

UNCo-ESCiMAR-03-2021

Informe Técnico

Número 03-2021



Universidad Nacional del Comahue

Escuela Superior de Ciencias Marinas

Características del sedimento disponible y del sustrato utilizado por los mejillines para su adhesión en la Bahía San Antonio

María Cecilia Salas, Maite Andrea Narvarte

Marzo de 2021

San Martín 247

CP 8520 San Antonio Oeste

Provincia de Río Negro, Argentina

Tele-fax +54 2934 422752

Los informes técnicos de la Escuela Superior de Ciencias Marinas de la Universidad Nacional del Comahue tienen por objetivo difundir los resultados de las actividades de investigación realizadas por docentes, investigadores y alumnos de la ESCiMar. Los contenidos y opiniones vertidas en los mismos son exclusiva responsabilidad de los autores.

La reproducción de esta publicación para fines científicos, educativos u otros propósitos no comerciales está autorizada sin permiso del titular del derecho de autor. La reproducción para fines comerciales está prohibida sin previa autorización por escrito del titular del derecho de autor.

Este documento debe ser citado como:

Salas MC., Narvarte MA. 2021. Características del sedimento disponible y del sustrato utilizado por los mejillines para su adhesión en la Bahía San Antonio. Informe Técnico N°03-2021. Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Nacional del Comahue. 20 pp.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de la ecología bentónica ha sido entender los mecanismos que regulan la relación entre sedimentos y organismos (Snelgrove & Butman, 1994; Widdows & Brisley, 2002; Cruz-Motta et al. 2003). A pesar de que el estrés hidrodinámico es un factor decisivo para el asentamiento de las especies intermareales (Bell & Gosline 1997; Moeser et al. 2006), el tipo de sustrato en el cual las especies habitan es de particular importancia, siendo incluso el factor preponderante que regula la distribución de dichos organismos (Wahl & Hoppe, 2002). Entre los tipos de sustratos intermareales a los cuales pueden adherirse los organismos sésiles, probablemente los más conocidos y estudiados sean los de sustrato duro, el intermareal rocoso. Por su parte, los intermareales de fondos blandos son menos estudiados, aunque existe un esfuerzo desde hace algunas décadas en incrementar su conocimiento (Gray et al. 2002; Park & Hwang, 2011). En organismos sésiles intermareales es de vital importancia conocer las características del sustrato disponible, así como también, las relaciones entre éste y otros factores ambientales que posibilitarán a los individuos de una población su adhesión y permanencia. Entonces, un requerimiento indispensable para un organismo sésil es un sustrato óptimo para asentarse, que le confiera estabilidad y le permita alimentarse exitosamente sin ser desplazado por efectos hidrodinámicos (wa Kangeri et al. 2016), justamente porque estos ambientes ofrecen superficies poco estables para la adhesión de organismos sésiles (wa Kangeri et al. 2014). Por tanto, además del estrés hidrodinámico, se agrega el estrés por inestabilidad sedimentaria como uno de los estresores más importantes en este tipo de intermareal (Bell & Gosline, 1997).

El intermareal de la Bahía San Antonio es del tipo sedimentario heterogéneo (o mixto), es decir, está constituido por roca, cantos rodados, grava, arena, limo y arcilla (Escofet et al. 1977; Carbone et al. 2007; Kokot & Favier-Dubois, 2017). Aunque el interés por los intermareales de este tipo (mixto) y/o de grano grueso como los intermareales de grava o arena y grava se ha incrementado en los últimos años, los procesos que ocurren en éstos son menos entendidos que en los intermareales de arena y/o limo-arcilla (Horn & Walton, 2007) e incluso y potencialmente más complejos que aquéllos de grava (Dickson et al. 2011). *Brachidontes rodriguezii* es un bivalvo ampliamente distribuido en el intermareal de la Bahía, principalmente en el sector sur (Escofet et al. 1977).

En el contexto de estudiar conjuntamente los seres vivos y sus hábitats, así como los procesos que los interrelacionan en intermareales sedimentarios mixtos como los de la

Bahía San Antonio, la importancia del tamaño de grano en el control de los patrones de diversidad (Gray et al. 2002; Thrush et al. 2003, 2006; Anderson, 2008) y la casi nula disponibilidad de información sobre las características granulométricas del sedimento de los mejillinares de la Bahía San Antonio, el objetivo de este trabajo es caracterizar granulométricamente el sedimento disponible en la zona de estudio y evaluar el tipo de sustrato que utilizan los mejillines para adherirse en dos horizontes del intermareal y dos sitios de la Bahía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Los acantilados que presenta gran parte del Golfo San Matías (Río Negro, Argentina) son interrumpidos en el sector noroeste por la Bahía San Antonio (BSA, 40° 45' S, 64° 56' W; Figura 1). Estas áreas se caracterizan por un régimen de mareas semidiurno, con una amplitud de sicigias de hasta 9 m (Aliotta et al. 2000) y temperaturas del agua que alcanzan un promedio de 24°C en verano y 7°C en invierno. La BSA tiene una extensión aproximada de 160 km² y la salinidad es usualmente más elevada que en las zonas adyacentes (Saad et al. 2019) debido a una alta evaporación (Piola & Scasso, 1988). Se trata de un área de clima seco, sin ingreso de agua dulce, a excepción del drenaje resultante de las escasas lluvias (precipitaciones promedio: 250 mm año⁻¹). La humedad relativa es del



Figura. 1. Ubicación de la Bahía San Antonio y los sitios de estudio: Punta Verde (marca verde) y Punta Delgado (marca roja). Imagen de la derecha tomada de Google Earth™ en marea baja.

57% y los vientos soplan principalmente del sector noroeste. La Bahía exhibe diversidad de geoformas. Al norte está bordeada por una planicie baja, conformada por espigas de rodados y arenas que se entremezclan con las planicies de marea sobre las que se observa una red de canales de marea. Posee deriva litoral hacia el oeste y presenta dos espigas que se desarrollan a ambos márgenes de la bahía: Península Villarino (formada por arena mediana y grava) y Punta Delgado (formada por cantos rodados y conchillas) (Carbone et al. 2007). La dinámica de sus aguas está dominada por el Canal Principal (12 km de longitud y una profundidad máxima en la boca de la Bahía de 35 m) al que confluye una serie de canales de mareas secundarios formando una densa red (Carbone et al. 2007) (Figura 1). Débiles corrientes de marea ($<0,5 \text{ m s}^{-1}$) se producen en la parte más interna de la Bahía; sin embargo, hay una fuerte turbulencia y rápidas corrientes en la zona cercana a su boca (hasta 2 m s^{-1} , Aliotta et al. 2000). Las laderas de los canales de marea están cubiertas por un amplio rango de tamaño de sedimento (limo, arena y grava) que alterna con extensos bancos de *Brachidontes rodriguezii*, cangrejales de *Neohelice granulata* así como también con marismas dominadas por *Spartina alterniflora* (Escofet et al. 1977). La BSA y sus zonas adyacentes conforman un ecosistema marino costero caracterizado por una alta riqueza de especies y diversidad biológica, por lo que fue declarada Área Natural Protegida en 1993 (Ley No 2670 de la provincia de Río Negro) y reserva Internacional de la Red Hemisférica para la Conservación de Aves Playeras (Western Hemisphere Shorebird Reserve Network Internacional -WHSRNI; González et al. 1996). Este trabajo fue desarrollado en el extremo sur de la Bahía, donde se encuentran los principales mejillinares (Escofet et al. 1977), específicamente en dos sitios separados 2,3 km: Punta Verde y Punta Delgado (Figura 1). Ambos sitios están localizados sobre canales secundarios. Punta Verde (PV) sobre el Canal Falso presenta una profundidad de 3 m en marea baja y velocidades relativas mayores que Punta Delgado (PD), que se ubica sobre el Canal del Indio con profundidad en bajamar de 0,80 m (Carbone et al. 2007). El mejillinar en los sitios estudiados PD y PV, como expresaron Escofet et al (1977) se distribuye principalmente en el mediolitoral desde el horizonte inferior al cinturón inferior del horizonte medio (sensu Olivier et al. 1966; denominado así de aquí en adelante). Además, el mejillinar no está fragmentado en parches, sino que forma un estrato continuo en monocapa, con densidades variables en un gradiente vertical, siendo el horizonte inferior más denso que el horizonte medio (Salas, 2018).

Recolección del sedimento y sustrato. Con el fin de caracterizar el sedimento presente en el mejillinar en PD y PV de la BSA (Figura 1), en septiembre de 2011 se realizó una transecta

de 100 m paralela a la línea de costa, tanto en el horizonte inferior como en el horizonte medio del mediolitoral. Sobre dicha transecta, cada 10 m, se colectaron muestras de sedimento con cores de 10 cm de diámetro y 5 cm de profundidad (N=10 por horizonte). Cada muestra fue secada en estufa (70°C durante 48-72 horas), y una submuestra de 100 g fue tamizada por una serie de tamices (62, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 7937 y 12700 μm) y luego cada fracción fue pesada en balanza analítica. Para el análisis granulométrico se utilizó el paquete estadístico GRADISTAT (Blott & Pye, 2001) que permitió obtener para cada muestra la media aritmética del tamaño de grano, definida como $\bar{X} = \sum fmm/100$, donde f es la frecuencia en porcentaje y m es el punto medio por intervalo de clase del tamaño de grano (mm) mediante el método de Folk & Walk (1957). Esta información se integró en un diagrama de clasificación granulométrica. Además, con el objetivo de determinar el sustrato adherido a los bisos de *B. rodriguezii*, se realizó en cada sitio y horizonte del intermareal una transecta de 50 m paralela a la línea de costa. Cada 1,6 m aproximadamente, se extrajeron cuadrados de 20 x 20 cm de diámetro y 5 cm de profundidad (N=7 por horizonte), los cuales fueron congeladas (-20°C). Este procedimiento se repitió por estación (primavera 2011, otoño 2012, verano 2012-2013, e invierno 2013). Al momento de procesar las muestras, las mismas fueron descongeladas a temperatura ambiente y de cada una se separó el sustrato adherido directamente a los bisos de los mejillines. El mismo fue secado y tamizado como se describe anteriormente. Posteriormente, por muestra se calculó la media aritmética del tamaño de grano como parámetro granulométrico, tal como se mencionó previamente.

Análisis de datos. Para determinar diferencias en el tamaño de grano del sedimento (media aritmética) que caracteriza al mejillinar entre horizontes (inferior y medio) del mediolitoral y entre sitios (PD y PV), se realizó un ANOVA de dos vías (factores fijos: horizonte y sitios). Para evaluar diferencias en el tipo de sustrato al cual se adhirieron los mejillines en las diferentes estaciones del año en su ambiente natural en ambos horizontes de cada sitio, se comparó para cada sitio (PD y PV), el peso y el tamaño de grano del sedimento adherido mediante un ANOVA de dos vías (factores fijos: horizonte y estación). Cuando se detectaron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples con el test de Tukey. Para cumplir con los supuestos de los análisis de varianza las variables se transformaron (logaritmo en base 10 o raíz cuadrada). Cuando no fue posible cumplir con los supuestos, igualmente se realizaron ANOVAs paramétricos, ya que este análisis sigue siendo robusto con tamaños de muestras grandes (Underwood et al. 1997).

RESULTADOS

Sedimento característico del mejillinar

El mejillinar presentó una amplia gama de tamaños de grano sedimentario en PD y PV. El tamaño de grano varió entre horizontes del mediolitoral en cada sitio, como también entre los mismos horizontes entre sitios. Estas diferencias pudieron apreciarse al manipular el sedimento de cada muestra recolectada mediante cores (Figura 2).



Figura 2. Sedimento recolectado por cores en ambos horizontes del mediolitoral para los dos sitios estudiados. Referencias: PVHI=horizonte inferior de Punta Verde, PVHM = horizonte medio de Punta Verde, PDHI=horizonte inferior de Punta Delgado, PVHM = horizonte medio de Punta Delgado. Escala: Línea blanca = 3,5 cm.

A pesar de que cada horizonte presentó tamaños de granos bien diversos, las muestras sedimentarias de los cores extraídos en cada uno de ellos, mantuvieron la proporción en peso de cada tamaño de grano. Por ejemplo, en el horizonte inferior de PV, todas las muestras (N=10, representados por diversas figuras geométricas; Figura 3 A), presentaron mayores pesos de arena mediana ([499-250] μm), mientras los menores pesos se correspondieron con arena muy fina ([125-62] μm ; tamiz 62 μm) y lodo (limo y arcilla) (menor a 62 μm) (Figura 3). Tanto el horizonte medio de PV como el horizonte inferior de

PD presentaron mayores tamaños de grano (Figuras 3 B y C), lo cual fue observado con el gran aporte en peso de las fracciones sedimentarias de grava mediana ([7937-12.700 μm), gruesa y muy gruesa ($> 12.700 \mu\text{m}$) entre las muestras de cada horizonte (Figura 3). Si bien a partir del tamiz de 12.700 μm , no se pudo diferenciar el tamaño de grano, principalmente se encontraron grava gruesa y grava muy gruesa y algunos pocos cantos rodados pequeños (64 a 128 mm).

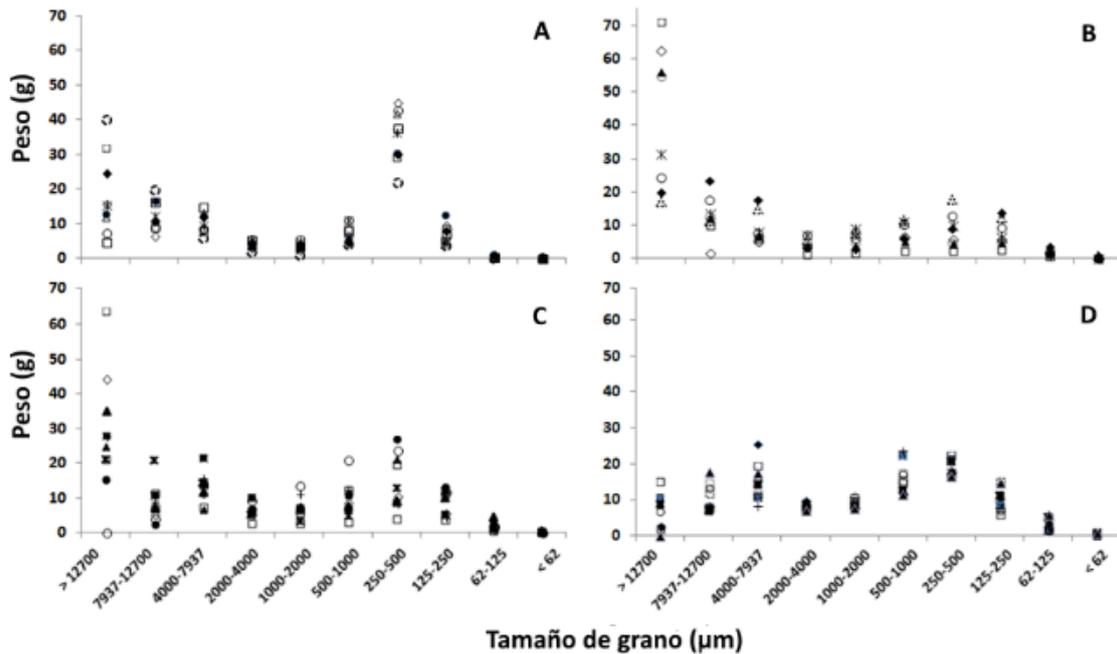


Figura 3. Peso de sedimento por tamaño de grano en cada muestra sedimentaria recolectada en los horizontes inferior y medio de Punta Verde (A y B respectivamente) y Punta Delgado (C y D, respectivamente).

Mientras el promedio de tamaño de grano no difirió entre los horizontes inferiores de PD y PV ($p > 0,05$), el horizonte medio de PV y PD mostró el mayor y menor tamaño de grano, respectivamente (Tukey $p \leq 0,05$) (Interacción ANOVA de dos vías: $F_{1,36} = 21,15$; $p = 0,0001$, Figura 4).

En el diagrama de clasificación granulométrica puede observarse lo siguiente: en todas las muestras de sedimento del horizonte medio de PV, dominó la fracción de grava (más del 50% en cada muestra); para las muestras del horizonte inferior de PD también dominó la fracción grava con más del 50% en cada muestra, pero presentó dos muestras donde la fracción arena superó el 60% y dos muestras donde las fracciones arena y grava quedaron bien representadas (cercasas al 50% cada una). En el horizonte inferior de PV y horizonte medio de PD predominó la fracción arena en más del 45% en la mayoría de las muestras. En

cuanto a la selección del tamaño de grano (medida matemática del grado de uniformidad del tamaño del sedimento), la mayoría de las muestras presentes en ambos horizontes de mediolitoral de PD y PV presentaron un sedimento muy pobremente seleccionado, es decir, gran variabilidad de tamaños de grano respecto a la media.

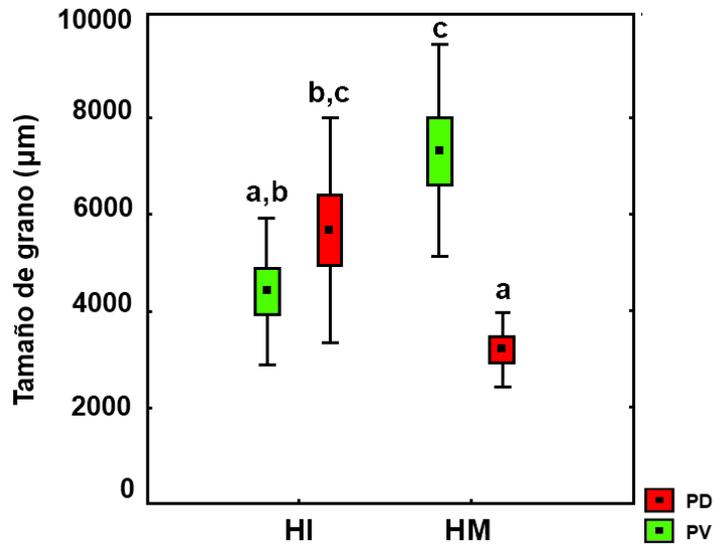


Figura 4. Media aritmética del tamaño de grano por horizonte del mediolitoral en ambos sitios de estudio. Referencias: HI=horizonte inferior, HM=horizonte medio del mediolitoral. La caja representa media \pm error estándar; barras: media \pm desvío estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo al test a posteriori de Tukey.

El sustrato adherido a mejillines en los sitios de estudio

Los individuos de *B. rodriguezii* se adhirieron mediante sus bisos a una mezcla de otros individuos conespecíficos que forman parte del mejillinar, restos biogénicos como valvas de mejillines muertos y otros bivalvos, placas de quitones, conchillas de caracoles, esponjas secas, tubos de poliquetos, restos de artrópodos (cangrejos, cirripedios) entre otros y sedimentos de diversos tamaños de grano (grava y arena principalmente). En la figura 6, a modo de ejemplo, se puede observar la variedad de tipos y tamaños de sustrato a los cuales *B. rodriguezii*, puede unirse mediante sus bisos.

En PD, la comparación del tamaño de grano adherido a mejillines entre estaciones y horizontes, mostró una interacción significativa (ANOVA de dos vías; Tabla 1). El tamaño medio de grano no difirió entre estaciones en el horizonte inferior ($p > 0,05$), mientras en el horizonte medio difirió significativamente, siendo mínimo y máximo en verano y primavera, respectivamente (Tabla 1; test Tukey, $p \leq 0,05$; Figura 7). En PV, el tamaño medio de grano

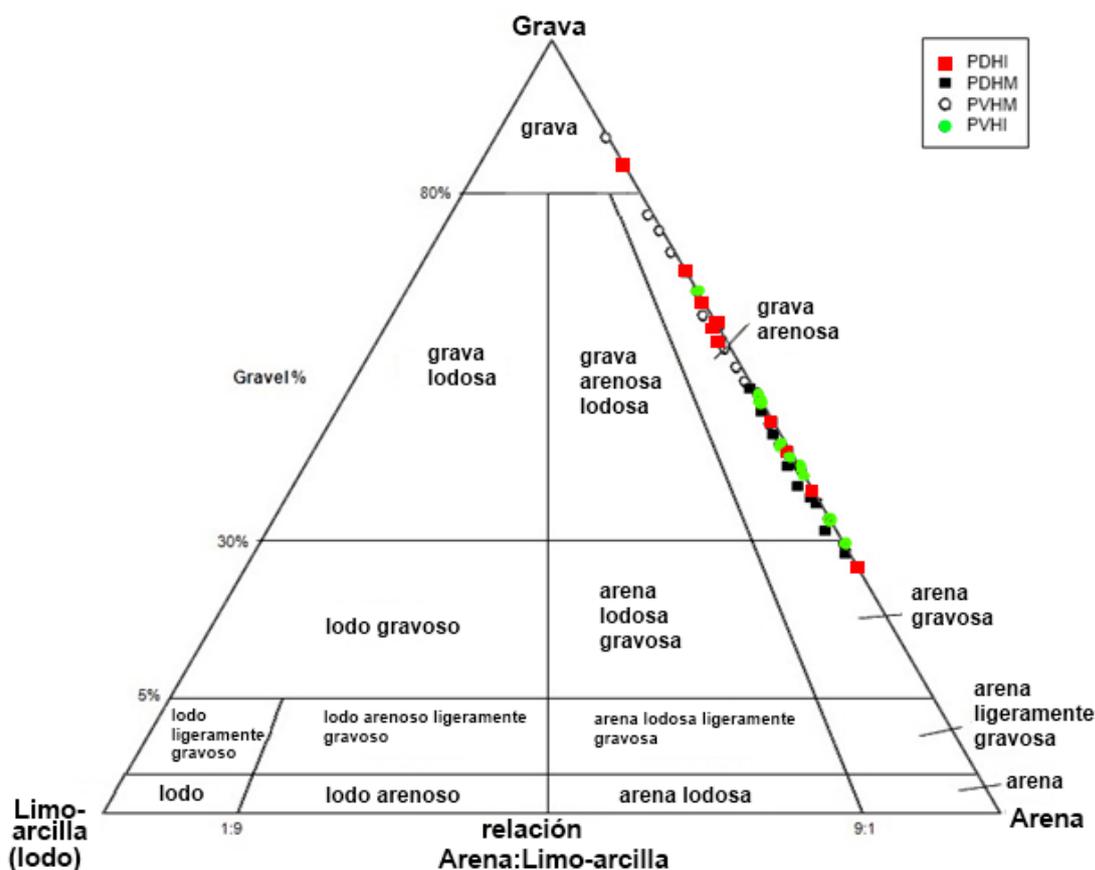


Figura 5. Diagrama de clasificación granulométrica de las muestras de sedimento de Punta Delgado (PD) y Punta Verde (PV) en los horizontes inferior (HI) y medio (HM) del mediolitoral de la Bahía San Antonio.

Tabla 1. ANOVAs de dos vías mostrando el efecto de las estaciones, los horizontes del mediolitoral y su interacción sobre el peso y tamaño de grano del sustrato adherido a los bisos de *Brachidontes rodriguezii* en Punta Delgado (PD) y Punta Verde (PV).

Fuente de variación	g.l.	Tamaño de grano adherido				Peso sedimento adherido			
		PD		PV		PD		PV	
		F	p	F	p	F	p	F	p
Estación (A)	3	2,09	0,1142	4,6E-03	0,9996	2,03	0,1217	1,74	0,1723
Horizonte (B)	1	68,93	<0,0001	174,98	<0,0001	593,14	<0,0001	51,54	<0,0001
A x B	3	4,05	0,0121	2,27	0,0922	3,12	0,0346	0,76	0,5214
Error	48								

adherido a mejillines no mostró interacción significativa entre los factores estación y horizonte (ANOVA de dos vías; Tabla 1). El tamaño medio de grano entre estaciones no difirió significativamente (ANOVA de dos vías; Tabla 1), pero sí entre horizontes (ANOVA de

dos vías; Tabla 1), siendo el horizonte medio el que presentó mayor tamaño medio de grano (Tabla 1; test Tukey, $p \leq 0,05$; Figura 7).



Figura 6. Diversidad de tipos y tamaños de grano del sustrato adherido a los bisos de *Brachidontes rodriguezii*: por ejemplo, otros ejemplares de la misma especie (A), variados tamaños de grano sedimentario (B, C) y restos de material biogénico (D, dicha imagen muestra los sustratos adheridos al biso de un ejemplar de mejillín).

El peso medio del sustrato adherido a los mejillines en PV no mostró interacción significativa entre los factores estación y horizonte (ANOVA de dos vías; Tabla 1). El peso medio del sustrato adherido sólo mostró diferencias significativas para el factor horizonte (ANOVA de dos vías; Tabla 1), siendo el horizonte inferior el que presentó mayor peso medio del sustrato adherido (Tabla 1; test de Tukey, $p \leq 0,05$; Figura 7). Para PD, se encontró una interacción significativa entre los factores estación y horizonte sobre el peso medio del sustrato adherido (ANOVA de dos vías; Tabla 1). El peso medio del sustrato adherido difirió significativamente entre estaciones en el horizonte inferior, presentando el mayor y menor valor en el invierno y el verano, respectivamente ($p \leq 0,05$), no así entre éstas en el horizonte medio (Tabla 1; test de Tukey, $p > 0,05$; Figura 7).

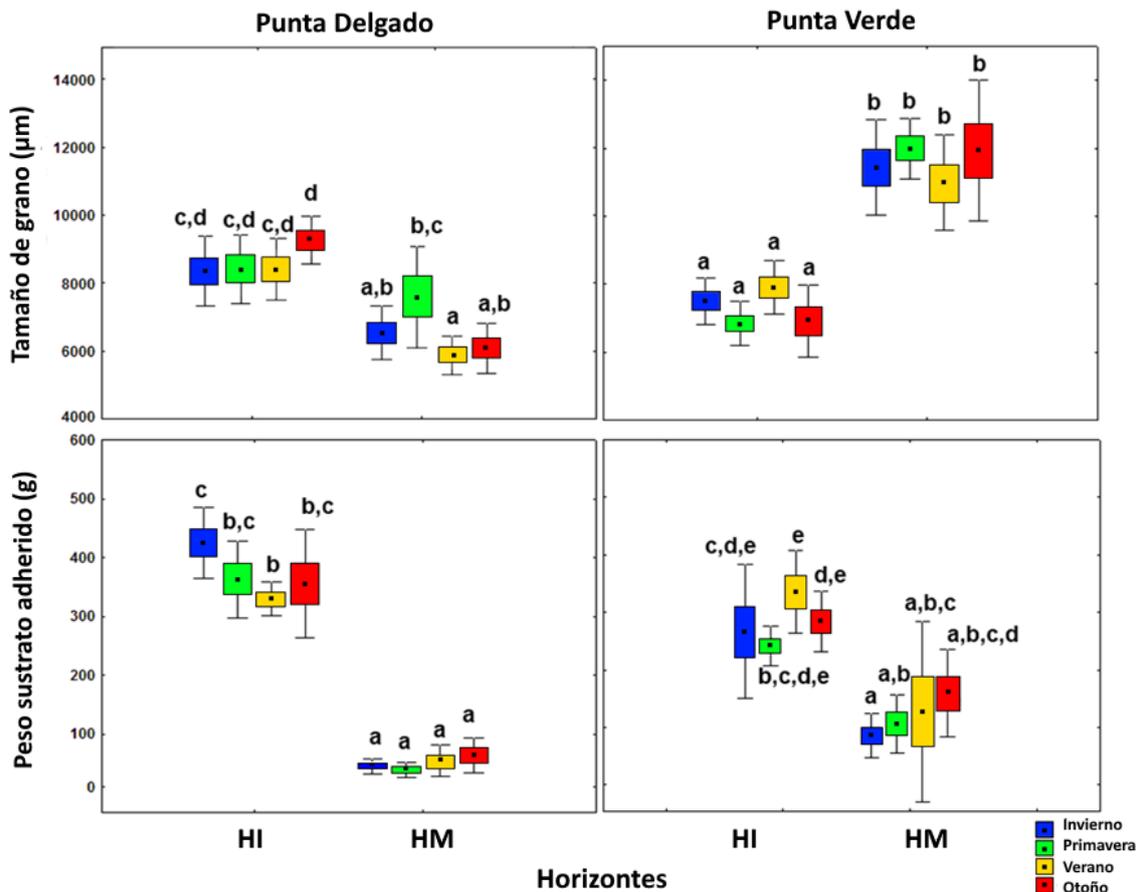


Figura 7. Peso y tamaño de grano del sustrato adherido a los bisos de *Brachidontes rodriguezii* presentes por estación en los horizontes inferior (HI) y medio (HM) del mediolitoral de Punta Delgado y Punta Verde. La caja representa media \pm error estándar; las barras: media \pm desvío estándar. Letras distintas indican diferencias significativas. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo al test a posteriori de Tukey.

Se puede observar en esta figura 8, que *B. rodriguezii* se adhirió a ciertos tamaños de grano que no son necesariamente los de mayor disponibilidad/frecuencia en el intermareal de cada sitio. Para todas las estaciones, en el horizonte inferior de PD, el sustrato al cual se adhirieron fue principalmente grava gruesa a muy gruesa (incluso algunos cantos rodados), mediana y fina, siendo los sedimentos más abundantes en este horizonte arena mediana y grava gruesa y muy gruesa. En el horizonte medio de PD, si bien el sedimento con mayor disponibilidad fue arena mediana a gruesa y grava fina, los mejillines se adhirieron principalmente a grava fina y en menor porcentaje a grava mediana. Para todas las estaciones los mejillines del horizonte inferior de PV se adhirieron con mayor frecuencia a grava fina y mediana, siendo que el sedimento predominante en este horizonte es arena mediana. En el horizonte medio de PV, los mejillines se adhirieron a grava gruesa y muy

gruesa (incluso cantos rodados), de manera coincidente con el tamaño de sedimento presente con mayor frecuencia en este horizonte del intermareal.

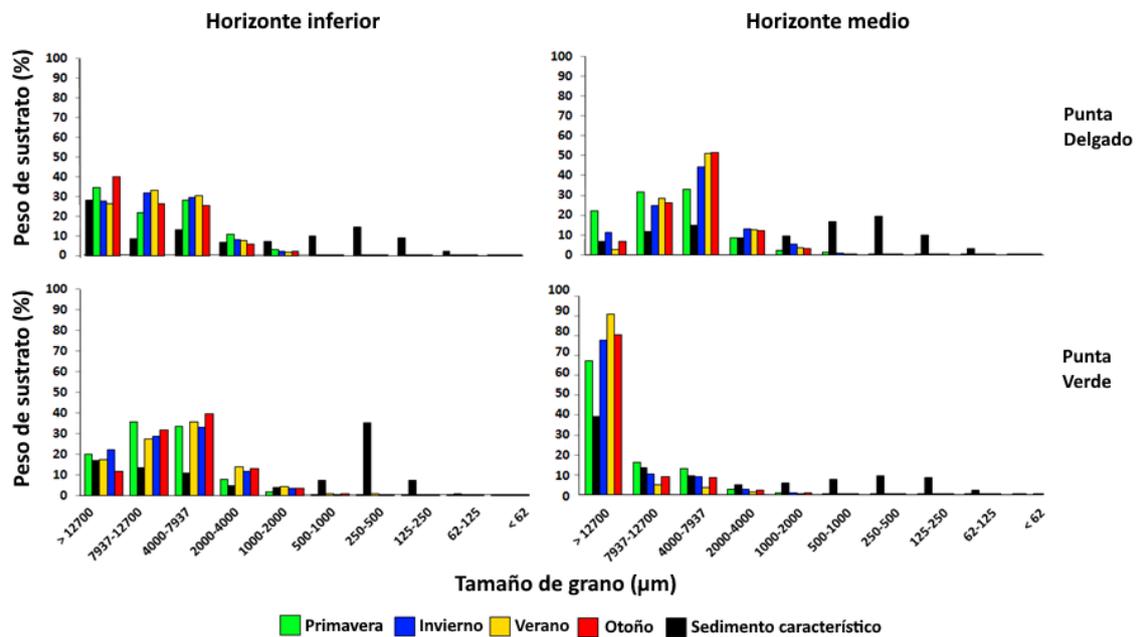


Figura 8. Porcentajes medios en peso del tamaño de grano del sedimento disponible y al cual se adhiere *Brachidontes rodriguezii* en los horizontes inferior y medio del mediolitoral de Punta Verde y Punta Delgado.

DISCUSIÓN

Los mejillinares localizados en PD y PV presentaron una importante diversidad de tamaños de grano, cuya denominación textural sedimentaria es grava arenosa, y con tan sólo 2,3 km entre ellos, cada horizonte del intermareal de cada sitio presentó características granulométricas particulares. De hecho, el tamaño medio de grano en los horizontes inferiores de ambos sitios, al igual que en los horizontes medios del mediolitoral, resultaron muy diferentes entre sí. En cuanto a las variaciones en peso y tamaño de grano del sustrato adherido a *B. rodriguezii*, en general, ocurren entre horizontes de cada sitio y no entre estaciones del año. En ambos horizontes de PD y PV, los mejillines se adhirieron principalmente a diferentes tipos de grava, independientemente que este sustrato fuera o no el de mayor disponibilidad.

Existe una gran cantidad de factores e interacciones entre éstos que determinan las características en los ambientes sedimentarios. Es conocido el efecto hidrodinámico del mar sobre los intermareales; regionalmente, a lo largo de la costa, el material más grueso está más cerca del área con mayor energía y el más fino se localiza más lejos (Perillo, 2002). Por

ello, siendo que los intermareales de PD y PV se encuentran sobre las márgenes de canales de marea de la BSA, donde el flujo de agua de mar es mayor en el horizonte inferior que en el medio (Salas et al. 2016), sería esperable que el sedimento de grano más grueso se encuentre en el horizonte inferior tanto en PD como en PV. Sin embargo, los horizontes inferior y medio de PV presentaron el menor y mayor tamaño medio de grano, respectivamente, por lo cual otro factor, además de la velocidad de flujo, estaría influyendo en la distribución de los granos de distinto tamaño. Posiblemente las causas de la presencia y distribución del sedimento estén estrechamente relacionadas a procesos históricos y geológicos, tales como describieron Carbone et al. (2007) y Kokot & Favier-Dubois (2017) (depósitos glacifluviales, arenas y gravas con presencia de conchillas sueltas dispuestas de la Formación San Antonio, depósitos coluviales –clastos y fluviales-arena, grava y arcilla-, entre otros). Por otro lado, la presencia y densidad de organismos modifican las características del sustrato (Fanjul et al. 2007; Harris et al. 2016; Firstater et al. 2016). Los bivalvos son organismos que cambian las propiedades y las características del sedimento circundante [por ejemplo: incremento de material fino proveniente de las heces y pseudoheces (Reise, 2002; Vaughn, 2018) o más grueso a partir de la incorporación de fragmentos o valvas enteras producto de su mortalidad (Gutiérrez et al. 2003; wa Kangeri et al. 2014), entre otros]. A pesar de ello, pareciera que la presencia y la densidad de *B. rodriguezii* no tendrían implicancia en las modificaciones del tamaño de grano del intermareal de la BSA, ya que los resultados obtenidos permitieron determinar que los horizontes medios PD y PV donde las densidades son las más bajas (Salas et al. 2016), presentaron el menor y el mayor tamaño medio de grano, respectivamente. Por su parte, los horizontes inferiores de ambos sitios, con las mayores densidades de mejillines (Salas et al. 2016), no mostraron diferencias significativas en el tamaño medio de grano. Sin embargo, al comparar el tamaño medio de grano entre los horizontes inferior de PV y medio de PD (con presencia mayormente de la fracción arena en ambos sitios) y por otro lado los horizontes inferior de PD con el medio de PV (predominó en ambos horizontes la fracción grava), tampoco se hallaron diferencias significativas. Por lo cual, posiblemente las características granulométricas particulares de cada horizonte del intermareal de PD y PV sean en respuesta a procesos geológicos que tuvieron lugar en la BSA.

A pesar de que el estrés hidrodinámico es un factor decisivo para el asentamiento de las especies en el intermareal (Bell & Gosline, 1997; Moeser et al. 2006), a diferencia de los intermareales rocosos, donde los organismos encuentran sustratos extensos y estables para

anclarse (wa Kangeri et al. 2016), en los intermareales sedimentarios, además del estrés hidrodinámico, dichos organismos encuentran sustratos inestables para su adhesión (wa Kangeri et al. 2014). En el caso de *B. rodriguezii* en los intermareales de PD y PV de la BSA, ante la heterogeneidad en tamaños de grano que van desde arcilla a cantos rodados, se adhirió a los granos de mayor tamaño disponibles: grava fina, mediana, gruesa, muy gruesa y canto rodado. Esto pudo observarse principalmente en el horizonte inferior de PV y el horizonte medio de PD, donde el tamaño medio de grano disponible fue relativamente más pequeño. Considerando que las postlarvas de mitílidos que se adhieren a partículas de sedimento pequeñas están sujetas al transporte de carga de fondo (Commito et al. 2006), es probable que sólo sobrevivan las postlarvas que lograron adherirse a sustratos de mayor tamaño y sean éstas las que terminan formando el banco con las características propias del mejillinar de la BSA.

En PV, el tamaño de grano y el peso del sustrato adherido a los mejillines difirieron entre horizontes, no así entre estaciones. El horizonte medio de PV presentó el mayor tamaño de grano adherido a los bisos de *B. rodriguezii* para todas las estaciones del año; muy probablemente esta especie use los sedimentos en relación a su mayor disponibilidad en este horizonte, que son aquellos de mayor tamaño encontrados entre los horizontes analizados en este estudio: grava gruesa, muy gruesa y cantos rodados, mientras que el horizonte inferior de PV presentó el mayor peso de sedimento adherido a los mejillines. Este horizonte presentó la densidad de mejillines más altas y la mayor velocidad de flujo (Salas et al. 2016), siendo esta última atenuada dentro del denso banco de mitílidos por el efecto de conespecíficos (Mooser et al. 2006). Esto permitiría a los mejillines adherirse a los granos de mayor tamaño como grava fina, mediana y gruesa en menor medida, aunque no hayan sido éstos los de mayor disponibilidad (el sustrato disponible en mayor frecuencia es arena mediana), lo que podría explicar el aumento del peso del sedimento adherido. A diferencia de PV, en PD se registraron variaciones estacionales solamente en el horizonte inferior en relación con el peso y tamaño de grano del sustrato adherido a los mejillines. El tamaño de grano fue máximo en otoño, probablemente debido a que en esta estación los mejillines se adherieron en mayor proporción a grava gruesa, muy gruesa y/o cantos rodados que en las otras estaciones. El mayor peso del sustrato adherido fue para invierno, probablemente respondiendo a que fue la estación del año con mayor densidad de mejillines para este horizonte (Salas 2018). Esto generaría mayor cantidad de sedimento para que se fije un mayor número de mejillines. Cabe destacar que, en el horizonte medio de este sitio, el

sedimento disponible en mayor proporción es arena mediana y *B. rodriguezii* se adhiere en mayor proporción a grava mediana (que es el sedimento grueso disponible en mayor cantidad) así como también en menor proporción grava fina, y gruesa. Posiblemente los mejillines de este horizonte, que experimentan las velocidades de flujo y densidades poblacionales más bajas (Salas et al. 2016), individualmente estén sufriendo mayor estrés hidrodinámico, al carecer de la atenuación de los efectos hidrodinámicos de sus conespecíficos (Moeser et al. 2006), por lo que *B. rodriguezii* en este horizonte buscaría adherirse a sedimentos de mayor tamaño. Posiblemente este fenómeno de atenuación hidrodinámica de conespecíficos (Moeser et al. 2006) también esté afectando a los mejillines del horizonte medio de PV, pero no se perciba en adhesión a tamaños de grano mayores que los disponibles, ya que en sí para este horizonte los sedimentos con mayor frecuencia en el intermareal son aquellos de mayor tamaño. No se observaron variaciones estacionales en el peso y tamaño del sustrato adherido a los bisos de *B. rodriguezii* para ambos horizontes de PV y PD (excepto para otoño; ver detalle párrafo anterior). Por un lado, los mejillines en las diferentes estaciones se adhirieron a los mismos tamaños de grano, a pesar de las variaciones en la densidad de *B. rodriguezii*, principalmente en períodos reproductivos (Salas 2018) y por otro, las disposiciones y distribuciones del tipo de sedimento por horizonte de cada sitio de la Bahía posiblemente estén estrechamente relacionados a procesos geológicos que han ocurrido desde hace miles de años.

Cabe mencionar que algunos autores han atribuido las adaptaciones de mitílidos en intermareales sedimentarios, en gran medida, a la preferencia de asociación a su conespecífico, lo que les permite formar un conglomerado de mitílidos con sus bisos, que en sí mismo, incluso, podría ser más importante en la estabilidad del banco de mitílidos que el comportamiento de selección de cada ejemplar (Aguilera et al. 2017). En BSA, si bien *B. rodriguezii* se adhirió a los conespecíficos, se observó que la gran mayoría de los hilos bisales de cada mejillín se adhirieron en su mayoría directamente a los sustratos inertes, por lo que la elección por el sustrato inerte juega un rol muy importante en la Bahía. Esto se puede apreciar aún más en los horizontes medios de PD y PV, donde la densidad de *B. rodriguezii* es relativamente menor (Salas et al. 2016), y allí los individuos se presentan adheridos a los sedimentos de mayor tamaño disponibles, aunque no sean los de mayor frecuencia. A favor de la importancia de adhesión al sustrato inerte por parte de *B. rodriguezii* en este tipo de ambientes, wa Kangeri et al. (2014) mostraron, al igual que este trabajo, que para *M. edulis*

habitando intermareales de lodo, los individuos prefirieron la adhesión a restos de valvas que a los conespecíficos.

En conclusión, si bien no se puede evidenciar selección del tipo de grano por *B. rodriguezii* en el intermareal sedimentario mixto de la BSA, hay un uso preponderante de los sustratos de mayor tamaño de grano. Por tanto, se ha podido corroborar que el tamaño de grano en ambos horizontes de PV y PD, así como el peso del sustrato adherido en el horizonte medio de PD y PV, son recursos claves utilizados por *B. rodriguezii* como estrategia para permanecer en cada horizonte del intermareal.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera MA, Thiel M, Ullrich N, Luna-Jorquera G, Buschbaum C (2017) Selective byssus attachment behavior of mytilid mussels from hard- and soft- bottom coastal systems. *Marine Ecology Progress Series* 497, 61–70
- Aliotta S, Schnack EJ, Isla FI, Lizasoain GO (2000) Desarrollo secuencial de formas de fondo en un régimen macromareal. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 7 (1-2), 95–107
- Anderson MJ (2008) Animal-sediment relationships re-visited: Characterising species' distributions along an environmental gradient using canonical analysis and quantile regression splines. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366(1), 16–27
- Bell EC & Gosline JM (1997) Strategies for life in flow: tenacity, morphometry, and probability of dislodgement of two *Mytilus species*. *Marine Ecology Progress Series* 159, 197–208
- Blott S & Pye K (2001) Gradistat: a grain size distributions and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Process. Landforms* 26, 1237–1248
- Carbone ME, Perillo GME, Piccolo MC (2007) Dinámica morfológica de los ambientes costeros de Bahía San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro. *Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas* 32, 83–91
- Commito JA, Dow WE, Grupe BM (2006) Hierarchical spatial structure in soft-bottom mussel beds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 330(1), 27–37

- Cruz-Motta JC, Underwood AJ, Chapman MG, Rossi F (2003) Benthic assemblages in sediments associated with intertidal boulder-fields. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 285, 383–401
- Dickson ME, Kench PS, Kantor MS (2011) Longshore transport of cobbles on a mixed sand and gravel beach, southern Hawke Bay, New Zealand. *Marine Geology* 287(1), 31–42
- Escofet AM, Orensanz JM, Olivier SR, Scarabino V (1977) Biocenología bentónica del Golfo San Matías (Río Negro, Argentina): Metodologías, experiencias y resultados del estudio ecológico de un gran espacio geográfico en América Latina. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 5 (1), 59–82
- Fanjul ME, Grela MA., Iribarne O (2007) Effects of the dominant SW Atlantic intertidal burrowing crab *Chasmagnathus granulatus* on sediment chemistry and nutrient distribution. *Marine Ecology Progress Series* 341, 177–190
- Firstater FN, Narvarte M, Alvarez MF, Fanjul ME, Iribarne OO (2016) Cordgrass canopy elicits weak effects on sediment properties and microphytobenthic abundance in a harsh environment. *Marine Ecology Progress Series* 550, 101–110
- Folk RL & Ward WC (1957) Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sediment Petrology* 27, 3–26
- González PM, Piersma T, Verkuil Y (1996) Food feeding and refuelling of Red Knots during northward migration at San Antonio Oeste, Río Negro, Argentina. *Journal of Field Ornithology* 67, 575–591
- Gray JS, Wu RSS, Or YY (2002) Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series*, 238, 249–279
- Gutiérrez JL, Jones CG, Strayer DL, Iribarne O (2003) Molluscs as ecosystems engineers: the role of the shell production in aquatic habitats. *Oikos* 101, 79–90
- Harris RJ, Pilditch CA, Greenfield BL, Moon V, Kröncke I (2016) The Influence of Benthic Macrofauna on the Erodibility of Intertidal Sediments with Varying mud Content in Three New Zealand Estuaries. *Estuaries and coasts* 39(3), 815–828

- Horn DP & Walton SM (2007) Spatial and temporal variations of sediment size on a mixed sand and gravel beach. *Sedimentary Geology* 202, 509–528
- Kokot RR & Favier-Duvois CM (2017) Ecolución geomorfológica de la Bahía San Antonio, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 74(3), 315–325
- Moeser GM, Leba H & Carrington E (2006) Seasonal influence of wave action on thread production in *Mytilus edulis*. *The Journal of Experimental Biology* 209, 881–890
- Olivier SR, de Paternoster IK, Bastida R (1966) Estudios Biocenóticos en las costas de Chubut (Argentina) I. Zonación biocenológica de Puerto Pardelas (Golfo Nuevo). *Boletín Instituto de Biología Marina* 10, 5–71
- Park CS & Hwang EK (2011) An investigation of the relationship between sediment particles size and the development of green algal mats (*Ulva prolifera*) on the intertidal flats of Muan, Korea. *Journal of Applied Phycology* 23, 515–522
- Perillo GME, (2002) Dinámica del transporte de sedimentos. Ed. Asociación Argentina de Sedimentología, 201pp
- Piola AR & Scasso LM (1988) Circulación en el Golfo San Matías. *Geoacta* 15(1), 33–51
- Reise K (2002) Sediment mediated species interactions in coastal waters. *Journal of Sea Research* 48, 127–141
- Saad JF, Narvarte MA, Abrameto MA, Alder VA (2019) Drivers of nano-and microplanktonic community structure in a Patagonian tidal flat ecosystem. *Journal of Plankton Research* 41(5), 621–639
- Salas MC, Narvarte MA, Defeo O (2016) Attachment features of mytilids in ecosystems with mobile substrate: *Brachidontes rodriguezii* in San Antonio Bay (Patagonia, Argentina). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2016, 96(7), 1449–1456
- Salas MC (2018) Evaluación del mejillín *Brachidontes rodriguezii* como modificador del hábitat en ambientes intermareales de sustrato móvil y efectos sobre la estructura comunitaria asociada. PhD Thesis, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- Snelgrove PVR & Butman CA (1994) Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. *Oceanography and marine biology: an annual review* 32, 111–177

- Thrush SF, Hewitt JE, Norkko A, Nicholls PE, Funnell GA, Ellis JI (2003) Habitat change in estuaries: predicting broad-scale responses of intertidal macrofauna to sediment mud content. *Marine Ecology Progress Series* 263, 101–112
- Thrush SF, Hewitt JE, Gibbs M, Lundquist C, Norkko A (2006) Functional role of large organisms in intertidal communities: community effects and ecosystem function. *Ecosystems* 9(6), 1029–1040
- Underwood AJ, Underwood AL, Underwood AJ, Underwood AJ (1997) *Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge university press
- Vaughn CC (2018) Ecosystem services provided by freshwater mussels. *Hydrobiologia* 810(1), 15–27
- Wahl M & Hoppe K (2002) Interaction between substratum rugosity, colonization, density and periwinkle grazing efficiency. *Marine Ecology Progress Series* 225, 239–249
- wa Kangeri AK, Jansen JM, Joppe DJ, Dankers NMJA (2016) In situ investigation of the effects of current velocity on sedimentary mussel bed stability. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 485, 65–72
- wa Kangeri AK, Jansen JM, Barkman BR, Donker JJA, Joppe DJ, Dankers NMJA (2014) Perturbation induced changes in substrate use by the blue mussel, *Mytilus edulis*, in sedimentary systems. *Journal of Sea Research* 85, 233–240
- Widdows J & Brinsley M (2002) Impact of biotic and abiotic processes on sediment dynamics and the consequences to the structure and functioning of the intertidal zone. *Journal of Sea Research* 48, 143–156