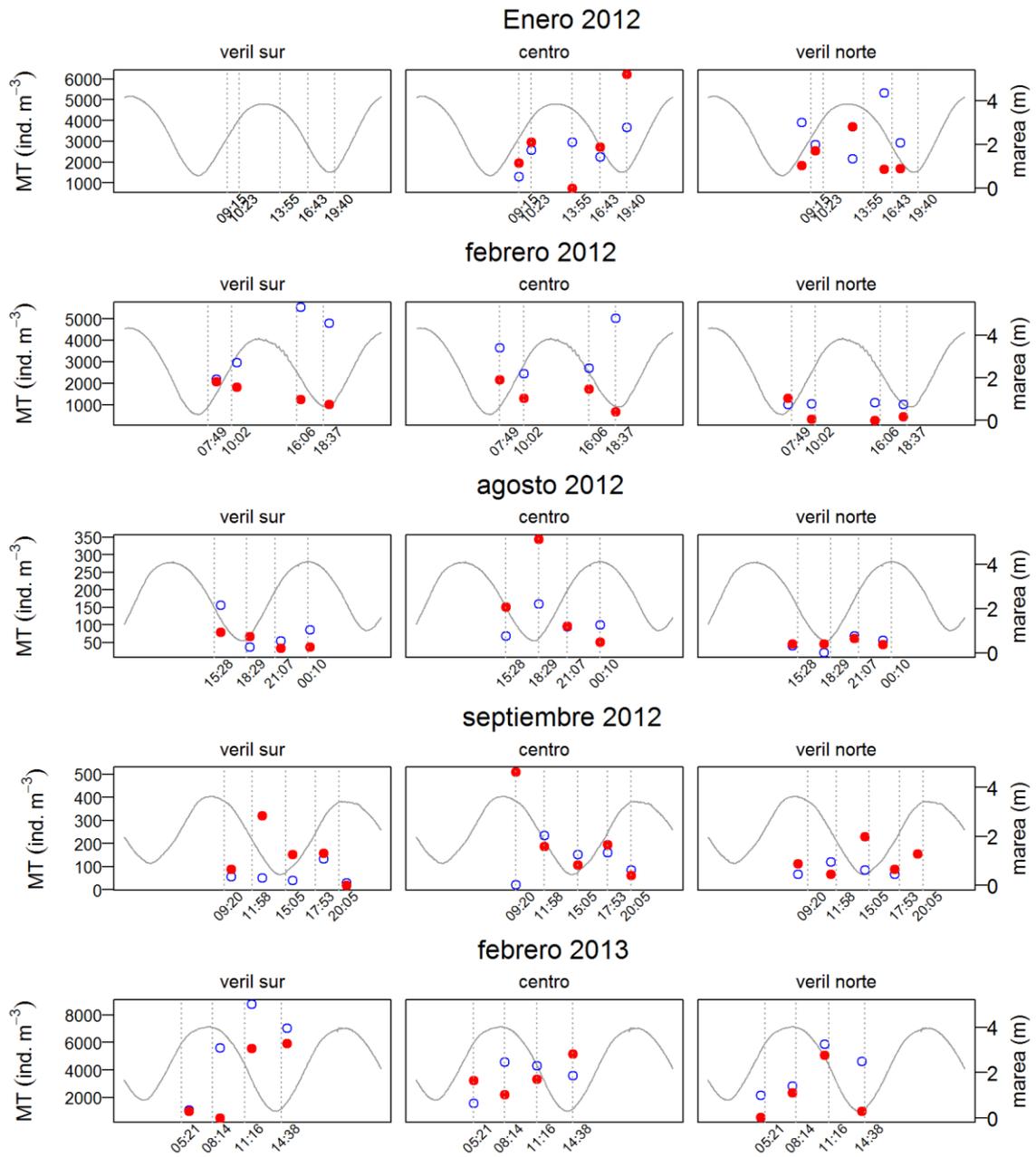


Fig. 4.15. Distribución vertical de la abundancia del mesozooplancton total a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

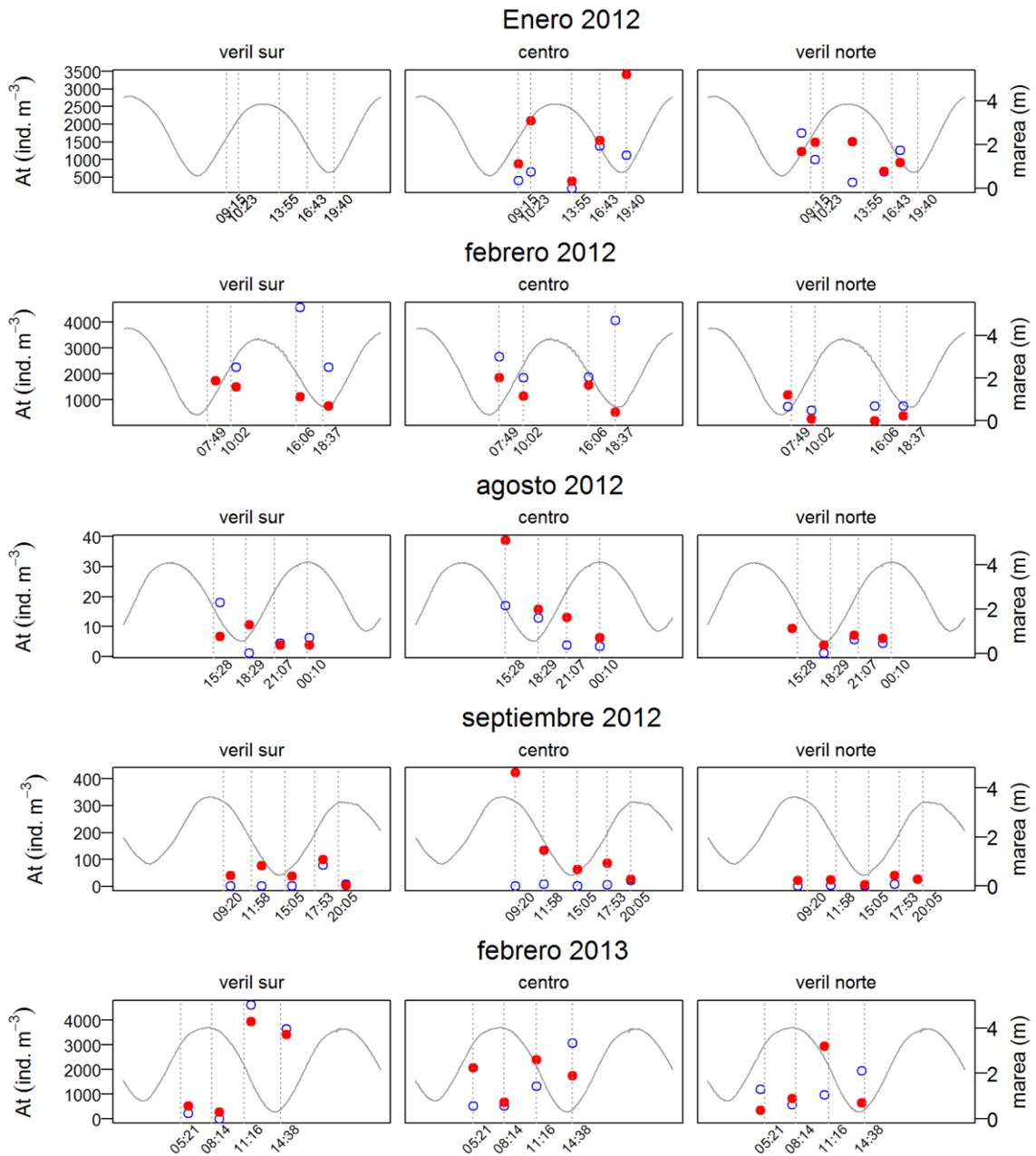


Fig. 4.16. Distribución vertical de la abundancia de *A. tonsa* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

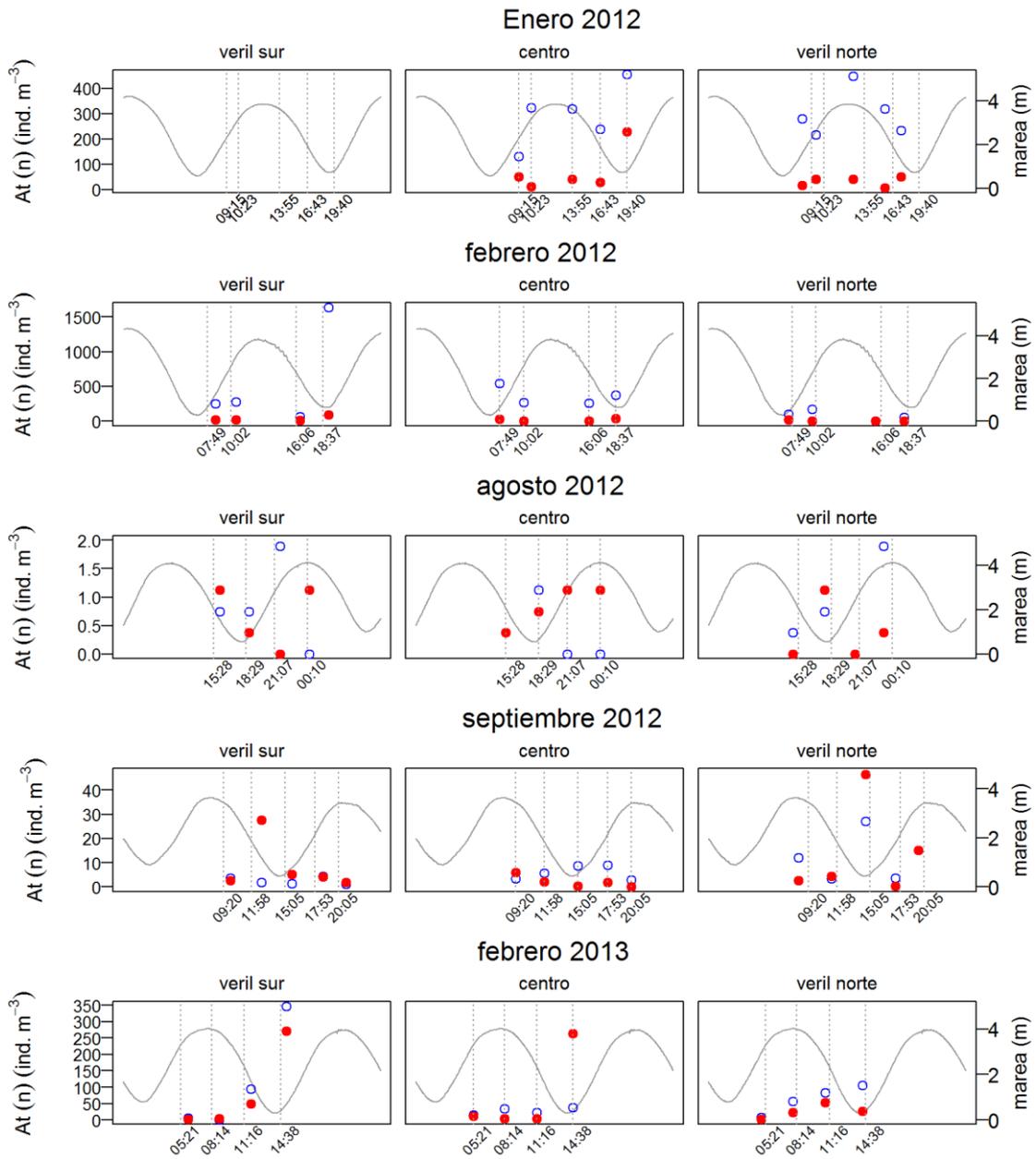


Fig. 4.17. Distribución vertical de la abundancia de *A. tonsa* (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

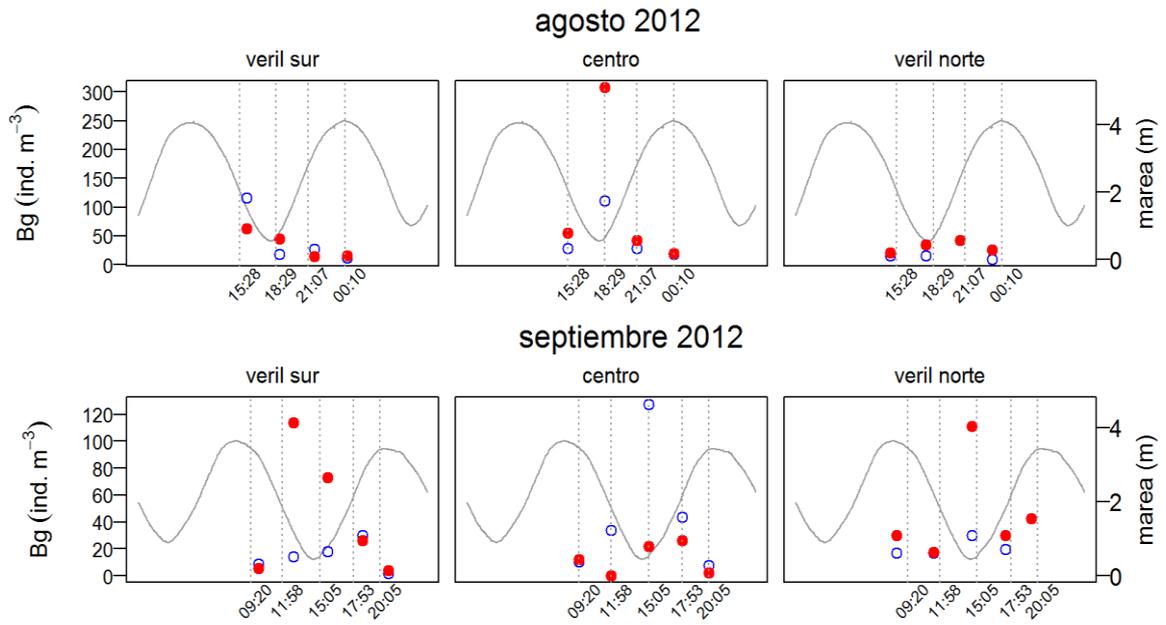


Fig. 4.18. Distribución vertical de la abundancia de *B. glandula* (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

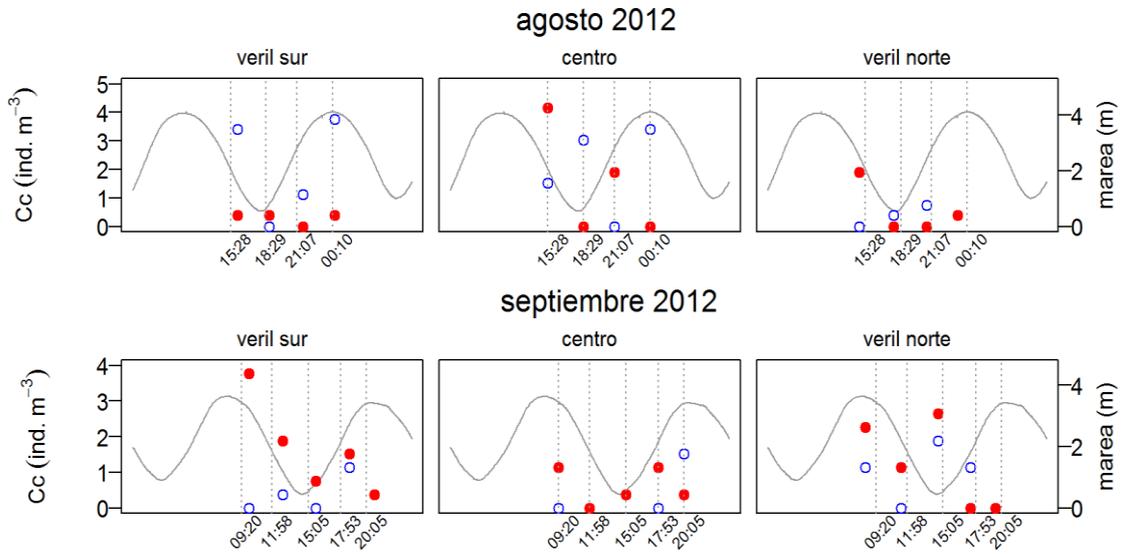


Fig. 4.19. Distribución vertical de la abundancia de *C. carinatus* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

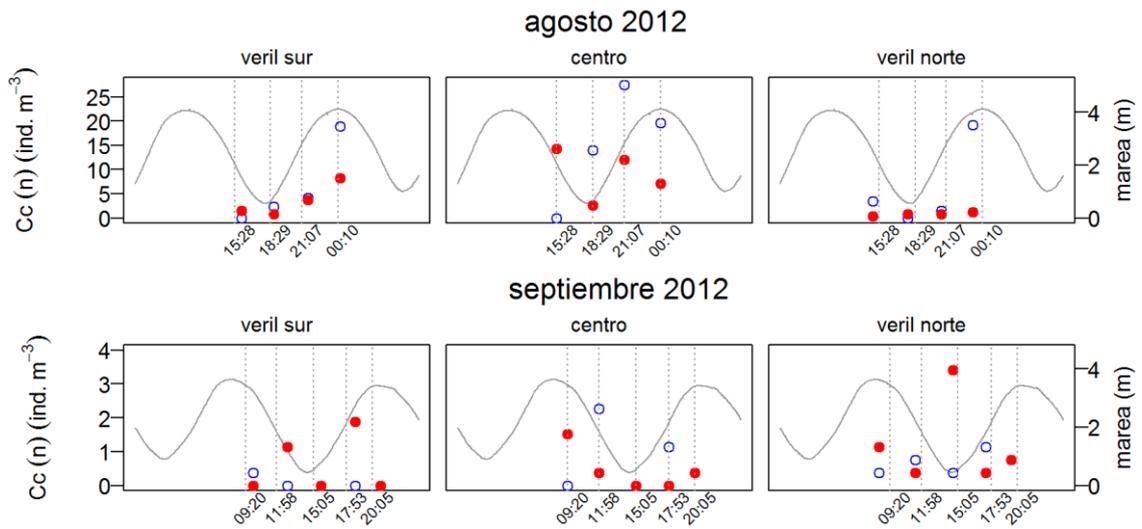


Fig. 4.20. Distribución vertical de la abundancia de *C. carinatus* (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

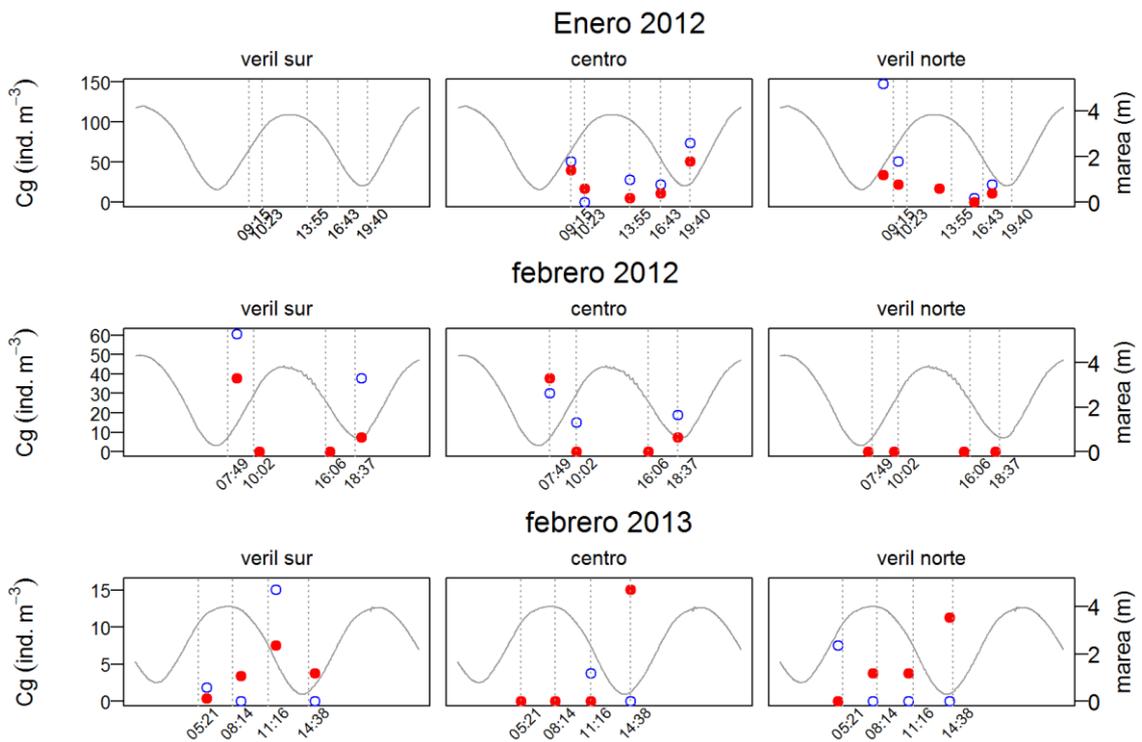


Fig. 4.21. Distribución vertical de la abundancia de *C. gigas* a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

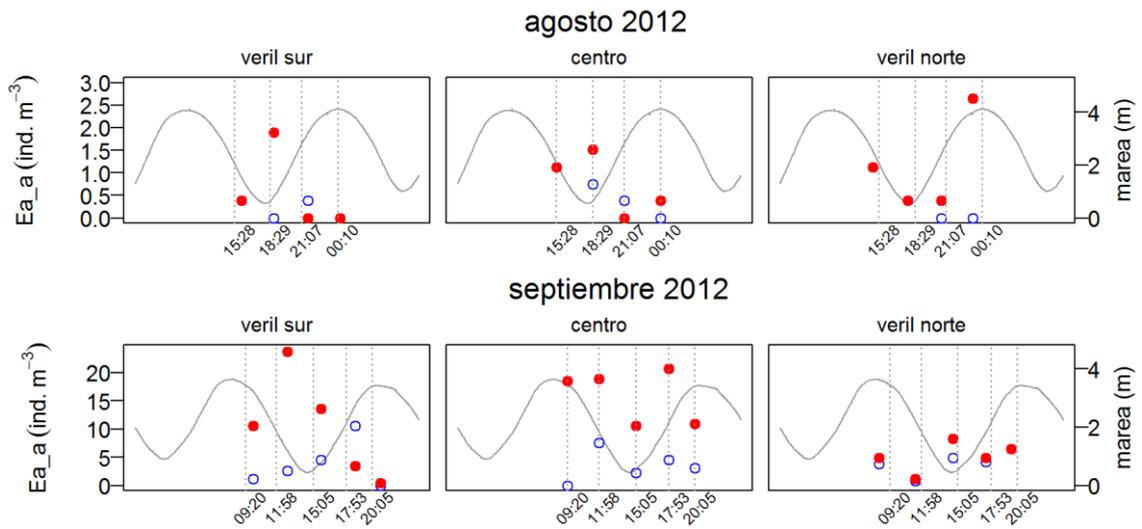


Fig. 4.22. Distribución vertical de la abundancia de *E. americana* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

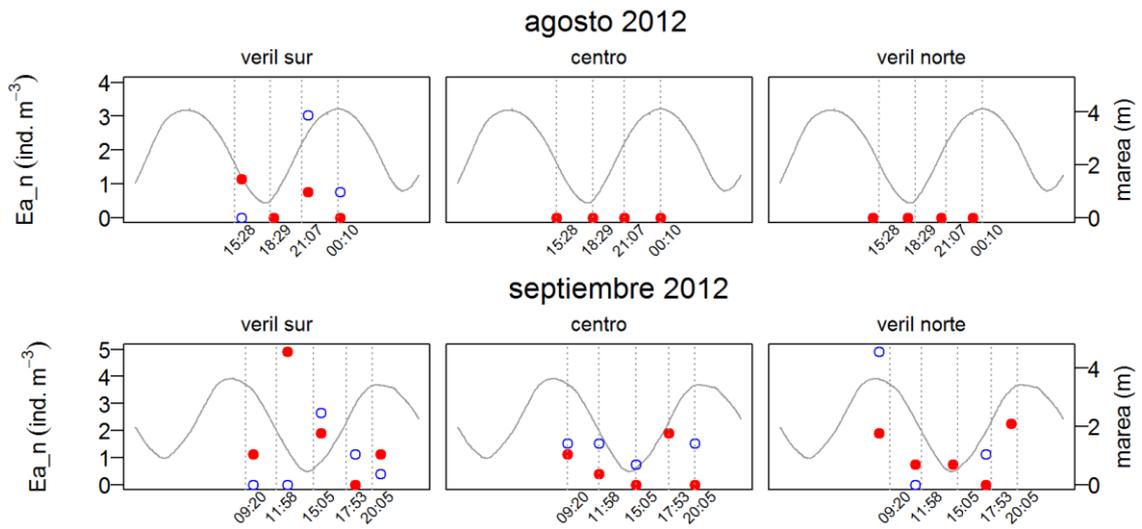


Fig. 4.23. Distribución vertical de la abundancia de *E. americana* (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

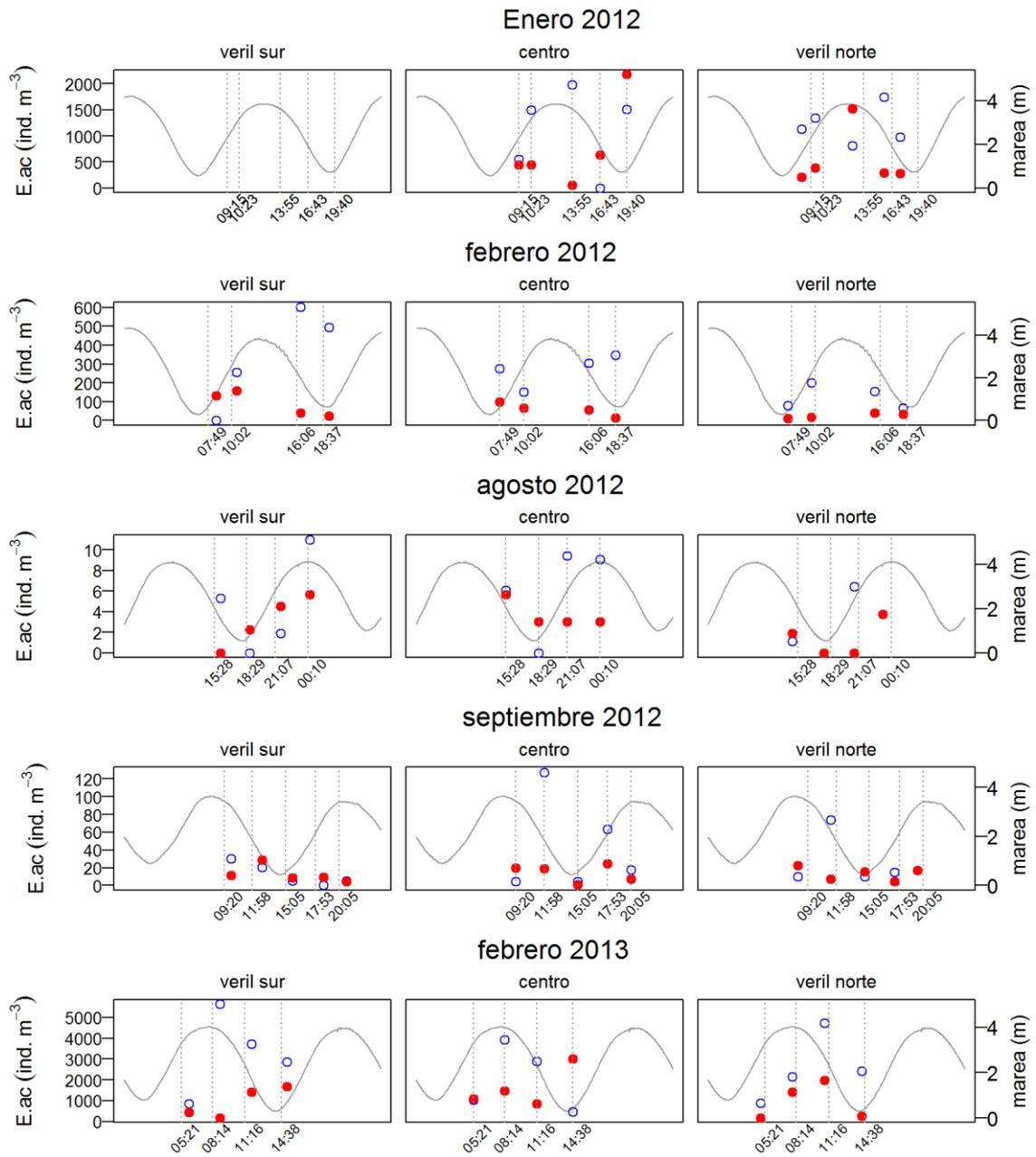


Fig. 4.24. Distribución vertical de la abundancia de *E. acutifrons* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

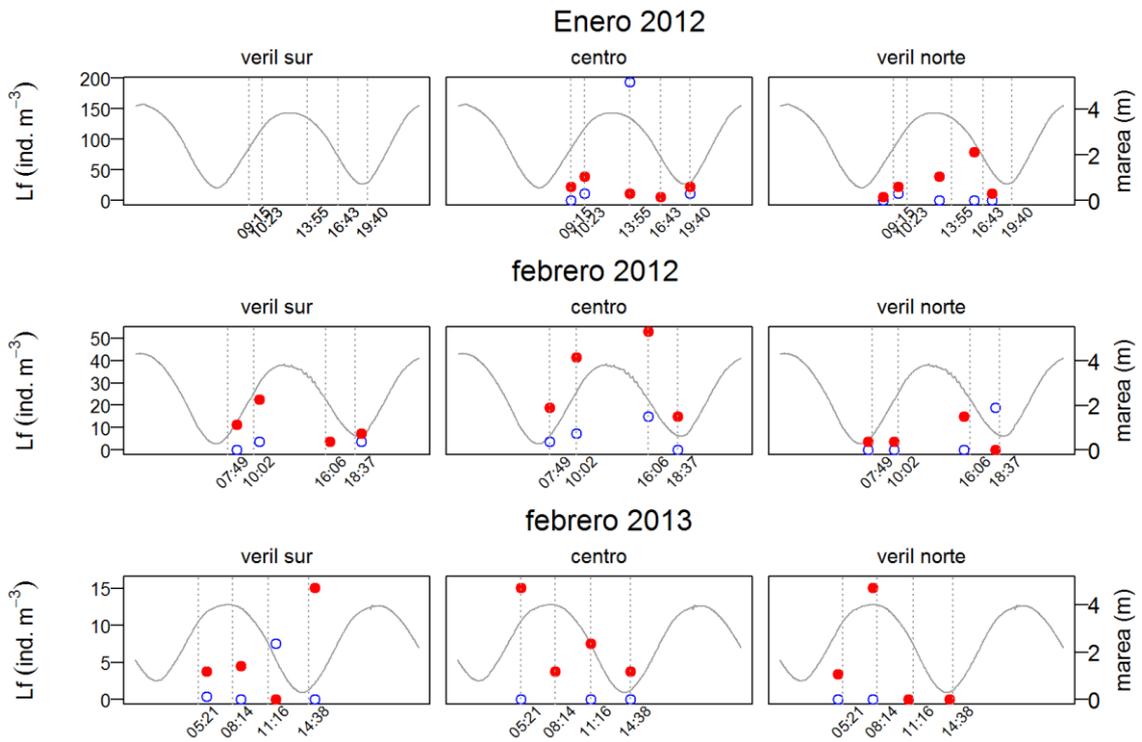


Fig. 4.25. Distribución vertical de la abundancia de *L. fluviatilis* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

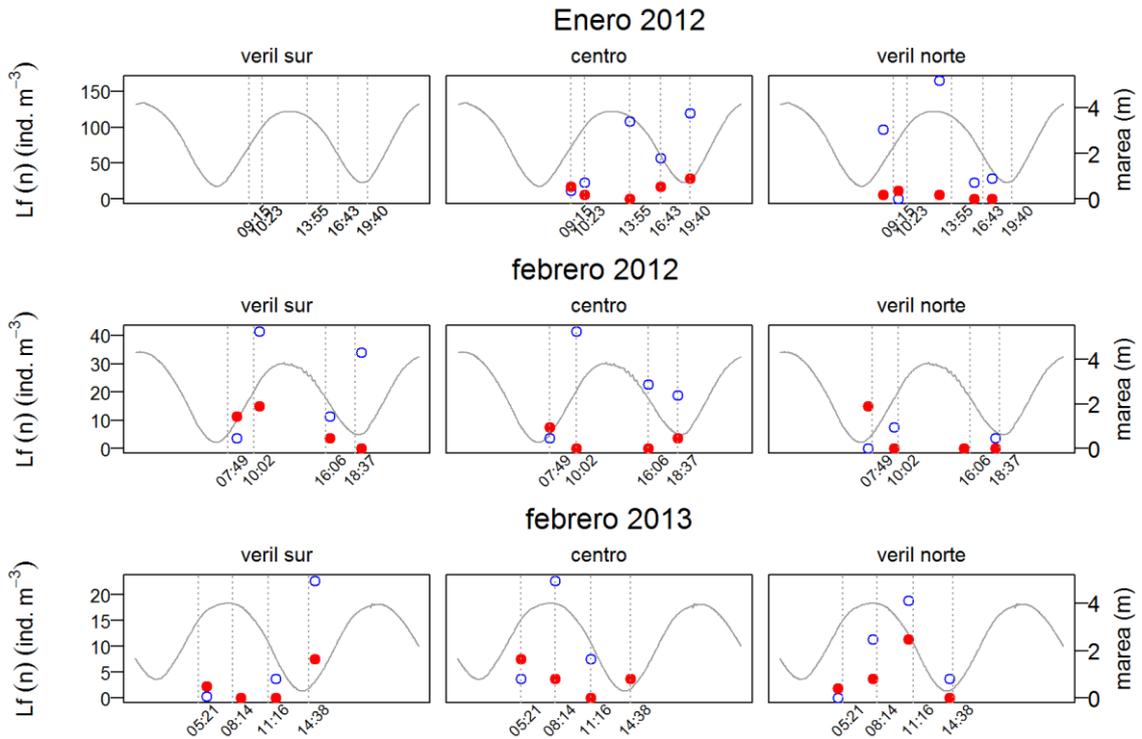


Fig. 4.26. Distribución vertical de la abundancia de *L. fluviatilis* (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

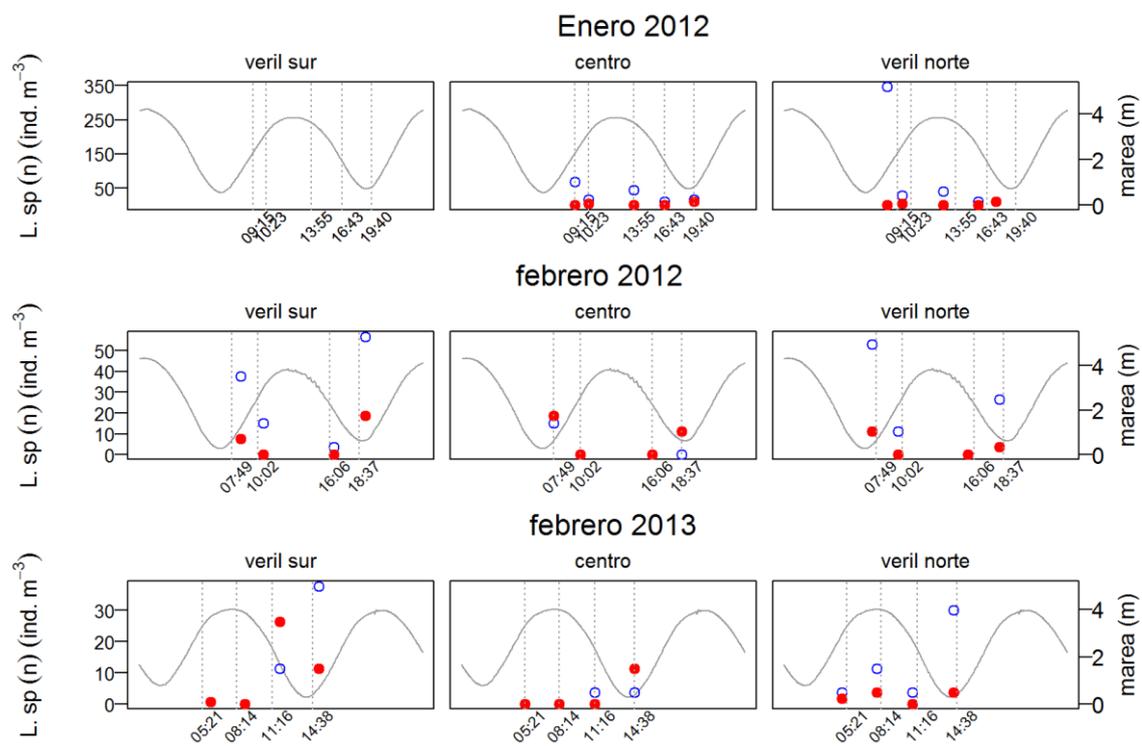


Fig. 4.27. Distribución vertical de la abundancia de *Longipedia sp* (nauplius) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

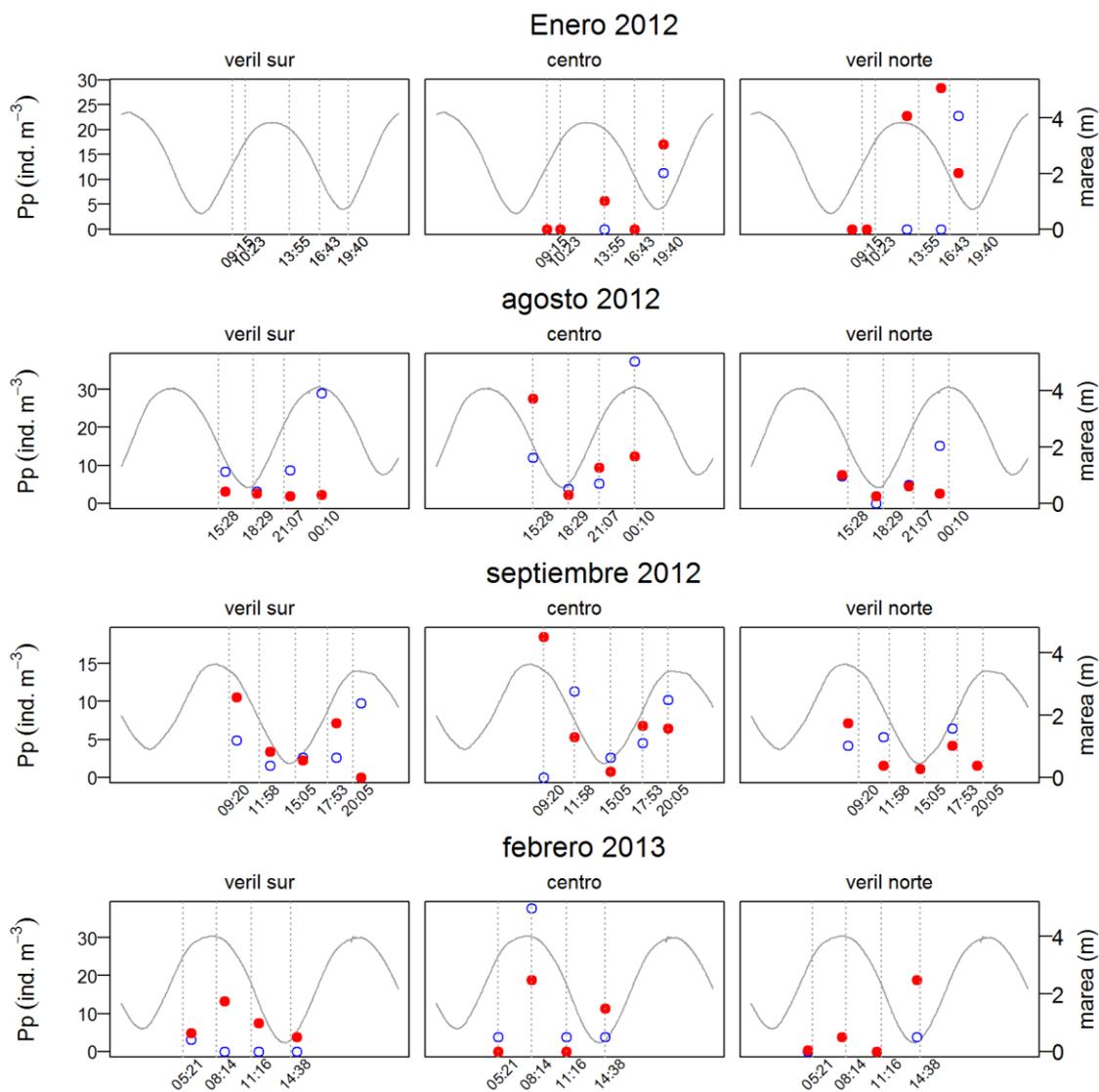


Fig. 4.28. Distribución vertical de la abundancia de *P. parvus* (adultos y copepoditos) a lo largo de todo el ciclo de marea en el estuario medio. Explicación ídem figura 4.1.

4.4 DISCUSIÓN

Una variabilidad discernible en la distribución vertical del mesozooplancton, vinculada al ciclo de marea, fue encontrada en los dos sitios estudiados del canal principal del estuario de Bahía Blanca.

Los resultados mostraron claramente el fuerte efecto del ciclo de las mareas en las variaciones a corto plazo sobre el mesozooplancton en este estuario, lo cual corrobora resultados similares que habían sido reportados para la zona interna del estuario por Menéndez *et al.* (2011, 2012) y Garibotti (2012). Estudios en diferentes estuarios de todo el mundo han demostrado también el fuerte efecto estructurante que provocan los ciclos de marea sobre las comunidades zooplanctónicas (Trinast 1975, Lee y Mc Alice 1979, Dauvin *et al.* 1998, Kimmerer *et al.* 2002, Krumme y Liang 2004, Hsieh *et al.* 2010). En el presente estudio se observó en invierno, una abundancia de adultos y copepoditos de *A. tonsa* más alta en el fondo del canal. Esto también fue observado para las zoeas de Grapsidae y el copépodo calanoideo *P. parvus* en verano (ver tabla 4.1). Para *E. americana* se puede ver que la abundancia fue mayor en fondo a lo largo de todo el ciclo en el centro del canal y también, durante gran parte del ciclo, en el veril norte (figura 4.13). Sin embargo, la prueba estadística no mostró diferencias en la abundancia de esta especie entre superficie y fondo, probablemente por la inclusión en el análisis, de los datos hallados en los veriles del canal. En la zona media también fue observada la distribución de las abundancias de *E. americana* y *A. tonsa*, con mayores valores en el fondo durante el invierno (ver tabla 4.2). En agosto, este mismo patrón fue observado sólo para *E. americana* y en septiembre para ambas especies. El patrón hallado en la zona media e interna del estuario en este estudio, es coherente con lo reportado por Menéndez *et al.* (2011, 2012) y Garibotti (2012) para el canal principal en la zona interna del estuario ya que estos autores también encontraron las mayores abundancias, de estas mismas especies, en fondo a lo largo de todo el ciclo de marea.

Claramente, fueron observadas diferencias en la distribución vertical de copépodos adultos y larvas nauplii. En la zona interna, las larvas nauplii de *A. tonsa*, fueron más abundantes en superficie que en fondo, ésto los diferenció de los adultos y copepoditos. El mismo tipo de distribución también fue observada para las nauplii de *A. amphitrite* y *Longipedia* sp, y las larvas veliger de *C. gigas* (ver tabla 4.1). En la zona media, las nauplii de *L. fluviatilis* fueron más abundantes en superficie, y los adultos fueron más abundantes en fondo.

El patrón de distribución observado en las larvas de copépodos, cirripedios y bivalvos, con mayores abundancias en superficie podría deberse al menor tamaño y menor capacidad de natación o mayor flotabilidad de estos distintos estadios de desarrollo. Sin embargo, para los

adultos y copepoditos de *E. acutifrons* la abundancia también fue mayor en superficie que en fondo, tanto en la zona interna como media del estuario. Lo anterior podría deberse a que este copépodo harpacticoideo es de menor tamaño que los copépodos calanoideos mencionados (*A. tonsa* y *E. americana*). Se han publicado muchos trabajos sobre la relación de la distribución vertical de los organismos con el transporte horizontal y la retención o exportación de los mismos en estuarios (Epifanio 1988, Forward y Tankersley 2001). Estos autores mencionan dos mecanismos de migración vertical que son empleados por los organismos planctónicos y que les permiten retener sus poblaciones en el estuario. Uno de ellos es el de migración ontogenética por el cual los primeros estadios de desarrollo son distribuidos en estratos superficiales y los más avanzados en estratos profundos (Epifanio 1988, Forward y Tankersley 2001, Kunze *et al* 2013, Wood y Hargis, 1971). Aunque este mecanismo ha sido mencionado principalmente para larvas meroplanctónicas, podría asociarse con la diferente distribución encontrada entre las nauplii y los adultos de copépodos en este estuario. Otro mecanismo es el denominado “Selective tidal stream transport” (STST) el cual es dependiente de la marea. El mismo permite a algunas especies zooplanctónicas retenerse o exportarse en estuarios. Ha sido reportado en varios estudios de copépodos (Kimmerer y McKinnon 1987, Hough y Naylor 1991, Morgan *et al.* 1997, Shang *et al.* 2007, Ueda *et al.* 2010), larvas de cangrejos (Cronin y Forward 1979) misidáceos y anfípodos (Kimmerer *et al.* 1998). La eficiencia del mecanismo en términos de retención, depende de la natación y la flotabilidad del zooplancton (Ueda *et al.* 2010). El mecanismo consiste en el aumento de la abundancia del zooplancton en las capas más profundas de la columna de agua durante la bajante y en las capas superiores en creciente. Esto permite limitar la pérdida de población con la corriente de bajante ya que tanto la corriente de bajante como la de creciente poseen velocidades más altas en superficie que cerca del fondo. Los resultados del presente estudio para la zona interna del estuario mostraron una distribución vertical de *A. tonsa* opuesta entre la creciente y la bajante, siendo mayor la abundancia en el fondo durante la bajante y en superficie durante la creciente. Esto último fue observado en el centro del canal en febrero y en forma no tan clara en enero (ver figura 4.2). En agosto, como ya se mencionó anteriormente, la abundancia fue mayor en fondo, en general a lo largo de todo el ciclo de mareas estudiado. Esta distribución, aunque con algunas variaciones, parece encuadrarse en el mecanismo de transporte selectivo por mareas (STST). Sin embargo, esto no fue observado en la zona media del estuario (figura 3.16). Estas diferencias podrían responder a la hipótesis de que en la zona interna del estuario, el zooplancton se retiene manteniendo sus poblaciones pero en la zona media no ocurre lo mismo, habiendo más recambio de individuos con la zona externa y la plataforma continental interior, adyacente al estuario. Otros autores

también han encontrado mayor abundancia de *A. tonsa* en fondo durante la bajante en otros estuarios (Trinast 1975, Gonçalves *et al.* 2012). Este hecho ha sido también informado para *E. americana* por Bakker *et al.* (1977). En un estudio sobre el estuario del río Mondego, en la costa oeste de Portugal, Marques *et al.* (2009) también encontraron altas densidades de *A. tonsa* principalmente en fondo. Sus hallazgos sugieren que este copépodo podría utilizar un mecanismo de retención para mantener su posición en el canal que permite la regulación de la distribución vertical en sincronía con el ciclo de marea (Kouassi *et al.* 2001, Marques *et al.* 2009). Es recomendable planificar estudios adicionales al presente, para reforzar estos hallazgos y que contribuyan a aclarar los mecanismos que utilizan los organismos en respuesta a la influencia de la onda de marea y las condiciones ambientales que la modifican y producen la circulación en el estuario de Bahía Blanca.

4.5 CONCLUSIONES

Nuestros resultados mostraron que la marea influyó sobre la distribución vertical del mesozooplankton en la zona interna y media del estuario de Bahía Blanca, y que los principales taxa hallados en las muestras responden de formas diferentes a la influencia de la marea. La influencia de la marea sobre el mesozooplankton fue diferente en la zona interna y la zona media del estuario y también lo fue entre invierno y verano. También podemos concluir que la respuesta de las nauplii de copépodos a la influencia de la marea fue diferente de la de los adultos y copepoditos, siendo la abundancia de las nauplii mayor en superficie y la de adultos y copepoditos en fondo. También observamos que las larvas meroplanctónicas (excepto *B. glandula*) tienen una distribución más parecida a la de las nauplii de copépodos que a la de los adultos, lo cual podría deberse al tamaño o la capacidad de natación. En la zona interna del estuario los resultados mostraron que adultos y copepoditos de algunos taxa tuvieron patrones de distribución coherentes con el mecanismo de transporte selectivo por marea (STST), mencionado por varios autores como responsable de la retención de los organismos en estuarios. Los resultados de la zona media del estuario no mostraron patrones de distribución coherentes con este mecanismo.

4.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKKER, C.; PHAFF, W. J.; EWIJK-ROSIER, M. V.; DE PAUW, N. Copepod biomass in an estuarine and a stagnant brackish environment of the SW Netherlands. *Hydrobiologia*, v. 52, n. 1, p. 3-13, 1977.
- DA COSTA, K. G.; BEZERRA, T. R.; MONTEIRO, M. C.; VALLINOTO, M.; BERRÊDO, J. F.; PEREIRA, L. C. C.; DA COSTA, R. M. Tidal-induced changes in the zooplankton community of an Amazon estuary. *J. Coastal. Res.*, v. 29, n. 4, p. 756 – 765, 2013.
- DAUVIN, J. C.; THIÉBAUT, E.; WANG, Z. Short-term changes in the mesozooplanktonic community in the Seine ROFI (Region of Freshwater Influence)(eastern English Channel). *J. Plankton. Res.*, v. 20, n. 6, p. 1145-1167, 1998.
- DEVREKER, D.; SOUISSI, S.; MOLINERO, J. C.; BEYREND-DUR, D.; GOMEZ, F.; FORGET-LERAY, J. Tidal and annual variability of the population structure of *Eurytemora affinis* in the middle part of the Seine Estuary during 2005. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, v. 89, n. 4, p. 245-255, 2010.
- DEVREKER, D.; SOUISSI, S.; MOLINERO, J. C.; NKUBITO, F. Trade-offs of the copepod *Eurytemora affinis* in mega-tidal estuaries: insights from high frequency sampling in the Seine estuary. *J. Plankton. Res.*, v. 30, n. 12, p. 1329-1342, 2008.
- DUTTO, M. S.; ABBATE, M. C.; BIANCALANA, F.; BERASATEGUI, A. A.; HOFFMEYER, M. S. The impact of sewage on environmental quality and the mesozooplankton community in a highly eutrophic estuary in Argentina. *ICES J. Mar. Sci.*, v. 69, n. 3, p. 399-409, 2012.
- GARIBOTTI E. Distribución vertical y dinámica temporal del mesozooplancton, en relación a variables fisicoquímicas, en el estuario de Bahía blanca. Tesis doctoral, UNS. Bahía Blanca, 2012.
- GONÇALVES, A. M. M.; PARDAL, M. A.; MARQUES, S. C.; MENDES, S.; FERNÁNDEZ-GÓMEZ, M. J.; GALINDO-VILLARDÓN, M. P.; AZEITEIRO, U. M. Diel vertical behavior of Copepoda community (naupliar, copepodites and adults) at the boundary of a temperate estuary and coastal waters. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, v. 98, n. 16-30, p. 2012.
- HILL, A. E. Vertical migration in tidal currents. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, v. 75, n. 1, p. 39-54, 1991.
- HOUGH, A. R.; NAYLOR, E. Field studies on retention of the planktonic copepod *Eurytemora affinis* in a mixed estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, v. 76, p. 115-122, 1991.
- HSIEH, H. L.; FAN, L. F.; CHEN, C. P.; WU, J. T.; LIU, W. C. Effects of semidiurnal tidal circulation on the distribution of holo-and meroplankton in a subtropical estuary. *J. Plankton. Res.*, v. 32, n. 6, p. 829-841, 2010.
- KIMMERER, W. J.; BURAU, J. R.; BENNETT, W. A. Tidally oriented vertical migration and position maintenance of zooplankton in a temperate estuary. *Limnol. Oceanogr.*, v. 43, n. 7, p. 1697-1709, 1998.
- KIMMERER, W. J.; BURAU, J. R.; BENNETT, W. A. Persistence of tidally-oriented vertical migration by zooplankton in a temperate estuary. *Estuaries*, v. 25, n. 3, p. 359-371, 2002.
- KOUASSI, E.; PAGANO, M.; SAINT-JEAN, L.; ARFI, R.; BOUVY, M. Vertical Migrations and Feeding Rhythms of *Acartia clausi* and *Pseudodiaptomus hessei* (Copepoda: Calanoida) in a Tropical Lagoon (Ebrié, Côte d'Ivoire). *Est. Coast. Shelf. Sci.*, v. 52, n. 6, p. 715-728, 2001.
- KRUMME, U.; LIANG, T. H. Tidal-induced changes in a copepod-dominated zooplankton community in a macrotidal mangrove channel in Northern Brazil. *Zool. Stud.*, v. 43, n. 2, p. 404-414, 2004.
- LEANDRO, S. M.; MORGADO, F.; PEREIRA, F.; QUEIROGA, H. Temporal changes of abundance, biomass and production of copepod community in a shallow temperate estuary (Ria de Aveiro, Portugal). *Est. Coast. Shelf. Sci.*, v. 74, n. 1, p. 215-222, 2007.

- LEE, W. Y.; Mc ALICE, B. J. Sampling variability of marine zooplankton in a tidal estuary. *Est. Coast. Mar. Sci.*, v. 8, n. 6, p. 565-582, 1979.
- MARQUES, S. C.; AZEITEIRO, U. M.; MARTINHO, F.; VIEGAS, I.; PARDAL, M. Â. Evaluation of estuarine mesozooplankton dynamics at a fine temporal scale: the role of seasonal, lunar and diel cycles. *J. Plankton. Res.*, v. 31, n. 10, p. 1249-1263, 2009.
- MENÉNDEZ, M. C.; PICCOLO, M. C.; HOFFMEYER, M. S. Short-term variability on mesozooplankton community in a shallow mixed estuary (Bahía Blanca, Argentina): Influence of tidal cycles and local winds. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, v. 112, p. 11-22, 2012.
- MENÉNDEZ, M. C.; PICCOLO, M. C.; HOFFMEYER, M. S.; SASSI, M. Estuarine mesozooplankton dynamics on a short-term time scale: role of semidiurnal tidal cycle. *Braz. J. Oceanogr.*, v. 59, n. 3, p. 281-286, 2011.
- MORGADO, F. M.; PASTORINHO, R.; QUINTANEIRO, C.; RÉ, P. Vertical distribution and trophic structure of the macrozooplankton in a shallow temperate estuary (Ria de Aveiro, Portugal). *Sci. Mar.*, v. 70, n. 2, p. 177-188, 2006.
- MORGAN, C. A.; CORDELL, J. R.; SIMENSTAD, C. A. Sink or swim? Copepod population maintenance in the Columbia River estuarine turbidity-maxima region. *Mar. Biol.*, v. 129, n. 2, p. 309-317, 1997.
- NAYLOR, E. Orientation and navigation in coastal and estuarine zooplankton. *Mar. Freshw Behav. Physiol.*, v. 39, n. 1, p. 13-24, 2006.
- PEITSCH, A.; KÖPCKE, B.; BERNÁT, N. Long-term investigation of the distribution of *Eurytemora affinis* (Calanoida; Copepoda) in the Elbe Estuary. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, v. 30, n. 2, p. 175-182, 2000.
- PEREIRA, F.; PEREIRA, R.; QUEIROGA, H. Flux of decapod larvae and juveniles at a station in the lower Canal de Mira (Ria de Aveiro, Portugal) during one lunar month. *Invertebr. Reprod. Dev.*, v. 38, n. 3, p. 183-206; 2000.
- QUINN, G. P., & Keough, M. J. (2002). *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press.
- ROMAN, M. R.; HOLLIDAY, D. V.; SANFORD, L. P. Temporal and spatial patterns of zooplankton in the Chesapeake Bay turbidity maximum. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, v. 213, p. 215-227, 2001.
- SCHWAMBORN, R.; MELO Jr, M.; DE LEITÃO, S. L.; EKAU, W.; PARANAGUÁ, M. N. Dynamic patterns of zooplankton transport and migration in Catuama Inlet (Pernambuco, Brazil), with emphasis on the decapod crustacean larvae. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, v. 36, n. 1, p. 109-113, 2008.
- SHANG, X.; GUIZHONG, W.; SHAOJING, L.; DONGHUI, G. Preliminary study of the retention mechanism of planktonic copepods in the Jiulong Estuary in China. *Acta. Oceanol. Sin.*, v. 26, p. 156-163, 2007.
- THORISSON, K. How are the vertical migrations of copepods controlled? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, v. 329, n. 1, p. 86-100, 2006.
- TRINAST, E. M. Tidal currents and *Acartia* distribution in Newport Bay, California. *Est. Coast. Mar. Sci.*, v. 3, n. 2, p. 165-176, 1975.
- TUKEY, J. W. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 99-114.
- UEDA, H.; KUWATANI, M.; SUZUKI, K. W. Tidal vertical migration of two estuarine copepods: naupliar migration and position-dependent migration. *J. Plankton. Res.*, v. 32, n. 11, p. 1557-1572 2010.
- VILLATE, F. Tidal influence on zonation and occurrence of resident and temporary zooplankton in a shallow system (estuary of Mundaka, Bay of Biscay). *Sci. Mar.*, v. 61, p. 173-188, 1997.
- WILSON, J. G. Productivity, fisheries and aquaculture in temperate estuaries. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, v. 55, n. 6, p. 953-967, 2002.

5 TRANSPORTE DE MESOZOOPLANCTON Y MPS

5.1 INTRODUCCIÓN

La marea causa un flujo periódico de entrada y salida de agua dentro y fuera de los estuarios (Postma, 1967, 1980). Esto genera un transporte de organismos de entrada durante la creciente y de salida durante la bajante. Sin embargo, el transporte más significativo para los organismos es el que ocurre en un ciclo de marea completo, es decir el transporte residual. Este transporte es el resultado del balance entre el material importado y exportado, en uno o más ciclos de marea. Así mismo, los flujos residuales en una sección del canal no son necesariamente homogéneos por lo cual puede ocurrir que en diferentes partes de esa sección haya flujos residuales con sentidos opuestos (Perillo y Piccolo 2013). Por lo tanto, el transporte neto será el resultado del balance entre lo importado y exportado pero en toda la sección del canal estudiado.

En este capítulo se define el transporte residual como el número de individuos o mg de MPS que fueron transportados a través de un punto de la sección del canal luego de transcurrido un ciclo completo de marea. También se define el transporte neto como el número de individuos o mg de MPS que fueron transportados a través de toda la sección del canal luego de transcurrido un ciclo completo de marea.

5.1.1 Objetivos generales

Analizar y cuantificar el transporte del mesozooplankton en la zona interna y media del estuario de Bahía Blanca.

5.1.2 Objetivos específicos

- i. Calcular y analizar las tasas instantáneas de transporte ($\text{ind m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para los distintos taxa hallados en las muestras.
- ii. Calcular y analizar el transporte residual de los organismos en dos zonas del canal principal del estuario.
- iii. Comparar y analizar espacialmente el transporte residual sobre cada sección transversal del canal (zonas interna y media del estuario) y entre ambas zonas.
- iv. Calcular y analizar el transporte neto de los organismos en cada sección del canal.
- v. Comparar el transporte neto de los organismos entre la zona interna y media del estuario.

- vi. Analizar y comparar el transporte neto entre los distintos taxa y entre distintos estadios de desarrollo de un mismo taxón.
- vii. Calcular y analizar el transporte neto del material particulado en suspensión (MPS) en cada sección del canal.
- viii. Comparar el transporte neto del MPS con el transporte de los organismos, considerando su distinta naturaleza.

5.1.3 Hipótesis de trabajo

Las tasas instantáneas de transporte del mesozooplancton difieren tanto espacial como temporalmente y también entre taxa.

El transporte de los organismos difiere entre la zona interna y media del estuario. Estos son retenidos en la zona interna del estuario, en una celda de escasa renovación. Por el contrario, la masa de agua en la zona media del estuario recircula en una celda con alta renovación, disminuyendo las posibilidades de retención y transportando una mayor proporción de organismos propios de la zona externa y de El Rincón.

El transporte difiere entre los distintos taxa y entre los distintos estadios de desarrollo de un mismo taxón.

El transporte de los organismos, está influenciado por factores físicos y biológicos, razón por la cual difiere del transporte de MPS.

5.2 METODOLOGÍA

5.2.1 Análisis numérico de los datos

5.2.1.1 Tasa instantánea de transporte

Se calculó la tasa instantánea del mesozooplancton (T_i) en $\text{ind m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, para cada estación de muestreo y cada estado de marea, multiplicando la abundancia (ind.m^{-3}) por la velocidad de la corriente u (m s^{-1}). Posteriormente se calculó para toda la sección transversal al canal promediando todas las T_i de la sección y multiplicando por el área de dicha sección (Schwamborn *et al.* 2008). La tasa instantánea de transporte del mesozooplancton fue comparada entre creciente y bajante. Especialmente fue comparada entre superficie y fondo por medio de la prueba no paramétrica de Mann-Witney y entre los veriles y el centro del canal por medio de la prueba de Kruskal-Wallis.

5.2.1.2 Transporte residual

El transporte residual (T_r) indica el número de organismos o mg de MPS que se transportan por m^2 en un ciclo de marea. Para su cálculo se interpolaron los datos de la velocidad de la corriente a lo largo del ciclo de marea. Estos datos de velocidad se multiplicaron por las respectivas abundancias de organismos (en el caso del mesozooplancton) y por la concentración del MPS (en el caso del MPS) correspondientes a los momentos de creciente y bajante. De esa manera se obtuvo una distribución continua de la tasa instantánea de transporte de los organismos del mesozooplancton y del MPS a lo largo de todo el ciclo de marea. Luego se calculó el transporte para cada hemiciclo de la marea (T_h) mediante la siguiente fórmula modificada de Giancesella *et al.* (2005) y Miranda *et al.* (2002):

$$T_h = \int_{t_i}^{t_f} ua \, dt = \langle ua \rangle (t_f - t_i)$$

Donde:

El símbolo $\langle \rangle$ significa promedio en el tiempo

T_h = transporte en cada hemiciclo de marea, en cada estación de muestreo (ind m^{-2})

t_i = tiempo inicial (s)

t_f = tiempo final (s)

u = velocidad longitudinal (m.s^{-1})

a =abundancia de mesozooplancton (ind.m^{-3}) o concentración de MPS (mg.m^{-3})

Luego se sumaron algebraicamente los valores de Th de creciente y bajante (tienen signos opuestos) para obtener el transporte residual (Tr).

$$T_r = Th_{(creciente)} + Th_{(bajante)}$$

Tr= Transporte residual en un ciclo de marea

5.2.1.3 Transporte neto

El transporte neto (Tn) es el transporte residual en toda la sección del canal. Para calcularlo, primero se calculó el transporte en toda la sección para cada hemiciclo de la marea (Th_s), luego se sumaron algebraicamente los resultados de creciente y bajante para obtener el transporte neto (Tn).

El Th_s tanto para la creciente como para la bajante se calculó por la siguiente fórmula:

$$Th_s = \int_0^A Th dA = \overline{Th} A$$

Donde:

La barra superior significa promedio espacial

Th_s = Transporte en toda la sección del canal para cada hemiciclo de la marea (ind)

Th= transporte en cada hemiciclo de marea, en cada estación de muestreo (ind.m⁻²)

A= Área de la sección (m²)

$$T_n = Th_s (creciente) + Th_s (bajante)$$

Tn= Transporte neto (transporte residual en toda la sección del canal, ind o mg).

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Estuario interno

5.3.1.1 Tasa instantánea de transporte

En la tabla 5.1 se pueden observar los valores de la tasa instantánea de transporte de los distintos taxa ($\text{ind.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) en marea creciente y bajante. En general, no se hallaron diferencias estadísticas entre creciente y bajante. Sólo se observaron para *A. tonsa* (adultos y copepoditos) y el mesozooplankton total en verano y *E. americana* (adultos y copepoditos) en invierno. Como también se observa en la tabla 5.1 no hubo diferencias estadísticas entre creciente y bajante en las tasas instantáneas de transporte de las larvas meroplanctónicas (*B. glandula*, *C. gigas* y *Longipedia sp.*). Con respecto a las comparaciones espaciales, en general, tampoco se hallaron diferencias estadísticas, excepto para las larvas nauplius de *A. tonsa* que tuvieron una tasa instantánea de transporte mayor en superficie que en fondo en verano y las larvas nauplius de *C. carinatus* que tuvieron una tasa mayor en el centro del canal en invierno. Los adultos y copepoditos de *L. fluviatilis* tuvieron una tasa de transporte generalmente invariable espacialmente excepto en febrero de 2012 cuando fue mayor en el estrato superficial. Con respecto al meroplancton para las larvas veliger de *C. gigas* se hallaron diferencias estadísticas en las tasas instantáneas de transporte de superficie y fondo en el mes de enero.

	mes	creciente (ind.m ⁻² .s ⁻¹)	bajante (ind.m ⁻² .s ⁻¹)	p
meso total	enero 12	7,07E+07	-7,08E+07	ns
	febrero 12	2,84E+07	-1,25E+08	**
	agosto 12	1,62E+07	-2,11E+07	ns
	febrero 13	3,89E+07	-2,88E+08	ns
A. tonsa	enero 12	2,21E+07	-3,91E+07	ns
	febrero 12	1,62E+07	-1,05E+08	**
	agosto 12	4,28E+05	-3,58E+05	ns
	febrero 13	1,58E+07	-3,71E+07	ns
A. tonsa (n)	enero 12	3,12E+06	-5,79E+06	ns
	febrero 12	2,18E+06	-2,99E+06	ns
	agosto 12	1,24E+05	-4,05E+04	ns
	febrero 13	7,38E+05	-2,42E+06	ns
C. carinatus	agosto 12	3,16E+03	-5,65E+03	ns
C. carinatus (n)	agosto 12	7,82E+03	0,00E+00	ns
E. americana	agosto 12	1,15E+05	-9,52E+04	ns
E. americana (n)	agosto 12	2,60E+04	-1,25E+04	**
L. fluviatilis	enero 12	1,64E+05	0,00E+00	ns
	febrero 12	1,02E+05	-2,44E+05	ns
	febrero 13	2,38E+04	0,00E+00	ns
L. fluviatilis (n)	enero 12	1,42E+05	-2,07E+05	ns
	febrero 12	4,62E+04	-9,54E+04	ns
	febrero 13	6,25E+03	-1,60E+04	ns
E. acutifrons	enero 12	4,22E+06	-4,50E+06	ns
	febrero 12	1,76E+06	-4,17E+06	ns
	agosto 12	1,03E+05	-1,55E+05	ns
	febrero 13	5,81E+06	-8,61E+06	ns
P. parvus	enero 12	2,32E+05	-3,51E+05	ns
	agosto 12	6,25E+04	-3,83E+04	ns
	febrero 13	7,43E+04	-1,99E+04	ns
B. glandula	agosto 12	1,49E+07	-1,94E+07	ns
C. gigas	enero 12	3,55E+07	-1,52E+07	ns
	febrero 12	1,60E+06	-3,80E+06	ns
	febrero 13	1,16E+07	-1,50E+07	ns
Longipedia sp.	enero 12	1,38E+06	-1,15E+06	ns
	febrero 12	2,37E+06	-1,49E+06	ns
	febrero 13	1,17E+06	-1,45E+06	ns

Tabla 5.1. Tasa instantánea de transporte para los distintos taxa del mesozooplankton, calculada para toda la sección del canal del sitio interno (sitio 1) El valor de p corresponde a la comparación de la tasa instantánea de transporte entre creciente y de bajante. ns= no significativo, (**)= significativo.

5.3.1.2 Transporte residual

El mesozooplancton total fue transportado hacia el interior del estuario a través del estrato superficial en enero y a través del estrato profundo en agosto. En febrero, el transporte residual del mesozooplancton fue hacia el exterior del estuario en toda la sección, con valores más altos en el estrato profundo del centro del canal (ver figura 5.2). En febrero y agosto, el transporte de adultos y copepoditos de *A. tonsa* siguió la misma tendencia que el transporte del mesozooplancton total. Sin embargo, en enero, los mayores valores de transporte de esta especie fueron hacia el exterior del estuario en el estrato profundo del centro del canal. Las nauplius de *A. tonsa* fueron transportadas hacia el interior del estuario a través del centro del canal por el estrato superficial en enero y febrero, y por el estrato profundo en agosto (ver figura 5.2). Los adultos y copepoditos de *C. carinatus* tuvieron un transporte que cambió de sentido desde el veril sur del canal, donde fue hacia el exterior del estuario, hasta el veril norte donde fue hacia el interior. Las nauplius de esta especie tuvieron un transporte diferente (en magnitud y sentido) al de los adultos y copepoditos, se transportaron hacia el interior del estuario a través del estrato superficial del centro del canal y hacia el exterior en el resto de la sección (fig 5.5). En cambio, el copépodo *E. americana* tuvo un transporte residual similar entre adultos-copepoditos y nauplius a través de la sección del canal, el cual fue hacia el interior del estuario en el estrato profundo y hacia el exterior en el resto de la sección.

El transporte de *E. acutifrons* en general tuvo sentidos opuestos entre superficie y fondo (fig 5.2), siendo principalmente hacia el interior del estuario en superficie y hacia el exterior en el fondo. En febrero de 2012 se observó un transporte residual con valores altos en el fondo del centro del canal, pero también hubo un transporte importante hacia el interior del estuario en el veril norte en superficie. En invierno, el transporte de *E. acutifrons* también tuvo sentidos opuestos entre el veril sur y el centro del canal, siendo hacia el exterior del estuario en ese veril (fig 5.2).

El transporte de adultos y copepoditos de *L. fluviatilis* fue hacia el interior del estuario en el estrato superficial del centro del canal y hacia el exterior en el resto de la sección. A diferencia de esto, las nauplius de esta especie fueron transportadas hacia el interior del estuario por los veriles y hacia el exterior del estuario por el centro del canal (fig 5.3). El copépodo *P. parvus* tuvo un transporte hacia el interior del estuario en el veril sur en verano y en el centro del canal en invierno principalmente en fondo. Con respecto al meroplancton, las nauplius de *B. glandula* y *Longipedia sp.* fueron transportadas hacia el interior del estuario principalmente por el centro del canal pero a través del estrato profundo en el caso de *B. glandula* y a través del estrato

superficial en el caso de *Longipedia sp.* El transporte de larvas de *C. giga*, fue principalmente hacia el interior del estuario por el centro del canal en enero. En febrero el sentido fue hacia el exterior del estuario en el centro del canal y hacia el interior de este en los veriles (fig 5.3).

El transporte del MPS en general siguió la tendencia de la velocidad residual de la corriente (ver capítulo 2). Generalmente fue hacia el exterior del estuario en toda la sección del canal, excepto en enero y agosto donde se observó un cambio de sentido del transporte con la profundidad (fig 5.6). En enero, el transporte fue hacia el interior del estuario en el estrato superficial y hacia el exterior en el estrato profundo. En agosto el sentido fue inverso al de enero (fig 5.6).

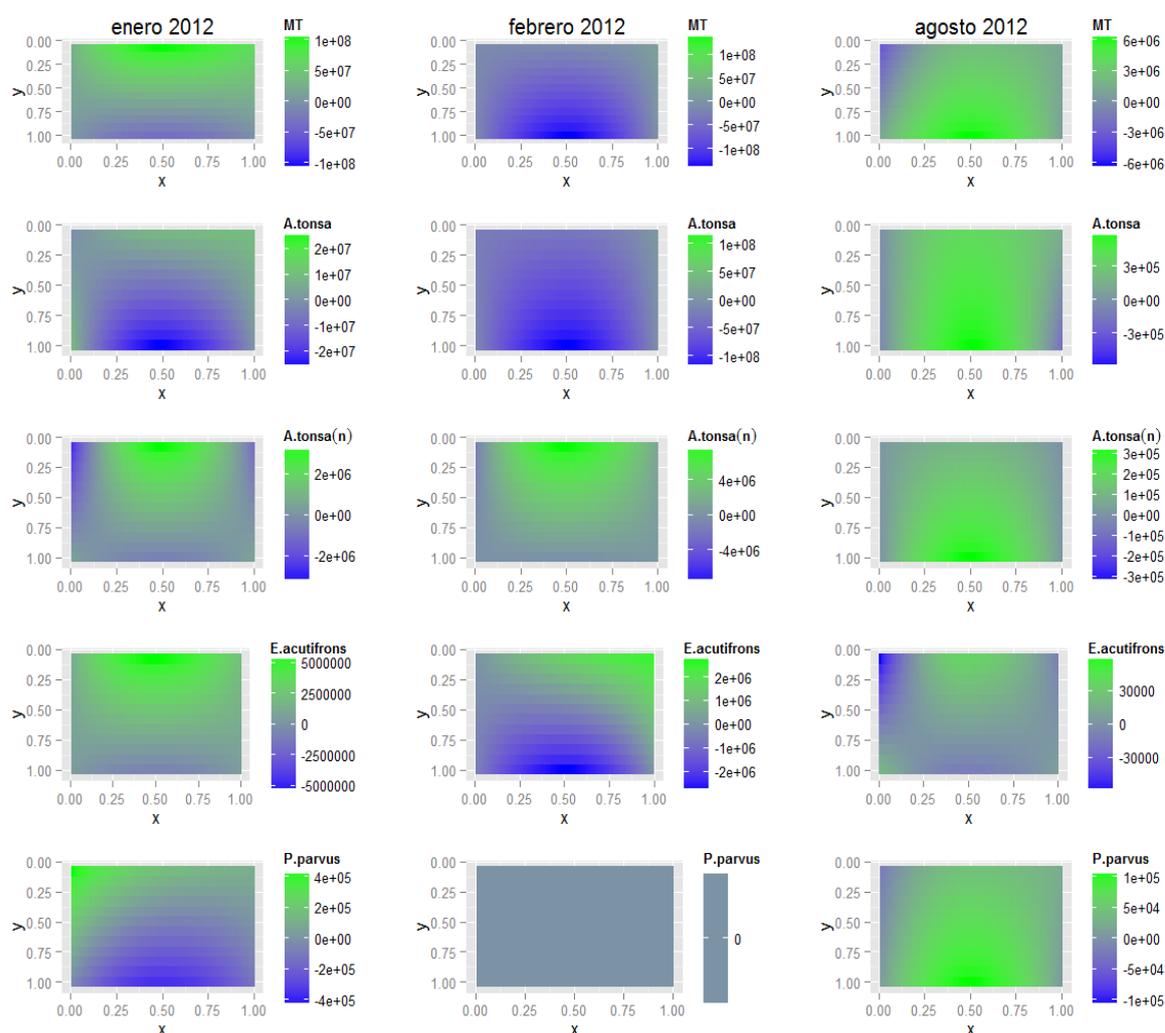


Fig 5.2. Transporte residual (Tr) de los organismos (ind m^{-2}) sobre la sección transversal del canal. El signo negativo (color azul) indica individuos exportados, mientras que el signo positivo (color verde) indica individuos que ingresan al estuario. MT: mesozooplancton total, los ejes X e Y representan esquemáticamente el ancho y la profundidad del canal. El lado izquierdo de cada gráfico corresponde al veril sur del canal y el derecho al norte.

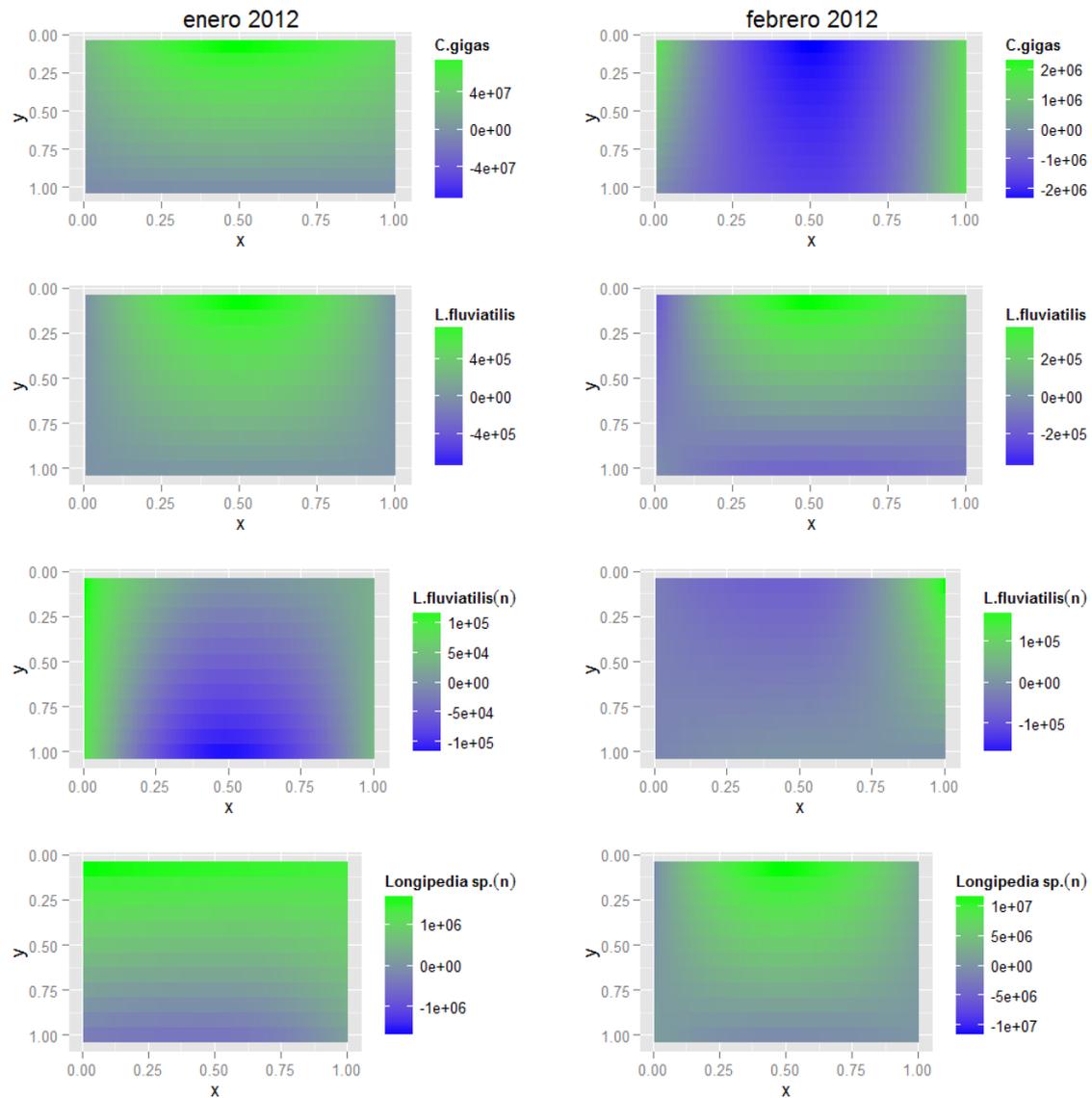


Fig 5.3. Transporte residual (Tr) de los organismos (ind m⁻²) sobre la sección transversal del canal. El signo negativo (color azul) indica individuos exportados, mientras que el signo positivo (color verde) indica individuos que ingresan al estuario. MT: mesozooplancton total, los ejes X e Y representan esquemáticamente el ancho y la profundidad del canal. El lado izquierdo de cada gráfico corresponde al veril sur del canal y el derecho al norte.

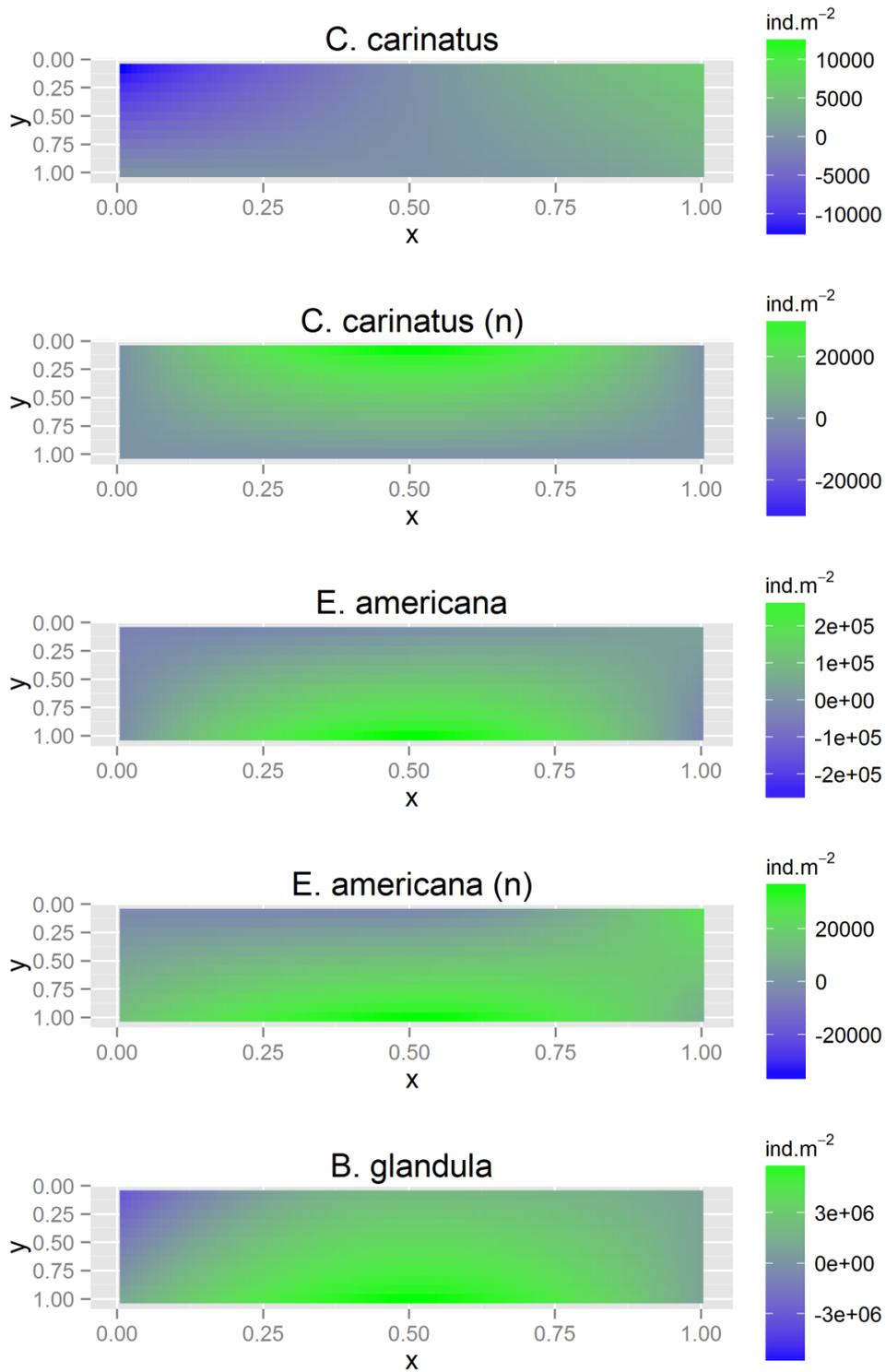


Fig 5.5. Transporte residual (Tr) de los organismos (ind m⁻²) sobre la sección transversal del canal. El signo negativo (color azul) indica individuos exportados, mientras que el signo positivo (color verde) indica individuos que ingresan al estuario. MT: mesozooplancton total, los ejes X e Y representan esquemáticamente el ancho y la profundidad del canal. El lado izquierdo de cada gráfico corresponde al veril sur del canal y el derecho al norte.

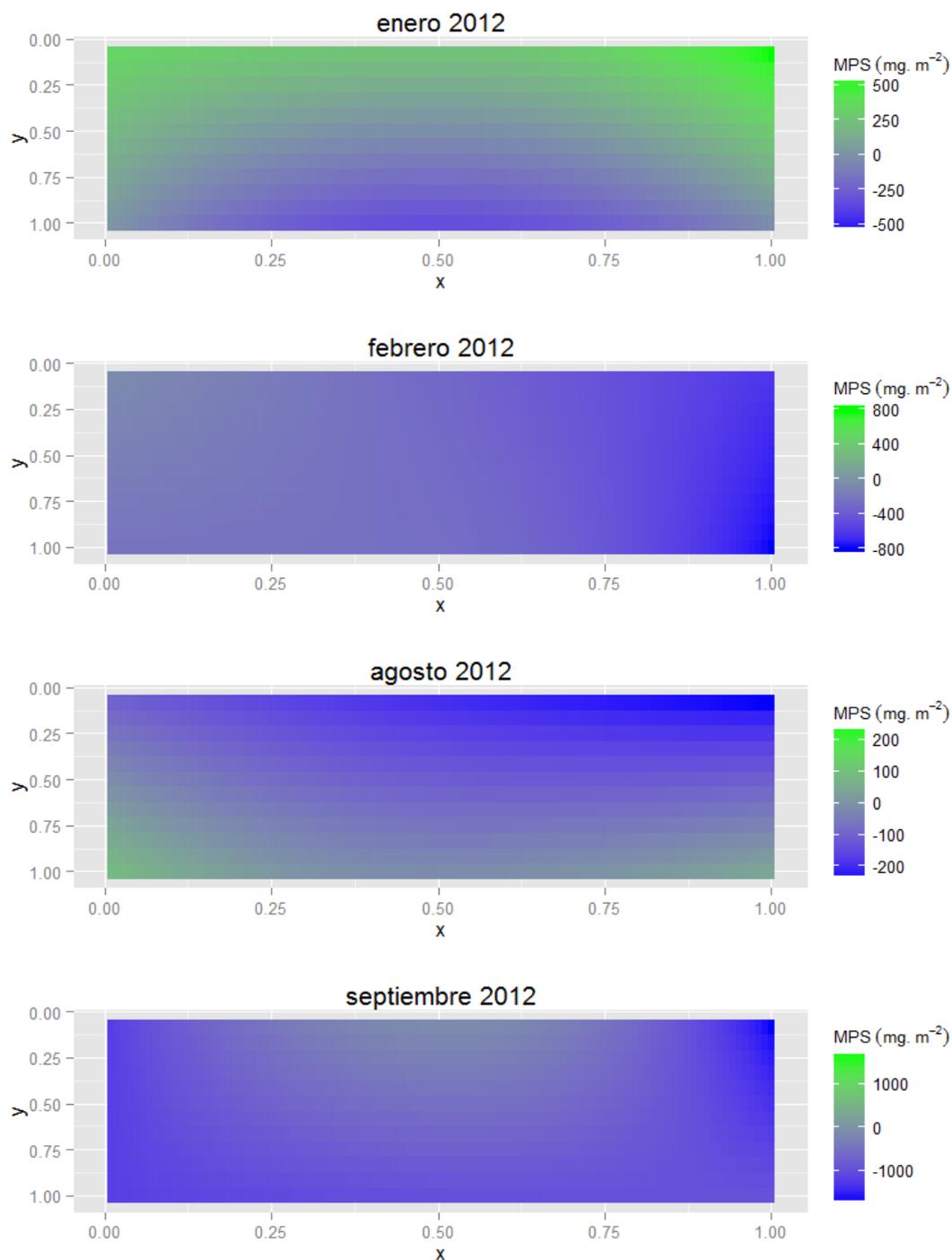


Fig 5.6. Transporte residual (Tr) del MPS (mg m^{-2}) sobre la sección transversal del canal. El signo negativo (color azul) indica individuos exportados, mientras que el signo positivo (color verde) indica individuos que ingresan al estuario. MT: mesozooplancton total, los ejes X e Y representan esquemáticamente el ancho y la profundidad del canal. El lado izquierdo de cada gráfico corresponde al veril sur del canal y el derecho al norte.

5.3.1.3 Transporte neto

El mesozooplankton total fue importado a través de la sección del canal, excepto en febrero de 2012 que fue exportado hacia la boca del estuario (ver tabla 5.2). En general, el transporte neto de los distintos estadios de desarrollo de los copepodos calanoideos tuvo el mismo sentido. Es decir en los casos que los adultos y copepoditos fueron importados, ocurrió lo mismo con las nauplii. Una excepción a esto fue observada para el copepodo *C. carinatus*, para el cual se observó diferente sentido en el transporte neto de los distintos estadios de desarrollo y también para *A. tonsa* en el mes de febrero de 2012 (ver tabla 5.2). En general, las nauplii de los copépodos tuvieron un transporte neto hacia el interior del estuario, con excepción de las nauplii de *L. fluviatilis* en febrero de 2012 y las de *A. tonsa* en enero de 2012. Los adultos de *A. tonsa* tuvieron un transporte neto hacia el exterior del estuario en enero y febrero de 2012 y hacia el interior de este en agosto. Las nauplii de *A. tonsa* fueron exportadas en enero e importadas en agosto, pero sin embargo en febrero de 2012 fueron importadas hacia el interior del estuario a diferencia de los adultos y copepoditos. El transporte neto de adultos-copepoditos y nauplii del copépodo *E. americana* fue hacia el interior del estuario (tabla 5.2). Para el copépodo calanoideo *C. carinatus*, los adultos y copepoditos tuvieron un transporte neto hacia el exterior del estuario, mientras que el transporte neto de las nauplii fue hacia el interior del estuario. El transporte de *L. fluviatilis* también fue igual para los adultos y las nauplii y fue de exportación en febrero y de importación en enero. El copépodo *P. parvus* fue importado en agosto y exportado en enero. El transporte de *E. acutifrons* fue de importación en enero y agosto pero de exportación en febrero. Con respecto al meroplancton, en general, el transporte neto fue hacia el interior del estuario. Las larvas de *C. gigas* tuvieron un transporte neto hacia el exterior del estuario en febrero de 2012 y hacia el interior de este en enero. Las nauplii de *B. glandula* que se observan en invierno tuvieron un transporte neto hacia el interior del estuario al igual que las nauplii del copépodo harpacticoleo *Longipedia* sp. (tabla 5.2). El MPS fue exportado en casi todos los meses estudiados, sólo en enero fue importado hacia el interior del estuario.

	mes	transporte neto
MPS	enero 12	4,41E+05
	febrero 12	-3,73E+06
	agosto 12	-3,38E+04
	septiembre 12	-3,59E+06
Mesozooplankton total	enero 12	9,89E+10
	febrero 12	-1,72E+11
	agosto 12	7,31E+09
<i>A. tonsa</i>	enero 12	-5,54E+08
	febrero 12	-1,86E+11
	agosto 12	5,59E+08
<i>A. tonsa</i> (n)	enero 12	-6,18E+07
	febrero 12	4,39E+09
	agosto 12	2,77E+08
<i>C. carinatus</i>	agosto 12	-1,41E+06
<i>C. carinatus</i> (n)	agosto 12	2,04E+07
<i>E. americana</i>	agosto 12	1,56E+08
<i>E. americana</i> (n)	agosto 12	5,03E+07
<i>L. fluviatilis</i>	enero 12	4,83E+08
	febrero 12	-6,65E+07
<i>L. fluviatilis</i> (n)	enero 12	9,67E+07
	febrero 12	-1,37E+07
<i>E. acutifrons</i>	enero 12	5,41E+09
	febrero 12	-1,31E+09
	agosto 12	7,09E+06
<i>P. parvus</i>	enero 12	1,24E+08
	agosto 12	1,06E+08
<i>B. glandula</i>	agosto 12	6,87E+09
<i>C. gigas</i>	enero 12	8,68E+10
	febrero 12	-1,13E+09
<i>Longipedia</i> sp.	enero 12	2,36E+09
	febrero 12	9,44E+09

Tabla 5.2. Transporte neto (Tn) del mesozooplankton y MPS en el sitio 1 (individuos para los taxa y mg para el MPS). El signo negativo indica individuos exportados.

5.3.2 Estuario medio

5.3.2.1 Tasa instantánea de transporte

En la tabla 5.3 se pueden observar los valores de la tasa instantánea de transporte del mesozooplancton ($\text{ind m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en marea creciente y bajante. Al igual que en el estuario interno, en general no se hallaron diferencias estadísticas entre los valores de creciente y bajante. Con respecto a la tasa instantánea de transporte del mesozooplancton total, no se hallaron diferencias estadísticas espaciales ya se entre estratos como entre los veriles y el centro del canal. Esto también fue válido para *A. tonsa* y *L. fluviatilis*, (adultos, copepoditos y nauplii). Con respecto a los adultos y copepoditos de los copépodos calanoideos *P. parvus*, *E. americana* y *C. carinatus*, la tasa instantánea de transporte fue mayor en bajante que en creciente en agosto, aunque no ocurrió lo mismo en septiembre (tabla 5.3). Sin embargo, la tasa de transporte de larvas nauplius de estas dos últimas especies no resultó diferente entre bajante y creciente ni tampoco espacialmente. La tasa de transporte de *E. acutifrons* fue uniforme espacialmente y sólo en febrero de 2012 fue diferente entre creciente y bajante, siendo mayor durante esta última. Con respecto al meroplancton, las nauplii de *B. glandula*, de *Longipedia sp* y las larvas veliger de *C. gigas* tuvieron una tasa de transporte uniforme espacialmente y no hubo diferencias entre creciente y bajante.

	mes	creciente (ind.m ⁻² .s ⁻¹)	bajante (ind.m ⁻² .s ⁻¹)	p
mesozooplancton total	febrero 12	8,21E+07	-1,34E+08	ns
	agosto 12	3,34E+06	-5,40E+06	ns
	septiembre 12	5,05E+06	-5,93E+06	ns
	febrero 13	7,67E+07	-3,92E+08	**
A. tonsa	febrero 12	6,32E+07	-1,05E+08	ns
	agosto 12	2,95E+05	-1,07E+06	**
	septiembre 12	1,98E+06	-1,47E+06	ns
	febrero 13	3,68E+07	-1,83E+08	**
A.tonsa (n)	febrero 12	6,46E+06	-4,40E+06	ns
	agosto 12	2,70E+04	-2,76E+04	ns
	septiembre 12	1,62E+05	-1,95E+05	ns
	febrero 13	3,72E+05	-3,63E+06	**
L. fluviatilis	febrero 12	5,66E+05	-9,28E+05	ns
	febrero 13	1,50E+05	-1,82E+05	ns
L. fluviatilis (n)	febrero 12	9,48E+05	-4,54E+05	ns
	febrero 13	1,18E+05	-5,43E+05	ns
P. parvus	agosto 12	2,86E+05	-7,29E+05	**
	septiembre 12	1,86E+05	-2,13E+05	ns
	febrero 13	1,04E+05	-1,23E+05	ns
E. americana	agosto 12	9,69E+03	-6,00E+04	**
	septiembre 12	2,95E+05	-2,90E+05	ns
E. americana (n)	agosto 12	1,03E+05	-5,37E+04	ns
	septiembre 12	3,98E+04	-3,34E+04	ns
C. carinatus	agosto 12	3,09E+04	-1,16E+05	**
	septiembre 12	3,00E+04	-1,23E+04	ns
C. carinatus (n)	agosto 12	4,52E+05	-2,14E+05	ns
	septiembre 12	2,75E+04	-3,58E+04	ns
E. acutifrons	febrero 12	6,92E+06	-1,32E+07	**
	agosto 12	2,17E+05	-2,24E+05	ns
	septiembre 12	7,86E+05	-2,14E+06	ns
	febrero 13	3,73E+07	-1,96E+08	ns
B. glandula	agosto 12	1,52E+06	-2,74E+06	ns
	septiembre 12	1,10E+06	-8,69E+05	ns
C. gigas	febrero 12	1,39E+05	0,00E+00	ns
	febrero 13	8,39E+04	-3,30E+05	ns
Longipedia sp,	febrero 12	2,23E+05	-3,63E+04	ns
	febrero 13	5,48E+04	-4,78E+05	ns

Tabla 5.3. Tasa instantánea de transporte para los distintos taxa del mesozooplancton, calculada para toda la sección del canal en el estuario medio (sitio 2). El valor de p corresponde a la comparación entre la tasa instantánea de creciente y de bajante. ns= no significativo,(**)= significativo.

5.3.2.2 *Transporte residual*

El transporte residual del mesozooplancton total ocurrió generalmente hacia el exterior del estuario aunque en ocasiones se observó transporte hacia el interior de éste, principalmente por el veril sur del canal (fig 5.7 y 5.8). La variación del transporte de adultos y copepoditos de *A. tonsa* en la sección del canal, fue similar a la del mesozooplancton total. En febrero de 2012, el transporte de las nauplius de *A. tonsa*, fue hacia el interior del estuario en el estrato superficial de los veriles del canal, mientras que en el resto de la sección fue hacia el exterior del estuario. En agosto, se observó una distribución parecida con transporte hacia el interior del estuario en el estrato superficial del veril sur y en el profundo del centro del canal (ver fig 5.7).

El transporte de adultos y copepoditos de *E. americana* fue principalmente hacia el exterior del estuario en agosto y hacia el interior del estuario en septiembre, principalmente en el veril sur. Las nauplii de *E. americana* en la sección del canal tuvieron un transporte hacia el interior del estuario en el estrato superficial de los veriles del canal y también en el estrato profundo del centro del canal. El transporte de éstas siguió una tendencia similar a la de los adultos y copepoditos principalmente en septiembre. El transporte de adultos y copepoditos de *E. acutifrons* fue generalmente hacia el exterior del estuario, excepto en agosto cuando hubo transporte hacia el interior a través de los veriles del canal (fig 5.7 y 5.8).

Los adultos y copepoditos de *L. fluviatilis*, tuvieron un transporte aproximadamente opuesto en febrero de 2012 y febrero de 2013. Éste fue principalmente a través del estrato profundo del centro del canal pero con sentidos opuestos en los dos meses (fig 5.9). El transporte de larvas nauplius de esta especie siguió una tendencia similar a la de los adultos. La variación del transporte de adultos y copepoditos de *C. carinatus* en la sección del canal fue diferente en los meses de agosto y septiembre. En agosto, éstos fueron transportados hacia el exterior del estuario en toda la sección del canal, con valores más altos en el estrato profundo del centro del canal, pero en septiembre el transporte fue principalmente hacia el interior del estuario en casi toda la sección. El transporte de las nauplius de esta especie fue aproximadamente opuesto al de los adultos y copepoditos. Con respecto al meroplancton, las larvas de *C. gigas* fueron transportadas hacia el interior del estuario a través del estrato superficial, del centro del canal en febrero de 2012 y del veril norte en febrero de 2013. Las larvas nauplius de *B. glandula*, en agosto, fueron transportadas hacia el interior del estuario a través del veril norte pero con valores muy bajos. En septiembre lo hicieron hacia el interior del estuario a través del estrato superficial del veril sur y del profundo del centro del canal. Las nauplius de *Longipedia* sp, fueron transportadas hacia el interior del estuario principalmente por los veriles del canal y hacia el exterior por el centro del canal.

El MPS fue generalmente transportado hacia el interior del estuario a través del veril sur y hacia el exterior en el resto de la sección del canal. En febrero de 2013 ocurrió algo similar, el transporte fue principalmente hacia el interior del estuario a través del veril sur pero también hubo transporte hacia el interior del estuario en otras partes de la sección del canal con menores valores (fig 5.11).

Solo algunos pocos taxa tuvieron un transporte similar al del MPS. Ellos fueron las nauplius de *E. americana* en agosto de 2012 y el meso total, los adultos y copepoditos de *A. tonsa*, y las nauplius de *C. carinatus* en septiembre de 2012.

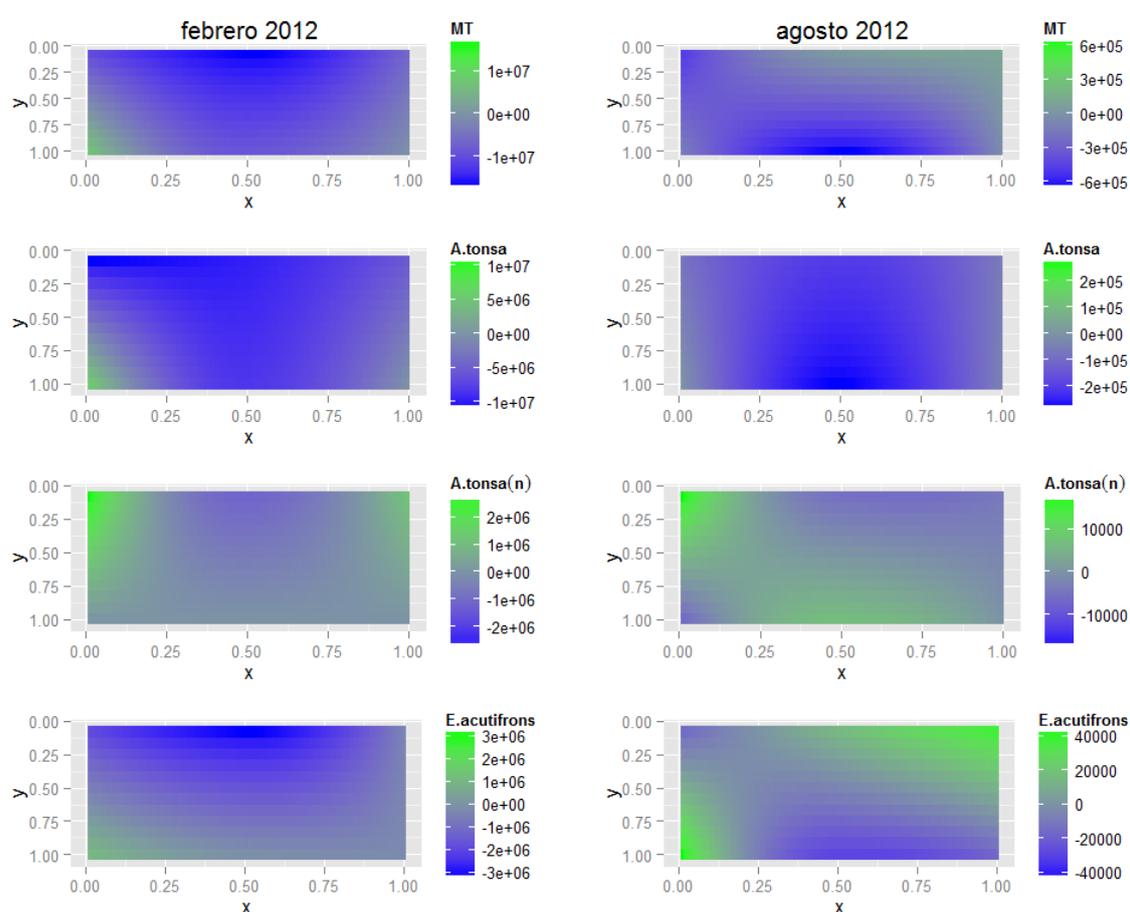


Fig 5.7. Transporte residual (Tr) de los organismos (ind m^{-2}) sobre la sección transversal del canal. El signo negativo (color azul) indica individuos exportados, mientras que el signo positivo (color verde) indica individuos que ingresan al estuario. Los ejes X e Y representan esquemáticamente el ancho y la profundidad del canal.

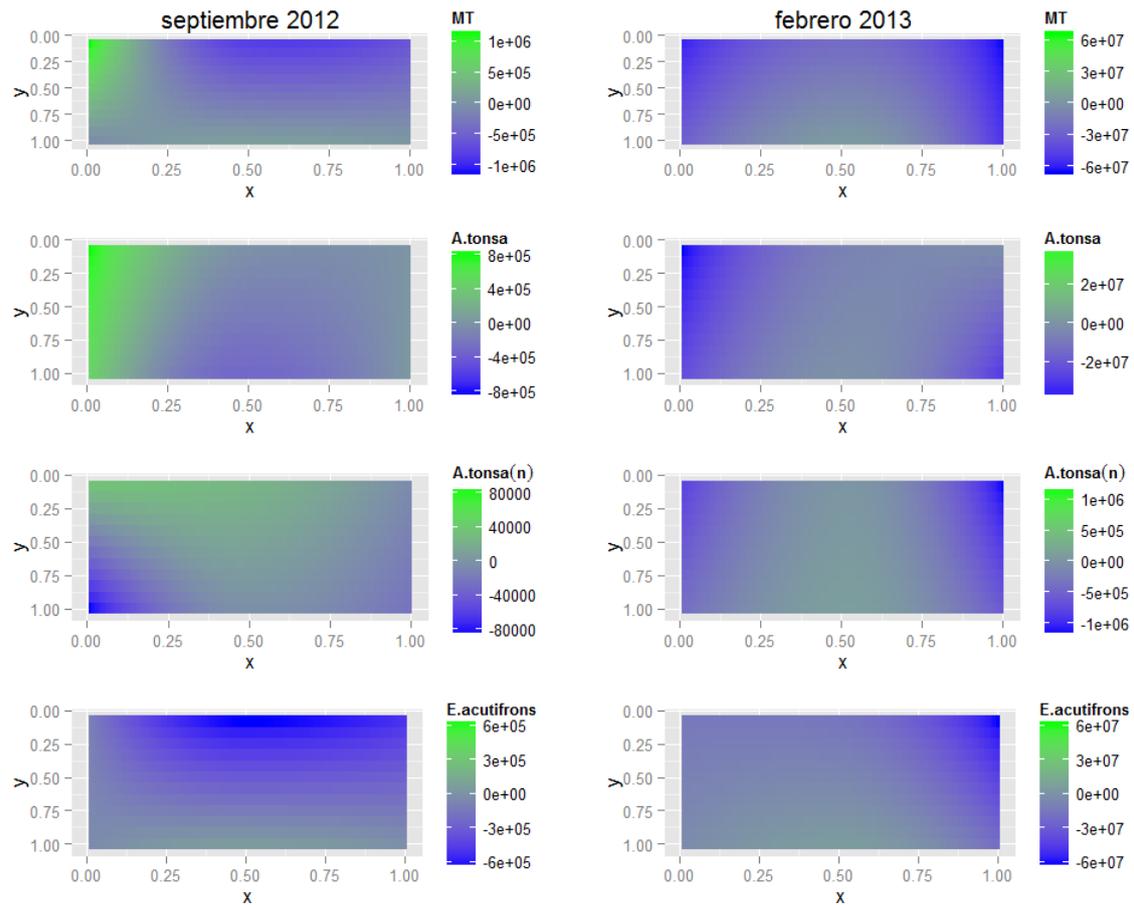


Fig 5.8. Transporte residual (Tr) de los organismos (ind m^{-2}) sobre la sección transversal del canal. El signo negativo (color azul) indica individuos exportados, mientras que el signo positivo (color verde) indica individuos que ingresan al estuario. Los ejes X e Y representan esquemáticamente el ancho y la profundidad del canal.

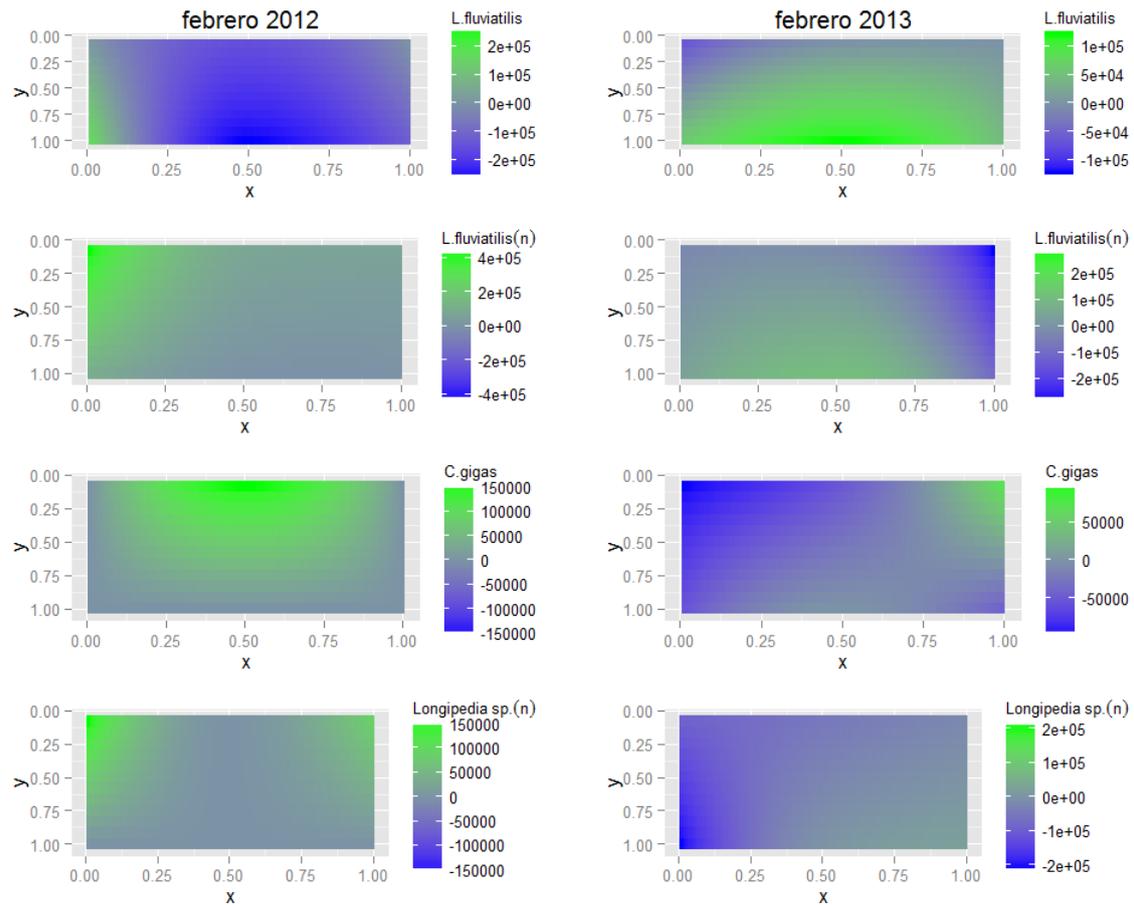


Fig 5.9. Transporte residual (Tr) de los organismos (ind m⁻²) sobre la sección transversal del canal. El signo negativo (color azul) indica individuos exportados, mientras que el signo positivo (color verde) indica individuos que ingresan al estuario. Los ejes X e Y representan esquemáticamente el ancho y la profundidad del canal.

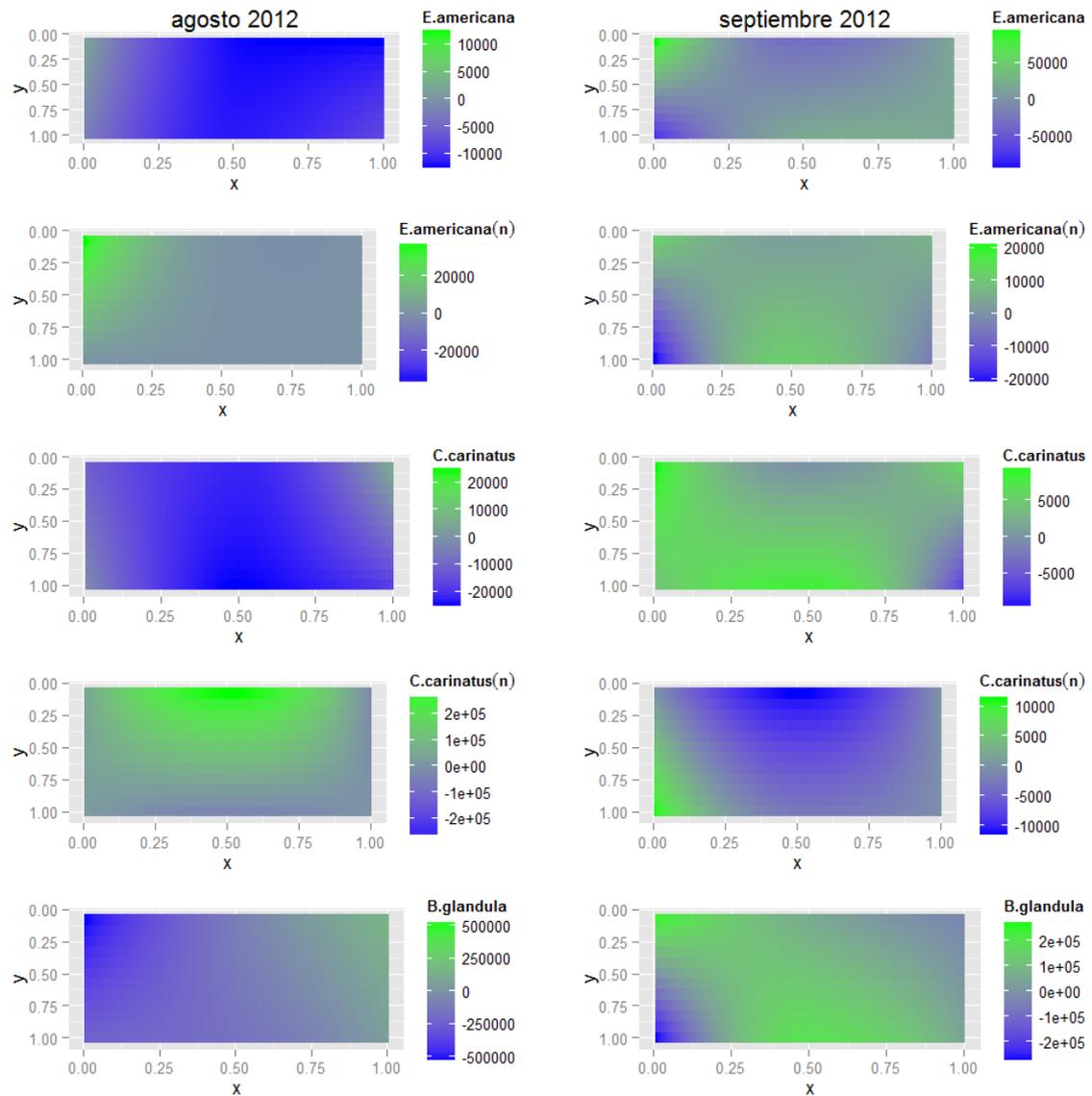


Fig 5.10. Transporte residual (Tr) de los organismos (ind m⁻²) sobre la sección transversal del canal. El signo negativo (color azul) indica individuos exportados, mientras que el signo positivo (color verde) indica individuos que ingresan al estuario. Los ejes X e Y representan esquemáticamente el ancho y la profundidad del canal.

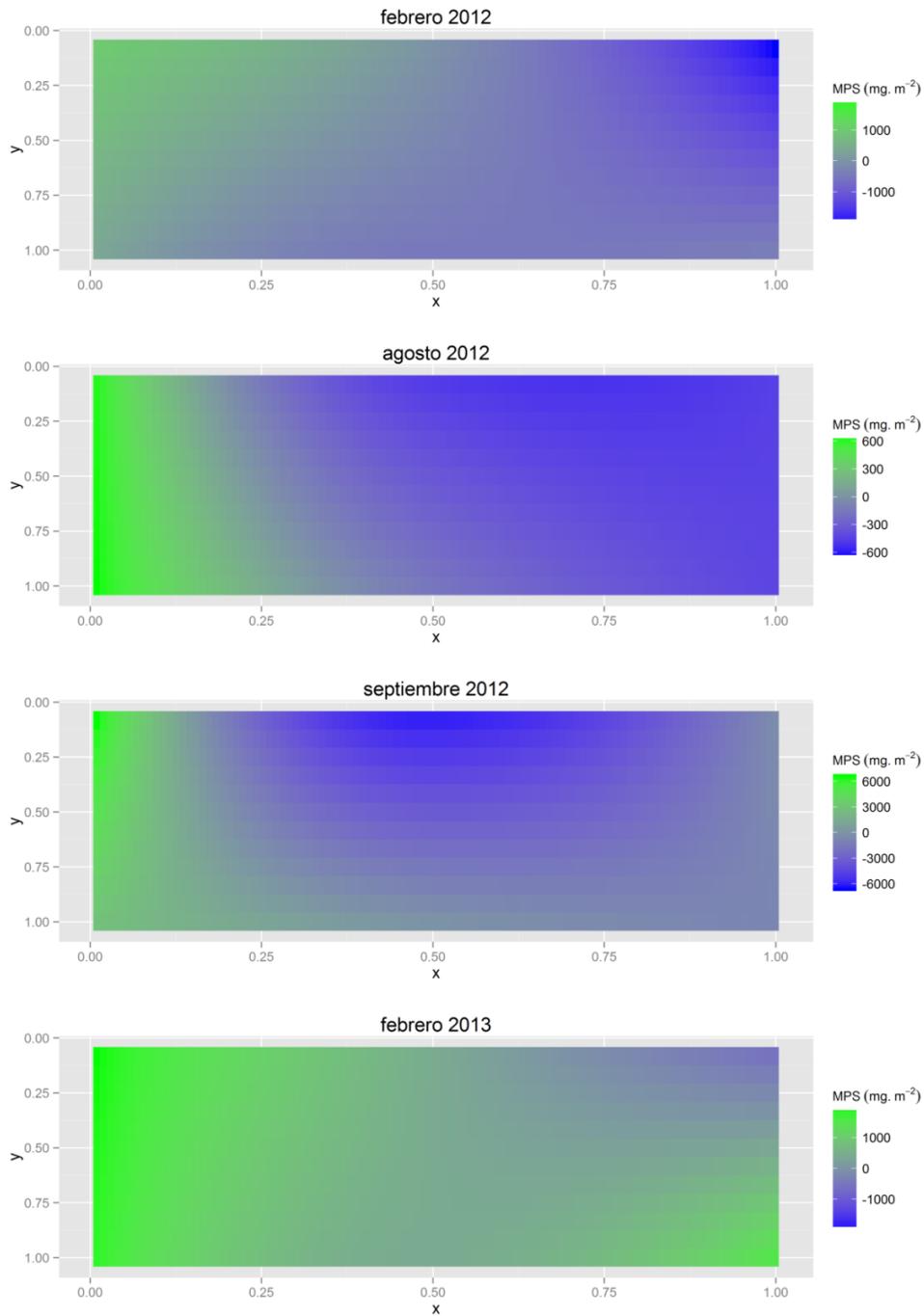


Fig 5.11. Transporte residual (Tr) del MPS ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) sobre la sección transversal del canal. El signo negativo (color azul) indica individuos exportados, mientras que el signo positivo (color verde) indica individuos que ingresan al estuario. Los ejes X e Y representan esquemáticamente el ancho y la profundidad del canal.

5.3.2.3 Transporte neto

En el estuario medio (sitio 2), el MPS tuvo un transporte neto hacia el interior del estuario excepto en febrero de 2012, este comportamiento es opuesto al observado en el sitio 1 donde en general, el MPS fue exportado (tabla 5.4). El transporte neto del mesozooplancton total fue siempre hacia el exterior del estuario y los adultos y copepoditos de *A. tonsa* siguieron la misma tendencia que el mesozooplancton total excepto en septiembre. El transporte neto de las nauplii de esta especie tuvo generalmente el sentido opuesto al de los adultos y copepoditos, fueron exportadas en septiembre de 2012 y febrero de 2013 pero importadas en febrero y agosto de 2012. Este transporte neto con sentido opuesto entre las nauplii y los adultos y copepoditos también fue observado para los copépodos calanoideos *L. fluviatilis*, *C. carinatus* y también *E. americana* (tabla 5.4). Los adultos y copepoditos de esta última especie fueron exportados en agosto pero importados en septiembre mientras que las nauplii fueron importadas en los dos meses. Con respecto a *P. parvus*, éste fue exportado en agosto pero importado en septiembre de 2012 y febrero de 2013 (tabla 5.4). El copépodo harpacticoideo *E. acutifrons* en general, siguió la tendencia del mesozooplancton total y fue exportado en todos los meses estudiados excepto en agosto.

Con respecto a las larvas meroplanctónicas, éstas tuvieron un transporte neto diferente y de sentido opuesto en los meses de febrero de 2012 y febrero de 2013. Tanto las larvas veliger de *C. gigas* como las nauplius de *Longipedia* sp fueron exportadas en febrero de 2013 pero importadas en febrero de 2012. Las nauplius del cirripedio *B. glandula* fueron exportadas en agosto pero importadas en septiembre.

	mes	Transporte neto
MPS	febrero 12	-3,09E+06
	agosto 12	1,12E+05
	septiembre 12	1,01E+06
	febrero 13	2,70E+06
mesozooplancton total	febrero 12	-4,72E+10
	agosto 12	-5,30E+08
	septiembre 12	-2,30E+08
	febrero 13	-1,33E+11
A. tonsa	febrero 12	-3,78E+10
	agosto 12	-3,58E+08
	septiembre 12	5,42E+08
	febrero 13	-6,13E+10
A.tonsa (n)	febrero 12	1,52E+09
	agosto 12	5,78E+06
	septiembre 12	-3,50E+07
	febrero 13	-1,60E+09
L. fluviatilis	febrero 12	-4,12E+08
	febrero 13	8,34E+07
L. fluviatilis (n)	febrero 12	4,12E+08
	febrero 13	-1,71E+08
P. parvus	agosto 12	-1,82E+08
	septiembre 12	3,95E+06
	febrero 13	6,94E+07
E. americana	agosto 12	-2,45E+07
	septiembre 12	1,70E+07
E. americana (n)	agosto 12	2,27E+07
	septiembre 12	2,41E+06
C. carinatus	agosto 12	-3,87E+07
	septiembre 12	1,18E+07
C. carinatus (n)	agosto 12	1,96E+08
	septiembre 12	-2,47E+06
E. acutifrons	febrero 12	-5,58E+09
	agosto 12	2,78E+07
	septiembre 12	-7,42E+08
	febrero 13	-6,70E+10
B. glandula	agosto 12	-3,87E+08
	septiembre 12	1,06E+08
C. gigas	febrero 12	1,11E+08
	febrero 13	-1,04E+08
Longipedia sp.	febrero 12	1,76E+08
	febrero 13	-2,00E+08

Tabla 5.4. Transporte neto (Tn) (individuos para los taxones y mg para el MPS) en el sitio 2 (estuario medio) en toda la sección transversal al canal, después de transcurrido un ciclo de marea. El signo negativo indica individuos exportados.

5.4 DISCUSIÓN

En un análisis de transporte de sedimentos en estuarios, la tasa instantánea de transporte y la velocidad de la corriente son relacionadas por una expresión cúbica (Van Rijn 1984). De esto se deduce que en general el transporte de sedimentos va a tener el sentido de la máxima velocidad (Davies Jr y Dalrymple 2012). Esto no podría ser aplicado hoy en día al plancton ya que no se conoce aún una relación entre el plancton y la velocidad de la corriente como ocurre con el sedimento y por otro lado, se sabe que el plancton no se comporta pasivamente como una partícula de sedimento. El comportamiento del plancton permite modificar las tasas instantáneas de transporte a lo largo del ciclo de marea permitiéndoles retenerse o exportarse del estuario. Debido a esto el análisis de las corrientes de marea por sí solo no es suficiente para analizar el transporte de zooplancton como podría serlo para el sedimento.

Se han realizado trabajos sobre el transporte de zooplancton (Schwamborn *et al.* 2008, Melo Jr *et al.* 2007) que analizan la retención o exportación de organismos mediante el análisis de las tasas instantáneas de transporte. Con respecto a esto, el análisis de la retención o exportación de organismos en un estuario tampoco debería realizarse solo con las tasas instantáneas de transporte. Una tasa instantánea de transporte indica por ejemplo cuantos individuos se transportan por segundo en una determinada sección del canal, pero a lo largo del ciclo de marea esa tasa no es constante sino que varía dependiendo de la variación de la velocidad de la corriente y de la abundancia de los organismos. La cantidad de organismos que se transportaron en un ciclo de marea en esa sección es la integral o el área bajo la curva de la gráfica que forma la tasa instantánea versus el tiempo que dura el ciclo de marea (Dittel *et al.* 1991). Dependiendo de la forma de la gráfica el transporte residual, será hacia el interior del estuario si el área de la gráfica que corresponde al hemiciclo de creciente es mayor que el área del hemiciclo de bajante y será hacia el exterior si ocurre lo contrario. Sin embargo como la marea es asimétrica en el tiempo, el área mayor no necesariamente será la que se corresponda con la máxima tasa instantánea de transporte, sino que podría ocurrir lo contrario.

Los procesos analizados, asociados al transporte de zooplancton son dependientes de las características de circulación del lugar la cual es en gran medida dependiente de la geomorfología. La onda de marea propagándose a lo largo del canal con los bordes y el fondo del mismo implican que la onda sea asimétrica con condiciones de flujo y reflujos de diferente intensidad y duración. Sumado a esto, la variación de la concentración de sedimentos o de plancton a lo largo del ciclo hace que la variación de la tasa instantánea de transporte no sea una sinusoidal perfecta sino que será asimétrica. Ello necesariamente implica que el promedio

de la tasa de transporte de sedimento o plancton en un ciclo de marea sea distinto de cero produciendo un flujo residual que puede ser hacia el interior o hacia el exterior del estuario (Perillo y Piccolo 2013). En un mismo estuario, inclusive en una misma sección transversal o en la misma columna de agua, pueden encontrarse flujos residuales invertidos lo que demuestra el grado de complejidad que puede alcanzar aún el estuario más simple. Superpuesta a la interacción con la geomorfología, otros factores que inducen un flujo residual son la descarga de agua dulce proveniente del drenaje terrestre y los vientos (Perillo 1995). Dependiendo de las características ambientales del momento de las mediciones los resultados serán de un flujo en una dirección, pero una variación no muy grande en las características mencionadas puede dar el resultado opuesto.

Los resultados del presente trabajo muestran que la zona interna y media del estuario tienen una dinámica diferente, lo cual genera un transporte de MPS diferente en ambos sitios. En la zona interna la circulación estuvo determinada por el dominio de las corrientes de bajante en toda la sección del canal y el transporte del MPS respondió en general, a este comportamiento, siendo exportado de esa zona del estuario (fig. 5.6, tabla 5.2). En cambio, la zona media tuvo una circulación dominada por las corrientes de bajante en casi toda la sección del canal, excepto en el veril sur. El MPS también respondió a este comportamiento y el balance del transporte de MPS en toda la sección del canal generó un transporte neto (T_n) hacia el interior del estuario en la mayoría de los meses (fig 5.11, tabla 5.4). La zona interna tiene una dinámica que favorece la exportación del MPS y la zona media tiene una dinámica que favorece la importación de éste. Sin embargo, el mesozooplancton total tuvo un comportamiento opuesto al del MPS reteniéndose en la zona interna y exportándose en la zona media.

El transporte neto (T_n) del MPS en la zona media se explicaría teniendo en cuenta que tiene un flujo residual hacia el interior del estuario en el veril sur (fig 5.11) porque la concentración del MPS es mayor en este veril que en el resto del canal debido a la extensa planicie de marea que hay en esa zona. La alta concentración de MPS en este veril del canal, con velocidades residuales de dirección hacia el interior del estuario (ver velocidad residual en figura 2.13 del capítulo 2) influye fuertemente en la determinación del transporte neto (T_n) que resulta hacia el interior del estuario. En cambio cuando se analiza el transporte de los organismos en esa zona, en algunos casos estos también se importan por el veril sur y se exportan por el resto del canal, pero a diferencia del MPS no hay una diferencia marcada entre la abundancia del veril sur y el resto de canal. Por consiguiente el transporte neto de los organismos en la zona media termina siendo, a diferencia del transporte de MPS, hacia el exterior del estuario.

Las diferencias (en magnitud y sentido) entre el transporte del MPS y el mesozooplancton halladas en el presente trabajo corroboran lo que ya se conoce sobre la influencia del comportamiento biológico en el transporte de los organismos planctónicos. Estos organismos no se comportan como partículas pasivas y tienen distintos tipos de comportamientos activos (Mauchline 1998) que actúan en conjunto con los procesos físicos determinando la magnitud y sentido del transporte. El movimiento biológico que ha sido sugerido como un factor importante en el transporte de plancton (Morgan 1995, Kennedy 1996), consiste en el movimiento en la dirección vertical influenciado por el tamaño, la densidad, y el comportamiento, incluyendo hundimiento y natación (Kim *et al.* 2010). La distribución vertical de los organismos generada por una combinación de transporte físico y movimiento biológico ha sido propuesta como explicación de los patrones de distribución del zooplancton en varios estuarios (Wood y Hargis 1971, Gibson *et al.* 2001, Kimmerer y Mc Kinnon 1987, Hough y Naylor 1991, Morgan *et al.* 1997, Shang *et al.* 2007, Ueda *et al.* 2010).

Desde un punto de vista evolutivo, el carácter predecible de las corrientes de marea significa que representan una parte muy estable del entorno físico, lo cual puede permitir la adaptación de las estrategias de comportamiento de los organismos planctónicos que conllevan una ventaja selectiva (Hill 1991). El meroplancton debería estar más adaptado quizás que el holoplancton, a la dinámica de las mareas de las regiones costeras, ya que deben aprovechar estos forzantes para cumplir con éxito su función de dispersarse a nuevas áreas de asentamiento. Sin embargo, algunos taxones holoplanctónicos, tales como los copépodos del género *Acartia*, se ha demostrado que utilizan eficientemente la migración vertical aprovechando las corrientes con el fin de mantener su posición horizontal en áreas restringidas como los estuarios, donde el alimento es óptimo, hay mayor posibilidad de encuentros y la mortalidad es reducida (Kimmerer y Mc Kinnon 1987).

En su síntesis de los modelos de transporte de larvas de invertebrados, Epifanio (1988) describe tres modelos conceptuales de dispersión y reclutamiento de larvas de invertebrados estuarinos. Este autor sostiene que hay tres respuestas generales al problema de la retención de las larvas en los estuarios. En el primer caso, las larvas de estadios tempranos de desarrollo mantienen una posición alta en la columna de agua y los estadios posteriores se hunden a profundidades mayores, más cercanas a sitios de fijación. Este mecanismo les permite la dispersión de los estadios tempranos que son transportados hacia el océano costero incluyendo el transporte potencial hacia otros estuarios cercanos. En cambio, los estadios larvarios más avanzados son arrastrados estuario arriba por las corrientes de fondo y retenidos de manera efectiva en el

estuario. Un ejemplo de este fenómeno ha sido reportado para las larvas de la ostra *Crassostrea virginica* (Wood y Hargis 1971). El segundo mecanismo es descrito para las especies que migran verticalmente en la columna de agua al ritmo de los ciclos de marea. Las larvas se mueven en la columna de agua hacia la superficie durante la creciente y hacia abajo durante la bajante. Este comportamiento permite a las larvas maximizar el transporte aguas arriba y por lo tanto su retención en los estuarios. El tercer modelo es ejemplificado por las especies que no retienen sus larvas en el estuario.

En el presente estudio, los adultos y copepoditos de *A. tonsa*, en la zona interna fueron exportados en verano pero importados en invierno. El análisis de la distribución vertical de *A. tonsa* en relación a los estados de marea (Capítulo 4) mostró que en los meses de verano, la abundancia durante la bajante fue mayor en fondo y durante la creciente fue mayor en superficie, principalmente en febrero (fig 4.2 del Capítulo 4). Esta distribución se asemeja a la mencionada para el mecanismo STST (Selective tidal stream transport) (Forward y Tankersley 2001, Kimmerer y McKinnon 1987, Hough y Naylor 1991, Morgan *et al.* 1997, Shang *et al.* 2007, Ueda *et al.* 2010, Cronin y Forward 1979, Kimmerer *et al.* 1998) que permite a los organismos retenerse en los estuarios eligiendo de manera selectiva los estratos de la columna de agua donde las velocidades de reflujos son menores. Sin embargo en el verano los adultos y copepoditos de *A. tonsa* fueron exportados de la zona interna del estuario, esto fue debido a que la abundancia en bajante fue mayor que en creciente. En cambio en el mes de agosto cuando estos copépodos fueron importados la abundancia fue mayor en creciente que en bajante y eso generó un transporte neto (Tn) hacia el interior del estuario.

En la zona interna del estuario, las nauplius de *A. tonsa*, en general, tuvieron un transporte neto del mismo sentido que los adultos (excepto en el mes de febrero). Sin embargo, en el capítulo 4 se comentó que tuvieron una distribución vertical diferente a la de los adultos, siendo más abundantes en superficie. Esta distribución generó un transporte residual diferente al de los adultos como se puede ver en la figura 5.2, pero el transporte neto de las nauplii de *A. tonsa* (en toda la sección) fue de exportación en enero y de retención en agosto al igual que los adultos y copepoditos (tabla 5.2). La retención de las nauplii de *A. tonsa* en el mes de agosto, observada a través del cálculo del transporte neto, fue debida a la mayor abundancia de estas larvas durante la creciente como se puede ver en la figura 4.3 del Capítulo 4.

Los adultos de *E. americana*, fueron importados en la zona interna y tuvieron una abundancia mayor en creciente que en bajante (al igual que *A. tonsa* en agosto), siendo mayor en fondo que en superficie durante todo el ciclo de marea (figura 3.13 del Capítulo 4). Esto no coincide con lo

expuesto acerca de los mecanismos mencionados en la literatura sobre retención en estuarios (STST y migración ontogenética) pero explica que hayan sido importados en la zona interna, a pesar de que la circulación estuvo dominada por la bajante y el MPS fue exportado. El reservorio de huevos de diapausa de este copépodo existe aparentemente, en la zona interna del estuario debido a la menor energía reinante (Berasategui *et al.* 2009), por lo cual es comprensible encontrar una mayor vinculación de la población de esta especie con esa zona, y por lo tanto, quedando su área de distribución restringida a la misma (Hoffmeyer com. personal). En la zona media, para el mes de agosto, los adultos y copepoditos de *E. americana* fueron exportados, sin embargo la abundancia de los mismos fue muy baja (menos de 3 ind.m⁻³) y fue mayor en fondo (tabla 4.2 y figura 4.22 del Capítulo 4). Esto último, sumado a que en el mes siguiente los adultos y copepoditos de *E. americana* fueron importados, lleva a suponer que en agosto, en la zona media, podría haber habido algún mecanismo de retención que no pudo ser observado. Las nauplius de *E. americana* en la zona interna, también fueron más abundantes en creciente que en bajante (figura 4.14 del Capítulo 4) y el transporte neto fue hacia el interior del estuario. En la zona media, el transporte neto de estas nauplii también fue hacia el interior del estuario y en este caso se puede ver en agosto mayor abundancia en creciente que en bajante.

El transporte de larvas de *C. gigas* fue poco claro, en la zona interna, estas larvas fueron importadas en enero y exportadas en febrero, al igual que el MPS. Sin embargo, en la zona media, el transporte neto fue exactamente opuesto al del MPS (tabla 5.4). Si analizamos el transporte residual en la sección del canal en la zona interna, sin embargo también se encontraron algunas diferencias con el transporte del MPS. Por ejemplo en febrero de 2012, en la zona interna, las larvas tuvieron un transporte residual hacia el interior del estuario en los veriles del canal mientras que el MPS fue transportado hacia el exterior del estuario en toda la sección. Aunque el transporte neto no llegó a ser hacia el interior del estuario en este mes en la zona interna, se puede suponer que hay algún tipo de comportamiento biológico asociado al transporte de las larvas. En los estuarios de Nueva Jersey y la Isla Prince Edward, Canadá, se observaron distribuciones verticales diferenciales de las larvas de ostras en relación con los estados de marea y la estratificación (Carriker 1951, Kennedy 1996). Esto también fue observado por (Garrison y Morgan 1999) para otras especies de Bivalvos, ellos encontraron que las post-larvas de *Macoma* spp. (Bivalvia) ejercen control conductual sobre su abundancia en la columna de agua y emplean, un transporte selectivo de la corriente de creciente para promover el movimiento estuario arriba. En los estuarios de Nueva Jersey (Carriker 1951) y James River (Andrews 1983) se observó una migración ontogenética como la explicada por Bousfield (1955) y Epifanio (1988). Estos resultados sugieren que el movimiento biológico puede jugar un papel

importante en el posicionamiento vertical y el transporte subsiguiente de aguas arriba de los estadios larvales más avanzados. En el presente estudio las larvas no fueron diferenciadas por estadios de desarrollo, esto podría ser uno de los factores por los cuales no fue observado un patrón claro de transporte de larvas de esta especie. Esto también podría ser debido a que la especie está en un período inicial de invasión y los bancos de ostras que constituyen la fuente de larvas tienen una ubicación variable ya que se forman nuevos bancos y otros no sobreviven.

Las nauplius de *B. glandula* en la zona interna, tuvieron un transporte neto hacia el interior del estuario. En el centro del canal, la abundancia fue mayor durante la creciente que durante la bajante y en los dos estados de marea la abundancia fue mayor en fondo (ver fig. 4.4 en el Capítulo 4). En este caso, no se observa el típico patrón de STST en el cual la abundancia en creciente es mayor en superficie que en fondo. Resultados similares fueron encontrados por Morgan *et al.* (2014) quienes estudiando un estuario de bajo aporte encontraron que *Balanus* spp tenía preferencias de profundidad pero no se correspondían con el mecanismo de "STST". En el presente trabajo, al igual que para los copépodos *A. tonsa* y *E. americana*, para *B. glandula* el aumento de la abundancia durante la creciente (en el centro del canal) produjo un flujo residual de estos organismos hacia al interior del estuario.

En el Capítulo 4, la distribución vertical de los organismos fue relacionada con los estados de marea y fue evaluada en relación a las posibilidades de retención o exportación de los organismos, de acuerdo a mecanismos reportados en la literatura. Sin embargo los datos fueron reforzados en el Capítulo 5 con el cálculo del transporte neto. Esto mostró el resultado final de esos patrones de distribución hallados luego de completado el ciclo de marea, y en algunos casos no fue el esperado. Lo anterior demuestra la importancia del cálculo del transporte neto para realizar un análisis sobre la retención o exportación de los organismos en estuarios y que no es suficiente analizar sólo la distribución vertical de los organismos en distintos estados de marea. En la zona interna del estuario, Garibotti (2012) encontró que los copépodos *A. tonsa*, *P. parvus*, *L. fluviatilis* y *E. acutifrons*, permanecen en el fondo la mayor parte del tiempo donde las velocidades de corrientes son menores, y concluye que mediante ese mecanismo mantienen su residencia en el estuario. Sin embargo, bajo esas condiciones también se podría considerar la posibilidad de que el transporte neto (transporte residual en toda la sección del canal) sea hacia el exterior del estuario y de esa manera los organismos no serían retenidos. El presente trabajo constituye una contribución al conocimiento de la dinámica de los organismos en el estuario de Bahía Blanca, pero también es el primer intento de calcular el transporte de los organismos más representativos del mesozooplankton del estuario. Por lo tanto es necesario continuar con esta

clase de estudios sobre distribución de los organismos y transporte, calculando los flujos con mayor resolución y durante la mayor cantidad de ciclos de marea posibles para determinar el comportamiento del estuario y de los organismos en relación a los procesos de transporte.

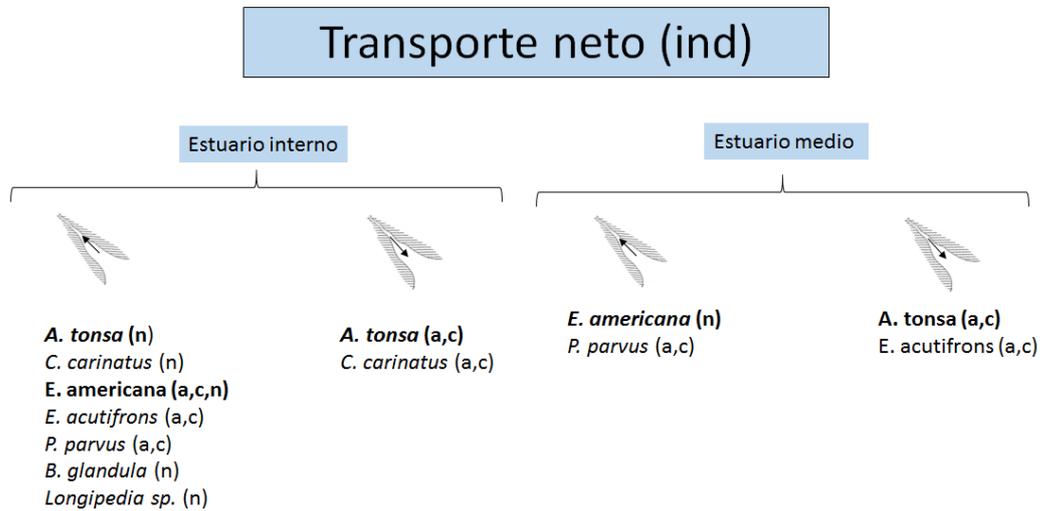


Fig. 5.12. Esquema del transporte neto de algunos de los organismos más importantes del mesozooplancton en el estuario interno y medio.

5.5 CONCLUSIONES

El transporte de individuos de las especies más representativas del mesozooplancton, de la zona interna y media del estuario de Bahía Blanca, fue cuantificado y analizado.

El transporte residual de los organismos fue variable en la sección del canal, principalmente en la zona media donde se observó una circulación diferente entre el veril sur y el resto del canal. En la zona interna, en cambio, fueron observadas mayores diferencias entre estratos, los cuales tuvieron en muchos casos flujos de organismos invertidos.

El transporte de los organismos estuvo influenciado tanto por factores físicos como biológicos. Las diferencias entre los patrones de transporte de MPS y organismos sugieren algún tipo de comportamiento por parte de estos últimos que determina el transporte horizontal. Este tipo de comportamiento es característico de cada grupo ya que los taxones analizados presentaron diferentes patrones de transporte.

El mesozooplancton total fue importado en la zona interna y exportado en la zona media. Sin embargo este transporte no fue solo producto de la circulación residual y fue opuesto al del MPS.

El transporte neto de los organismos estudiados en la zona interna del estuario, pareció depender principalmente de las diferencias de abundancia entre estados de marea más que de la distribución vertical. Tanto los copépodos calanoideos como las larvas de *B. glandula*, fueron retenidas en el estuario luego de un ciclo de marea, porque su abundancia fue mayor en creciente que en bajante y no debido a su distribución vertical (ver figuras 4.3 a 4.11 del capítulo 4).

Para los copépodos calanoideos en general se hallaron diferencias en el transporte residual de los distintos estadios de desarrollo (adultos-copepoditos y nauplii) lo cual sugiere que el tamaño, flotabilidad y capacidad de natación influye en el transporte residual.

Como conclusiones se puede decir en base al transporte neto, que los taxa que se retuvieron en la zona interna, en un ciclo de marea, fueron *A. tonsa* (nauplii), *C. carinatus* (nauplii), *E. americana* (adultos, copepoditos y nauplii), *E. acutifrons* (adultos y copepoditos), *P. parvus* (adultos y copepoditos), *B. glandula* (nauplii), *Longipedia sp.* (nauplii). Los que se retuvieron en la zona media fueron *E. americana* (nauplii) y *P. parvus* (adultos y copepoditos). Los que se exportaron de la zona interna fueron *C. carinatus* (adultos y copepoditos) y *A. tonsa* (adultos y copepoditos). Los que se exportaron de la zona media fueron *A. tonsa* (adultos y copepoditos) y *E. acutifrons* (adultos y copepoditos).

5.6 REFERENCIAS

- Andrews JD. 1983. Transport of bivalve larvae in James River, Virginia. *J Shellfish Res* 3:29–40.
- Aubrey, D. G., & Speer, P. E. (1985). A study of non-linear tidal propagation in shallow inlet/estuarine systems Part I: Observations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 21(2), 185-205.
- Brown, J. M., & Davies, A. G. (2010). Flood/ebb tidal asymmetry in a shallow sandy estuary and the impact on net sand transport. *Geomorphology*, 114(3), 431-439.
- Cowen, R. K., Gawarkiewicz, G. G., Pineda, J., Thorrold, S. R., & Werner, F. E. (2007). Population connectivity in marine systems: an overview.
- Cronin, T. W., & FORWARD, R. B. (1979). Tidal vertical migration: an endogenous rhythm in estuarine crab larvae. *Science*, 205(4410), 1020-1022.
- De Wolf, P. 1973. Ecological observations on the mechanisms of dispersal of barnacle larvae during planktonic life and settling. *Neth.J. Sea Res.* 6:1–129.
- Dronkers, J. (1986). Tidal asymmetry and estuarine morphology. *Neth. J. Sea Res.*, 20, 117–31. ISSN: 0077-7579.
- Epifanio, C. E. 1988. Transport of crab larvae between estuaries and the continental shelf. *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*. 22, 291–305
- Forward, R.B., and R.A. Tankersley. 2001. Selective tidal-stream transport of marine animals. *Annual Review of Oceanography and Marine Biology* 39: 305–353.
- Garibotti E. 2012. Distribución vertical y dinámica temporal del mesozooplankton, en relación a variables fisicoquímicas, en el estuario de Bahía Blanca. Tesis doctoral, UNS. Bahía Blanca.
- Garrison, L. P., & Morgan, J. A. (1999). Abundance and vertical distribution of drifting, post-larval *Macoma* spp. (Bivalvia: Tellinidae) in the York River, Virginia, USA. *Marine ecology. Progress series*, 182, 175-185.
- Gianesella, S. M. F., Saldanha-Corrêa, F. M. P., Miranda, L. B. D., Corrêa, M. A., & Moser, G. A. O. (2005). Short-term variability and transport of nutrients and Chlorophyll-a in Bertioga Channel, São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 53(3-4), 99-114.
- Hill, A.E. 1991. Vertical migration in tidal currents. *Marine Ecology Progress Series*. 75: 39–54.
- Kennedy, V. S. (1996), *Biology of larvae and spat*, in *The Eastern Oyster: Crassostrea virginica*, edited by V. S. Kennedy, R. I. E. Newell and A. F. Eble, pp. 371–421, Maryland Sea Grant College, College Park.
- Kim, C. K., Park, K., Powers, S. P., Graham, W. M., & Bayha, K. M. (2010). Oyster larval transport in coastal Alabama: Dominance of physical transport over biological behavior in a shallow estuary. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*, 115(C10).
- Kimmerer, W. J.; Burau, J. R.; Bennett, W. A. Tidally oriented vertical migration and position maintenance of zooplankton in a temperate estuary. *Limnol. Oceanogr.*, v. 43, n. 7, p. 1697-1709, 1998.
- Kjerfve, B., 1989. Estuarine geomorphology and physical oceanography. In *Estuarine Ecology*, edited by J. Day, C. Hall, M. Kemp and A. Yanezz-Arancibia, Wiley, New York, pp. 47-78.
- Korringa, P. (1952), Recent advances in oyster biology, *Q. Rev. Biol.*, 27(3), 266–308.
- Lanzoni, S. & Seminara, G. 2002. Long-term evolution and morphodynamic equilibrium of tidal channels. *J. Geophys. Res.*, 107 (C1), 3001, 1-13. ISSN 0148-0227.
- Levin, L. A., and T. Bridges. 1995. Pattern and diversity in reproduction and development, p. 1–48. In L. McEdward (ed.), *Ecology of marine invertebrate larvae*. CRC
- McConaugh, J. R. 1992. Decapod larvae: Dispersal, mortality, and ecology. *A working hypothesis*. *Am. Zool.* 32:512–523
- Menéndez, M. C.; Piccolo, M. C.; Hoffmeyer, M. S. Short-term variability on mesozooplankton community in a shallow mixed estuary (Bahía Blanca, Argentina): Influence of tidal cycles and local winds. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, v. 112, p. 11-22, 2012.

- Morgan, S. G. (1995), Life and death in the plankton: Larval mortality and adaptation, in: Ecology of Marine Invertebrate Larvae, edited by L.R. McEdward, pp. 279–322, CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Morgan, C. A.; Cordell, J. R.; Simenstad, C. A. Sink or swim? Copepod population maintenance in the Columbia River estuarine turbidity-maxima region. *Mar. Biol.*, v. 129, n. 2, p. 309-317, 1997.
- Morgan, S. G., Fisher, J. L., McAfee, S. T., Largier, J. L., Miller, S. H., Sheridan, M. M., & Neigel, J. E. (2014). Transport of Crustacean Larvae Between a Low-Inflow Estuary and Coastal Waters. *Estuaries and Coasts*, 1-15.
- North, E. W., Schlag, Z., Hood, R. R., Li, M., Zhong, L., Gross, T., & Kennedy, V. S. (2008). Vertical swimming behavior influences the dispersal of simulated oyster larvae in a coupled particle-tracking and hydrodynamic model of Chesapeake Bay. *MARINE ECOLOGY-PROGRESS SERIES-*, 359, 99.
- Pineda, J., Hare, J. A., & Sponaugle, S. (2007). Larval transport and dispersal in the coastal ocean and consequences for population connectivity.
- Postma, H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In, *Estuaries*, edited by G.H. Lauff, AAAS, Washington, pp. 158-179.
- Postma, H., 1980. Sediment transport and sedimentation. In, *Chemistry and Biochemistry of Estuaries*, edited by E. Olausson and I. Cato, Wiley, New York, pp. 153-186.
- Shang, X.; Guizhong, W.; Shaojing, L.; Donghui, G. Preliminary study of the retention mechanism of planktonic copepods in the Jiulong Estuary in China. *Acta. Oceanol. Sin.*, v. 26, p. 156-163, 2007.
- Schwamborn, R.; Melo Jr, M.; DE Leitão, S. L.; Ekau, W.; Paranaguá, M. N. Dynamic patterns of zooplankton transport and migration in Catuama Inlet (Pernambuco, Brazil), with emphasis on the decapod crustacean larvae. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, v. 36, n. 1, p. 109-113, 2008.
- Ueda, H.; Kuwatani, M.; Suzuki, K. W. Tidal vertical migration of two estuarine copepods: naupliar migration and position-dependent migration. *J. Plankton. Res.*, v. 32, n. 11, p. 1557-1572 2010.
- Van Rijn LC (1984) Sediment transport, Part II: Suspended load transport. *J Hydraul Eng* 110:1613–1641.
- Wood, L., and W. J. Hargis Jr. (1971), Transport of bivalve larvae in a tidal estuary, *Eur. Mar. Biol. Symp.*, 4, 29–44
- Yund, P. O., S. D. Gaines, and M. D. Bertness (1991), Cylindrical tube traps for larval sampling, *Limnol. Oceanogr.*, 36(6), 1167–1177.

6 ANEXO. VELOCIDAD DE LA CORRIENTE

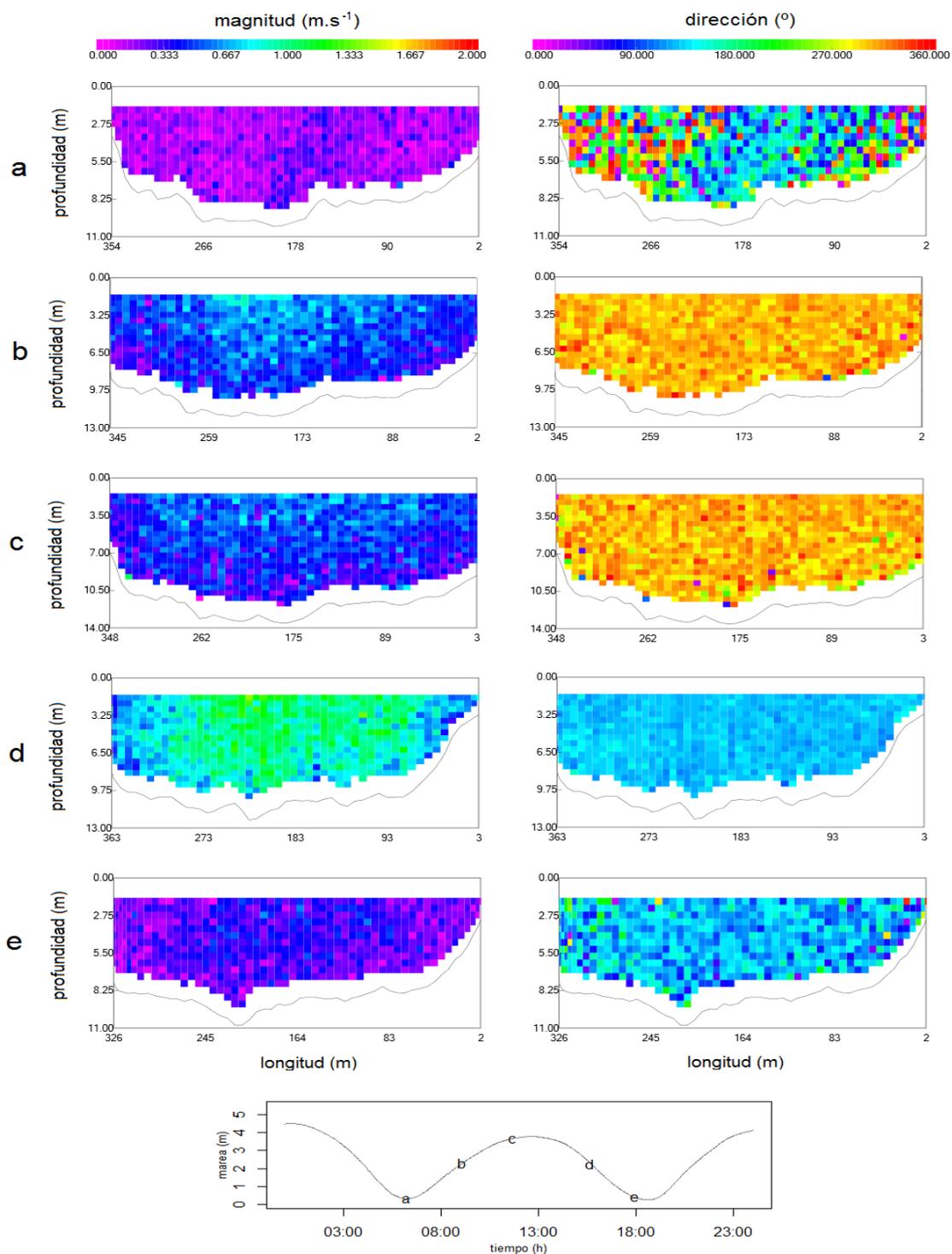


Fig. 1. Velocidad instantánea de la corriente a lo largo de la transecta en enero de 2012, en el sitio 1. En el último gráfico se incluye la altura de marea registrada durante la campaña y se indica el instante en que se realizó la medición correspondiente a cada gráfico anterior.

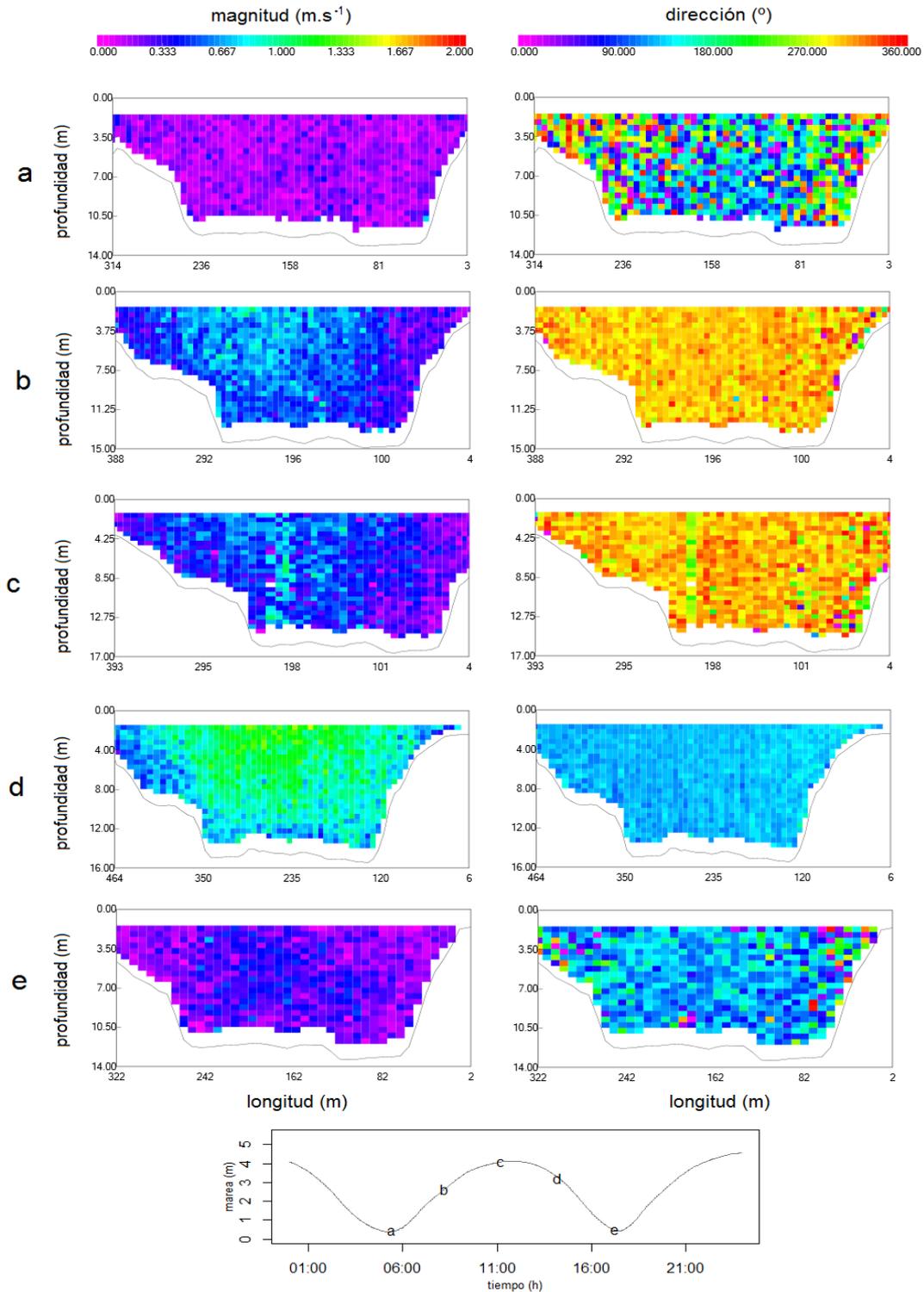


Fig. II. Velocidad instantánea de la corriente a lo largo de la transecta en febrero de 2012, en el sitio 1. En el último gráfico se incluye la altura de marea registrada durante la campaña y se indica el instante en que se realizó la medición correspondiente a cada gráfico anterior.

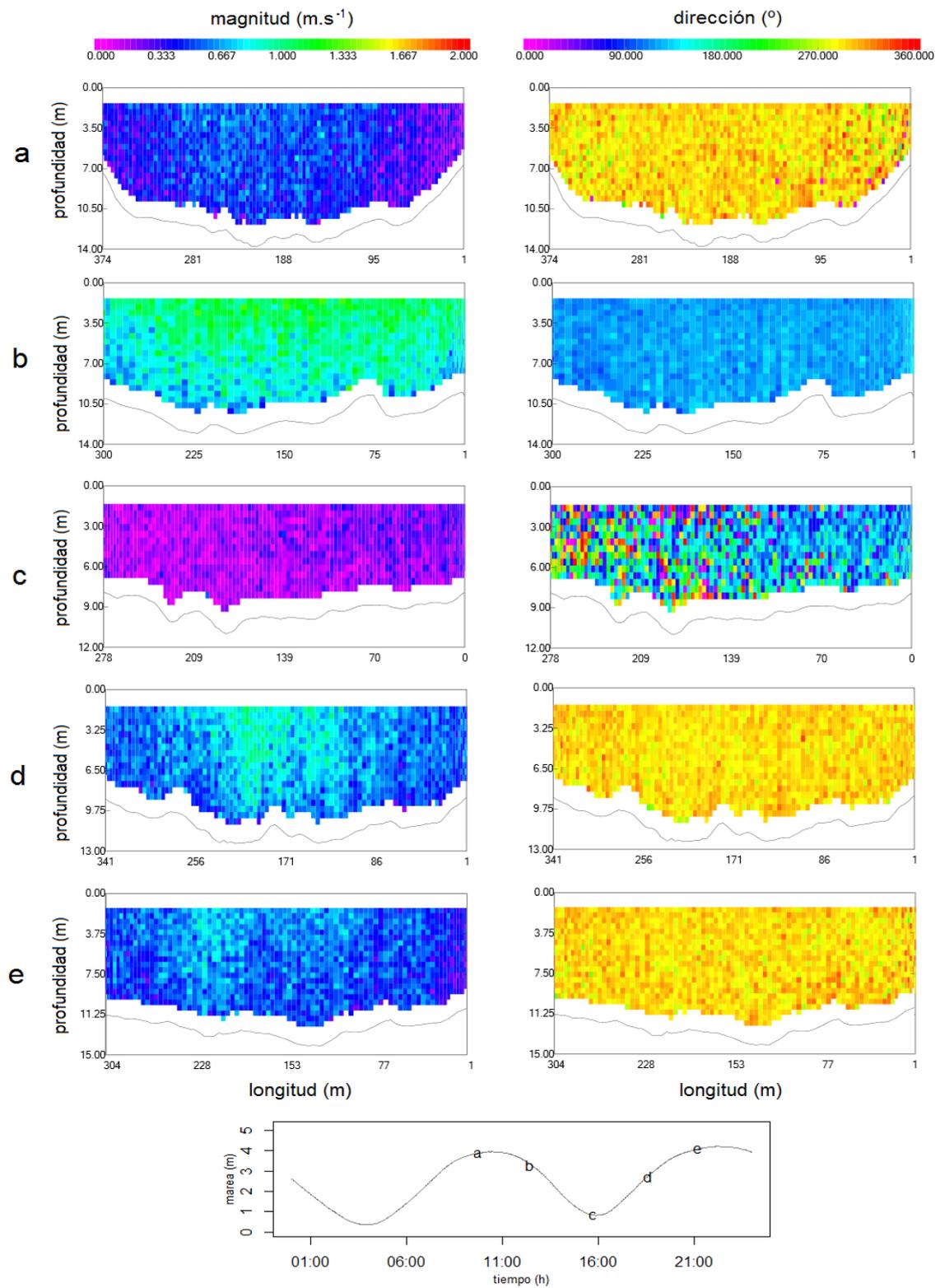


Fig. III. Velocidad instantánea de la corriente a lo largo de la transecta en agosto de 2012, en el sitio 1. En el último gráfico se incluye la altura de marea registrada durante la campaña y se indica el instante en que se realizó la medición correspondiente a cada gráfico anterior.

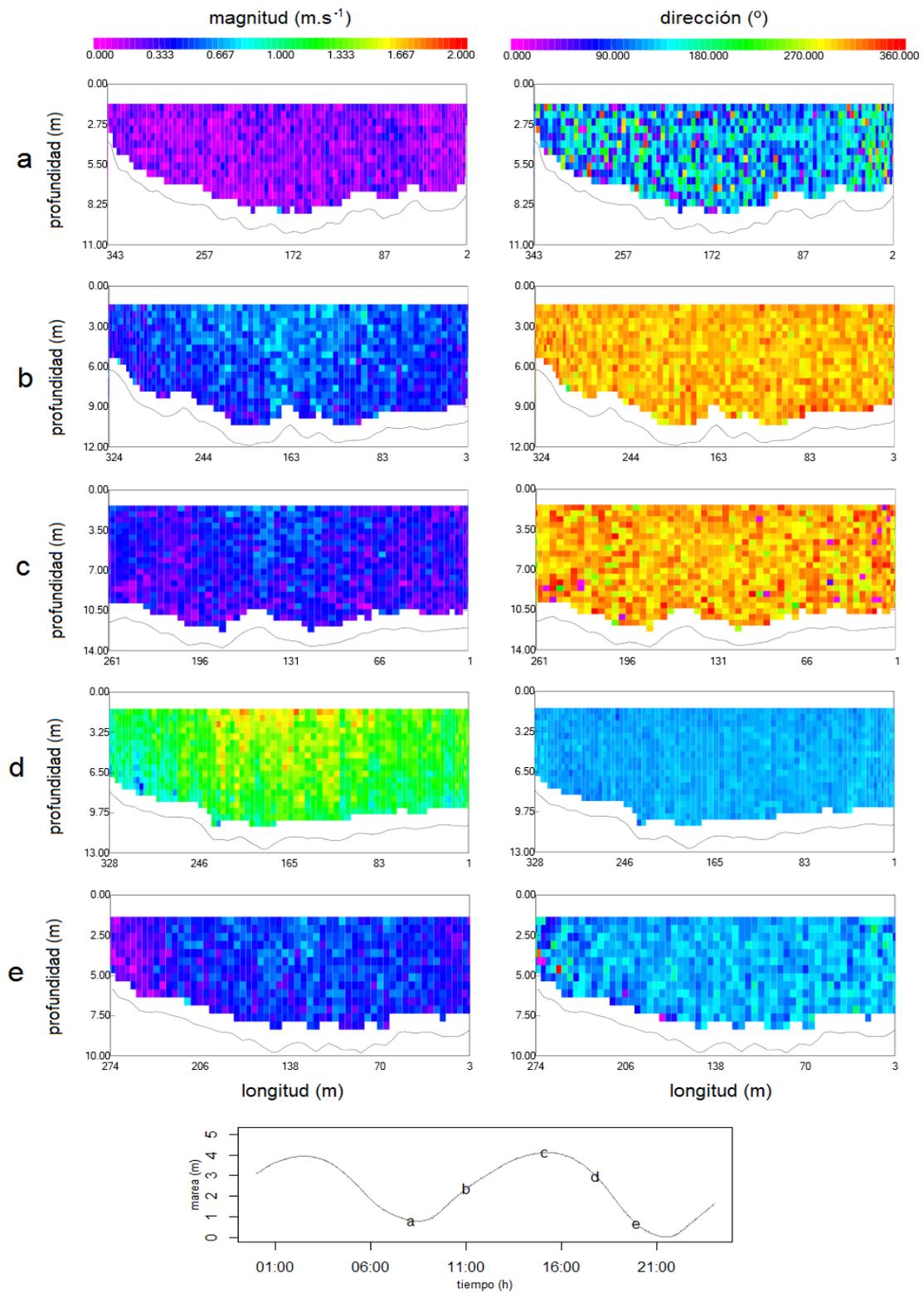


Fig. IV. Velocidad instantánea de la corriente a lo largo de la transecta en septiembre de 2012, en el sitio 1. En el último gráfico se incluye la altura de marea registrada durante la campaña y se indica el instante en que se realizó la medición correspondiente a cada gráfico anterior.

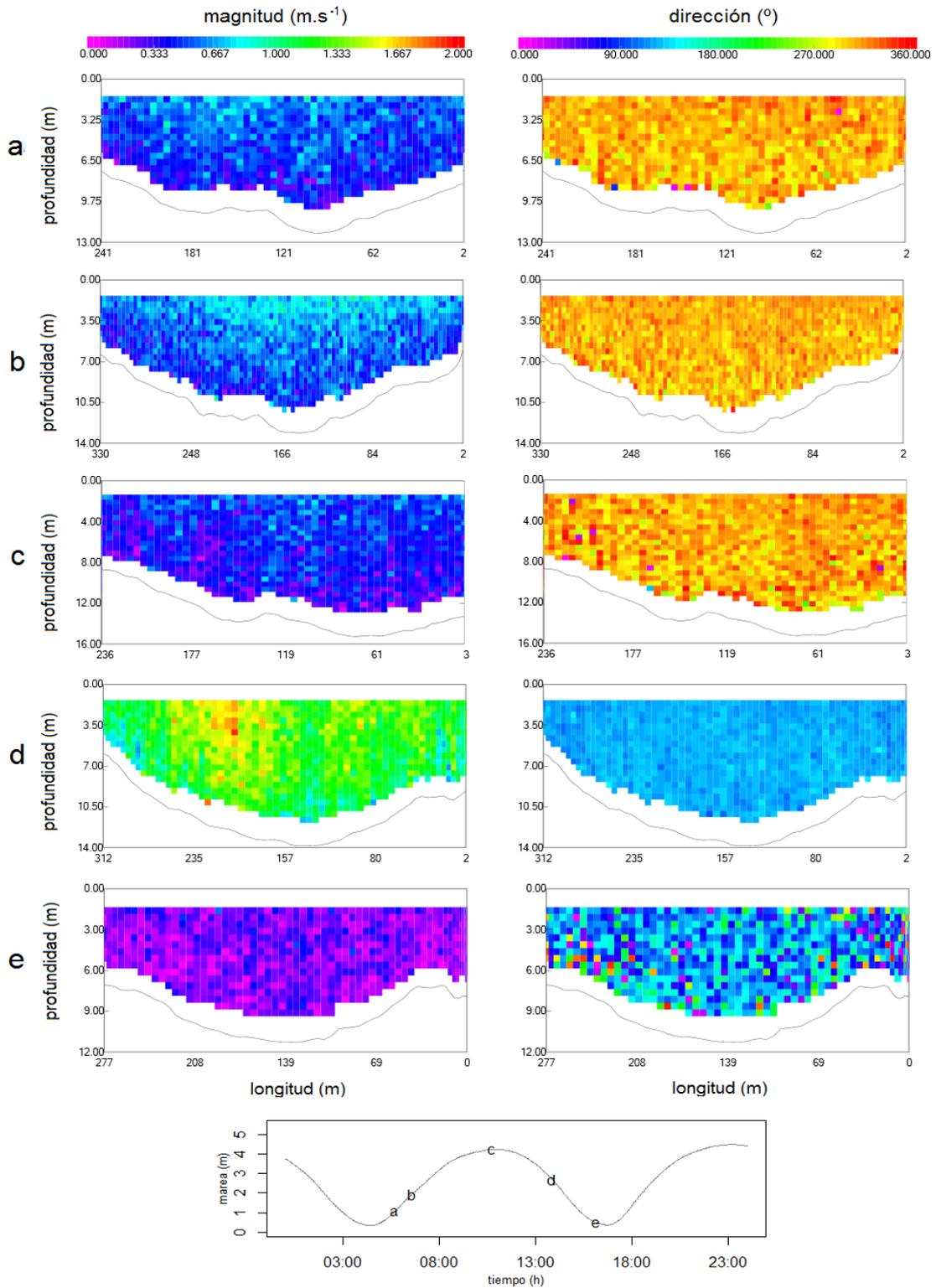


Fig. V. Velocidad instantánea de la corriente a lo largo de la transecta en febrero de 2013, en el sitio 1. En el último gráfico se incluye la altura de marea registrada durante la campaña y se indica el instante en que se realizó la medición correspondiente a cada gráfico anterior.

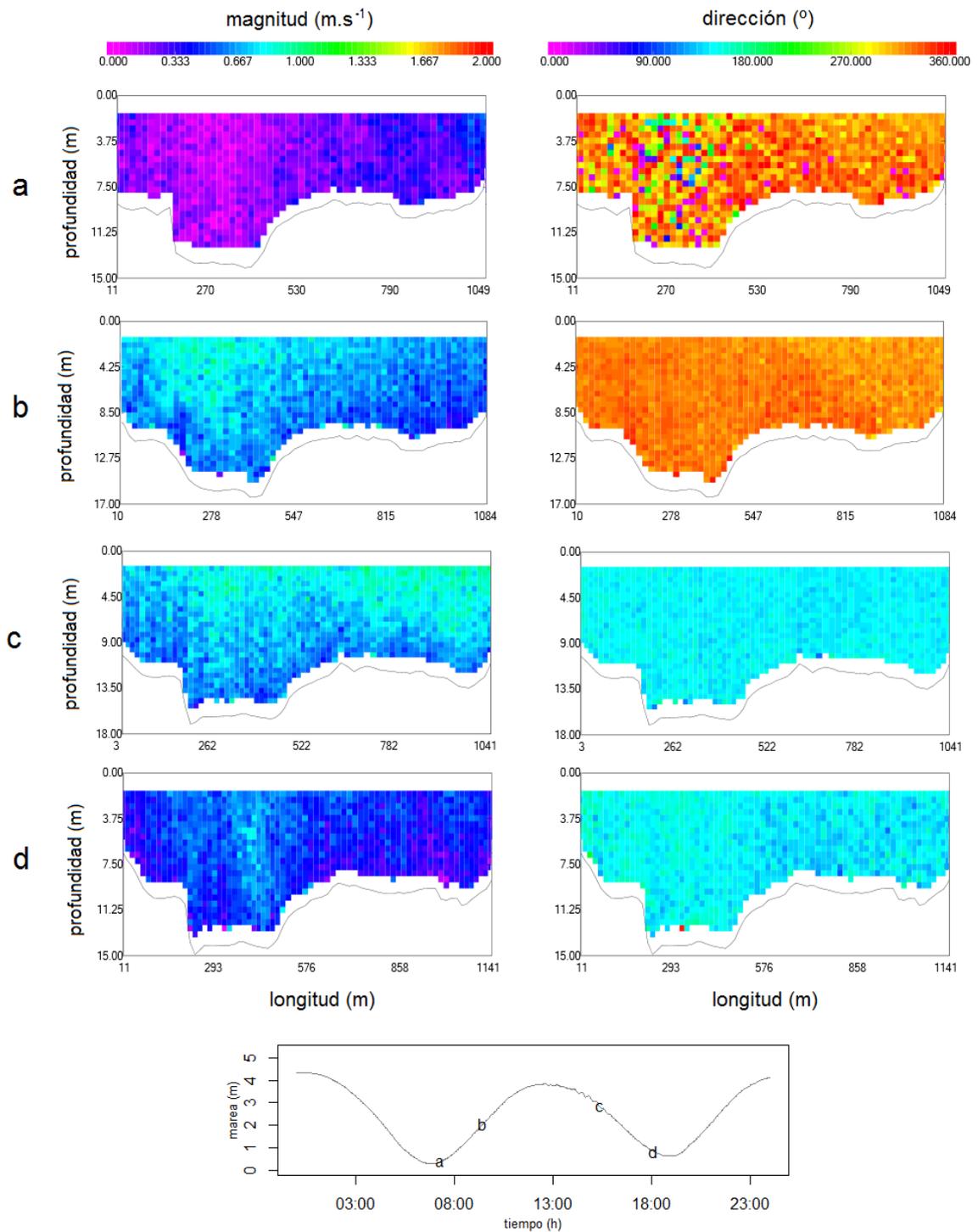


Fig. VI. Velocidad instantánea de la corriente a lo largo de la transecta en febrero de 2012, en el sitio 2. En el último gráfico se incluye la altura de marea registrada durante la campaña y se indica el instante en que se realizó la medición correspondiente a cada gráfico anterior.

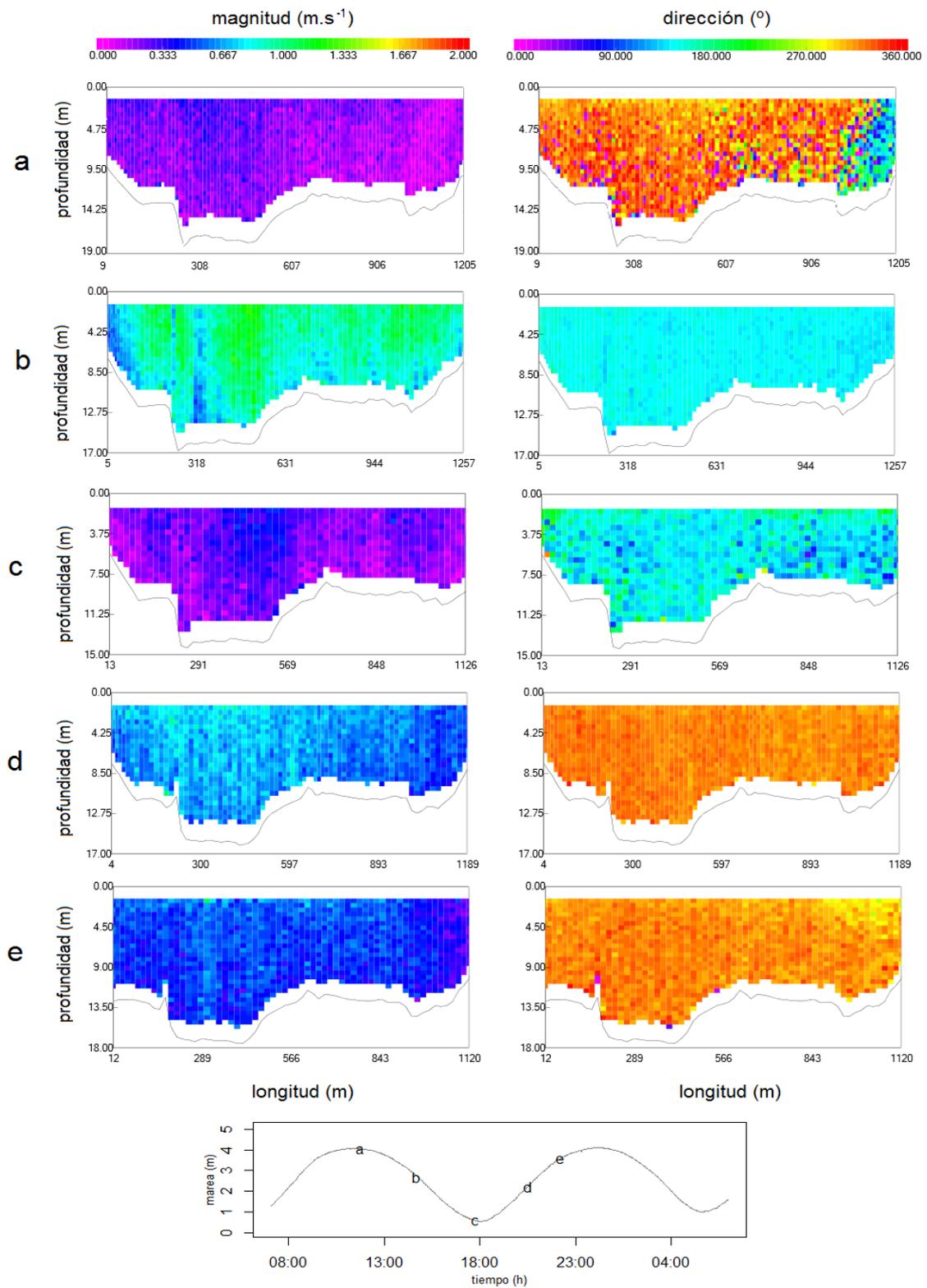


Fig. VII. Velocidad instantánea de la corriente a lo largo de la transecta en agosto de 2012, en el sitio 2. En el último gráfico se incluye la altura de marea registrada durante la campaña y se indica el instante en que se realizó la medición correspondiente a cada gráfico anterior.

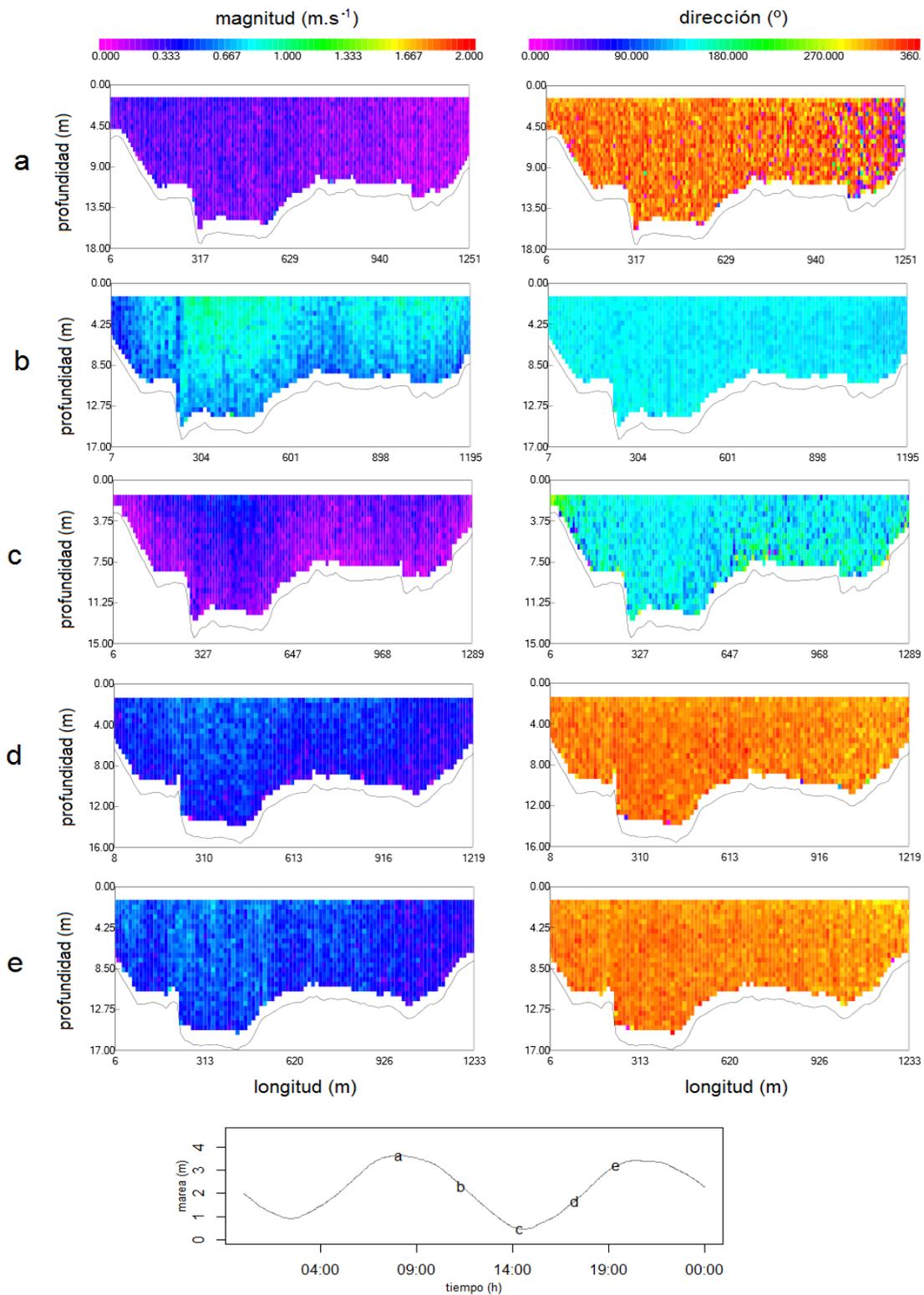


Fig. VIII. Velocidad instantánea de la corriente a lo largo de la transecta en septiembre de 2012, en el sitio 2. En el último gráfico se incluye la altura de marea registrada durante la campaña y se indica el instante en que se realizó la medición correspondiente a cada gráfico anterior.

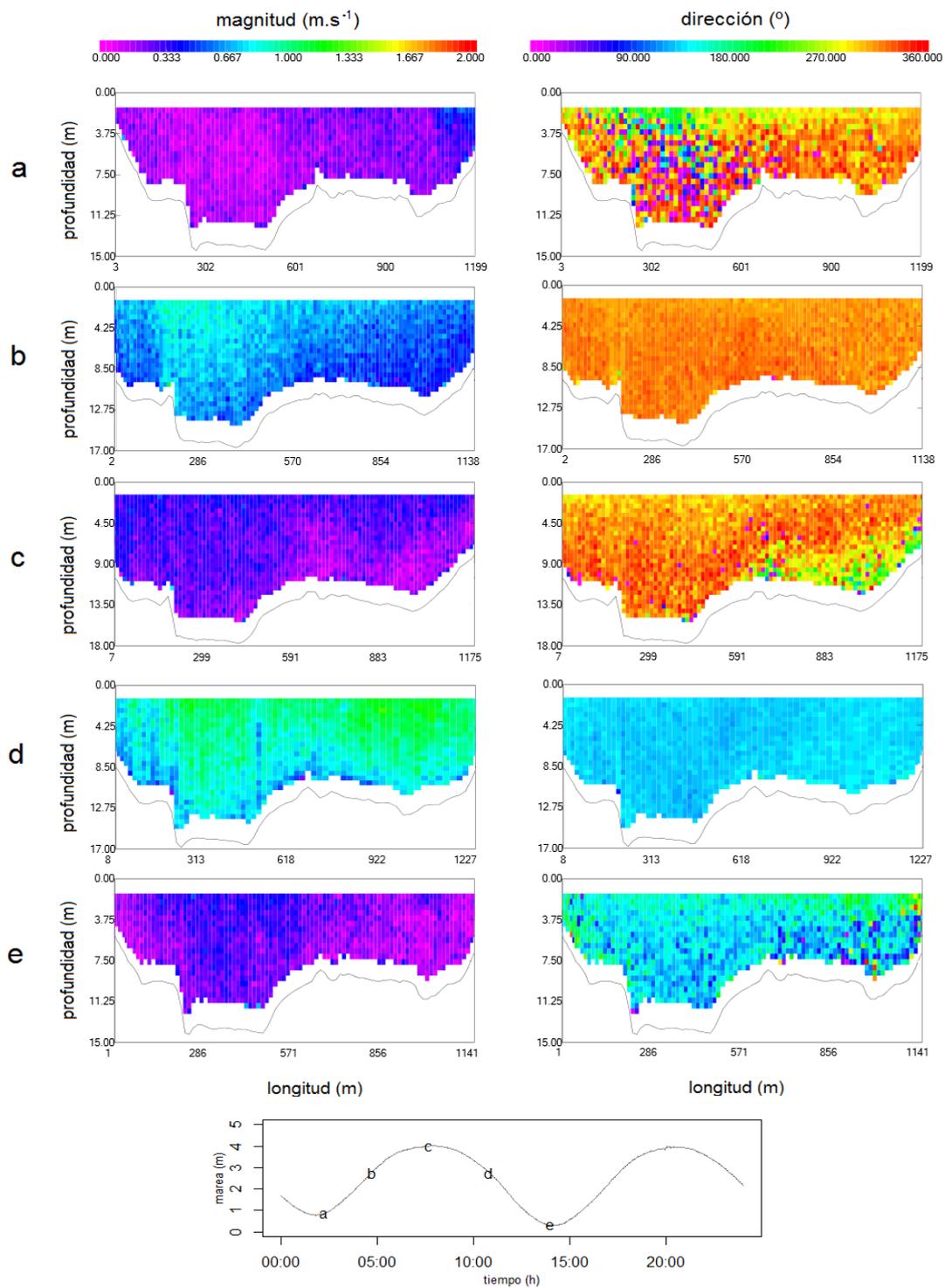


Fig. IX. Velocidad instantánea de la corriente a lo largo de la transecta en febrero de 2013, en el sitio 2. En el último gráfico se incluye la altura de marea registrada durante la campaña y se indica el instante en que se realizó la medición correspondiente a cada gráfico anterior.