

NOTA CIENTÍFICA

Abundancia y estructura poblacional de dos recursos pesqueros bentónicos fuera y dentro del área de una concesión marítima portuaria en Caldera, Región de Atacama, Chile

Abundance and population structure of two benthic fishing resources outside and inside a port maritime concession area in Caldera, Region of Atacama, Chile

J.M. Alonso Vega^{1,2*}, Marcelo Valdebenito¹, Luis Caillaux¹ y Jorge Bravo³

¹Centro de Estudios Avanzados en Ambientes Marinos, CEAMAR, Eduardo de la Barra 210, La Serena, Chile

²Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Católica del Norte, Casilla 117, Coquimbo, Chile

³Gerencia de Medio Ambiente, Minera Candelaria, Lundin Mining Corporation, Copiapó, Chile

*Autor correspondiente: avega@ceamar.cl

Abstract. This study compares density and size structure of kelp *Lessonia berteroana* and sea urchins *Loxechinus albus* inside and outside a port concession area in Caldera. Greater abundance and larger adult individuals in populations of both benthic resources in this zone preliminarily indicates that this might be replicating a marine protected area. In the future, this port concession could contribute to the conservation of benthic resources as a reference site, without access to fisheries, useful for validating or implementing measures and actions in management plans or other instruments to support conservation.

Key words: Fisheries, coastal management, marine conservation, northern Chile

INTRODUCCIÓN

El borde costero es uno de los ambientes más impactados del mundo. Entre los impactos destaca la extracción pesquera, porque disminuyen la abundancia y la talla de los ejemplares que componen las poblaciones de los recursos objetivos (Thiel *et al.* 2007). Esta situación es comúnmente observada en la pesquería artesanal que extrae recursos bentónicos en el borde costero (Castilla 1999, 2000). Actualmente en Chile existen distintas estrategias de conservación para el manejo de las pesquerías bentónicas. Como estrategia de conservación están los planes de manejo regionales o locales, que entre sus medidas incluyen restricciones de acceso, cuotas y vedas (Gelcich *et al.* 2015). Otra estrategia son las áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB), que se basan en la asignación de derecho de uso territorial y el co-manejo pesquero usuario-Estado (Gelcich *et al.* 2012); y también están las áreas protegidas (*e.g.*, Reserva, Parque Nacional), incluida la conservación privada (Castilla & Rho 1997), donde no se realiza extracción de recursos (Jorquera-Jaramillo *et al.* 2012).

Entre los logros obtenidos en las áreas marinas costeras protegidas destaca el aumento de la abundancia y de la fracción de adultos en las poblaciones de especies explotadas (Castilla 1999). Estos resultados son relevantes al momento de implementar medidas y acciones en los planes

de manejo porque frecuentemente generan resistencia social y conflictos económicos (Castilla 2000, Gelcich *et al.* 2015). Las áreas marinas protegidas son una oportunidad para proponer, validar o mejorar las medidas y acciones de los planes de manejo desarrollados para la conservación de los recursos bentónicos, así como para continuar con el proceso de comprensión del funcionamiento de los ecosistemas marinos costeros, poco estudiados en el norte de Chile.

Las áreas marinas protegidas son escasas en Chile (Fernández & Castilla 2005), pero muy útiles para monitorear el grado de presión extractiva de los recursos bentónicos en las áreas de libre acceso a la pesquería (Castilla 1999, 2000). También son fundamentales para demostrar los efectos positivos de la conservación y del uso sustentable de los recursos marinos, usándolas como áreas referenciales del estado íntegro del ecosistema o sea sin impacto pesquero (Vega *et al.* 2014). En Chile, el borde costero de las concesiones marítimas portuarias puede estar abierto o cerrado a la pesca artesanal, dependiendo de la política de vinculación con el medio y de los compromisos de seguridad internacional adquiridos por la empresa portuaria (Piniella & Rasero 2015). Entonces, una concesión marítima portuaria cerrada a la pesquería podría cumplir la misma función que un área marina protegida. Una manera preliminar de demostrar lo anterior es comparando algunos

atributos poblacionales (*e.g.*, abundancia, estructura de talla) de recursos bentónicos representativos (*e.g.*, *Lessonia berteroa*, *Loxechinus albus*) en sitios ubicados dentro y fuera de la concesión marítima.

Las concesiones marítimas portuarias ubicadas en la costa rocosa de la Región de Atacama permiten establecer si estas contribuyen a la conservación de los recursos bentónicos actuando como áreas marinas protegidas, a través de la medición de las variables poblacionales más influenciadas por la pesquería (*i.e.*, abundancia, estructura de tallas). Primero, porque hay puertos con concesiones marítimas cerradas a las pesquerías bentónicas. Segundo, porque el norte de Chile es uno de los ecosistemas costeros más productivos del mundo, muy impactado por la extracción de invertebrados y algas que caracterizan la biota de ambientes rocosos (Thiel *et al.* 2007). Tercero, porque hay distintas estrategias de administración pesqueras que se resumen en un sistema de áreas de manejo intercaladas por áreas de libre acceso a las pesquerías, y una escasa disponibilidad de áreas marinas protegidas (Castilla 2000, Fernández & Castilla 2005). Considerando la necesidad de avanzar en el desarrollo de planes de manejo para la conservación de los recursos bentónicos, se pueden disponer de áreas referenciales para implementar, validar o corregir medidas y acciones de manejo consensuadas entre los usuarios y la administración pesquera. El objetivo de este estudio fue comparar la abundancia y estructura de talla poblacional de dos recursos bentónicos fuera y dentro de un área de concesión marítima portuaria, como es el caso del Puerto Punta Padrones de Minera Candelaria, ubicado en la Bahía de Caldera, Región de Atacama, para demostrar el impacto de la pesquería sobre los recursos bentónicos que caracterizan la biota local; y proponer que la concesión marítima portuaria cerrada actúa de manera equivalente a un área marina protegida con designación de conservación privada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está ubicada en Caldera, Región de Atacama, y considera la línea costera dentro e inmediatamente fuera de la concesión marítima de Puerto Punta Padrones (-27,05217°S, -70,84063°W). Dentro de la concesión marítima no se realiza ningún tipo de actividad extractiva o recreativa debido a los compromisos internacionales de seguridad portuaria adquiridos por la empresa a través del Código ISPS (siglas en inglés

“International Ship and Port Facility Security Code”) de la Organización Marítima Internacional (IMO 2018)¹ (Piniella & Rasero 2015), desde el 2010. Para cumplir con los compromisos del código ISPS, los límites de la concesión están protegidos por rejas metálicas de contención, vigilancia permanente a través de cámaras, señalética adecuada y guardias de seguridad que evitan efectivamente el ingreso de cualquier persona al borde costero, incluso trabajadores y contratistas de la empresa portuaria. En cambio, el litoral adyacente a la concesión es un área de libre acceso a la actividad pesquera, donde se realizan distintas actividades, como marisqueo, pesca, extracción de algas pardas, entre otras (Olguín *et al.* 2012, Vega *et al.* 2014). Los recursos pesqueros bentónicos seleccionados para realizar el estudio fueron el huiro negro *Lessonia berteroa* Montagne, y el erizo de mar *Loxechinus albus* (Molina, 1782), porque ambas especies tienen importancia ecológica, social y económica en la Región de Atacama (Olguín *et al.* 2012, Vega *et al.* 2014, Vega 2016). El área de estudio presenta un cinturón continuo de *L. berteroa* característico de ambientes rocosos expuestos al oleaje, que varía en extensión y abundancia relativa dependiendo de la pendiente y la exposición al oleaje. Bajo el cinturón de *L. berteroa*, se observa la comunidad de fondos blanqueados caracterizada por el dominio en la cobertura de algas crustosas calcáreas y agregaciones de erizos *Tetrapyguis niger* y *L. albus* (Vásquez & Vega 2004). El muestreo fue realizado durante los días de mareas más bajas de julio y agosto 2018.

El área de estudio fue dividida en dos zonas de 250 m de línea de costa, denominadas dentro (-27,05198°S, -70,84206°W) y fuera (-27,05080°S, -70,84965°W) de la concesión marítima. En cada zona se ubicaron dos sitios de muestreo (*ca.* 50 m de línea costera) y en cada sitio se estimó la abundancia y la estructura de tallas de *L. berteroa* y de *L. albus* en 5 cuadrantes lanzados aleatoriamente sobre el sustrato rocoso. Las plantas dentro de cada cuadrante de 1 m² fueron contadas y medidas, diámetro mayor del disco de adhesión, para elaborar la estructura de tallas de la población. Al mismo tiempo y de manera independiente, en cada sitio se estimó la abundancia de *L. albus* en cinco cuadrantes de 1 m² lanzados aleatoriamente sobre el sustrato rocoso. También, se estimó la abundancia usando la CPUE (Captura por Unidad de Esfuerzo) contando los individuos de *L. albus* observados durante 10 min de búsqueda en las grietas y pozas de cada zona por sitio de muestreo durante la marea baja. Complementariamente se midió el diámetro de la testa de al menos 50 individuos por sitio de muestreo para determinar la estructura de tallas de la población.

¹IMO. 2018. International ship and port facility security (ISPS) code (SOLAS Reg. XI-2). <<http://www.imo.org>>

La abundancia de ambos recursos bentónicos fue comparada fuera y dentro del área de la concesión marítima portuaria usando análisis de varianza (ANDEVA), considerando al sitio como un factor anidado. La distribución normal y homocedasticidad de la varianza fue verificada con la prueba de Barlett y prueba de Lilliefors antes de realizar los análisis estadísticos. Cuando el ANDEVA presentó diferencias significativas se aplicó la prueba *a posteriori* de Tukey (Quinn & Keough 2002). Para establecer diferencias significativas en la fracción de individuos adultos de cada recurso bentónico dentro y fuera de la concesión marítima portuaria se realizó una Tabla de Contingencia usando la prueba de χ^2 (Quinn & Keough 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densidad de *L. berteroana* dentro de la concesión marítima portuaria fue significativamente menor que fuera (ANDEVA $F_{(1,16)} = 6,804$, $P = 0,019$; Fig. 1A). En cambio, al comparar las plantas adultas (> 20 cm de diámetro del disco de adhesión) la densidad de *L. berteroana* fue significativamente mayor dentro de la concesión marítima (ANDEVA $F_{(1,16)} = 8,000$, $P = 0,012$; Fig. 1B). La estructura de tallas de la población de *L. berteroana* dentro de la concesión marítima portuaria se caracterizó por una fracción representativa de plantas adultas, mientras que fuera esta fracción estuvo ausente, predominando las plantas juveniles y reclutas (Tabla de Contingencia, $\chi^2 = 24,76$, $P < 0,001$; Fig. 1C). Cabe destacar que la frecuencia de plantas reproductivas, basada en la presencia de soros en las láminas de las frondas (Vega *et al.* 2014), fuera de la concesión marítima fue de 18%, mientras que dentro fue de 39%.

La densidad de *L. albus* dentro de la concesión marítima portuaria fue significativamente mayor que la encontrada fuera (ANDEVA $F_{(1,16)} = 50,378$, $P < 0,001$; Fig. 2A). Lo mismo ocurrió cuando se estima la abundancia a través de la CPUE (ANDEVA $F_{(1,16)} = 29,736$, $P < 0,001$; Fig. 2B). La estructura de tallas de la población de *L. albus* dentro de la concesión marítima del puerto presentó una fracción de individuos por sobre 9 cm de diámetro que está escasamente representada fuera de la concesión (Tabla de Contingencia, $\chi^2 = 4,63$, $P = 0,032$; Fig. 2C).

En general, los resultados obtenidos en este estudio para ambos recursos bentónicos muestran un incremento significativo de la densidad y del tamaño de los individuos adultos dentro de la concesión marítima portuaria. Esta evidencia sugiere de manera preliminar que una concesión marítima portuaria cerrada al acceso de la pesquería bentónica actuaría como un área marina protegida, tal como fue previamente reportado para otros recursos pesqueros (*e.g.*, *Concholepas concholepas*, *Pyura praeputialis*) en Antofagasta (Castilla & Rho 1997). Complementariamente, los resultados sugieren que fuera de la concesión marítima portuaria hay una fuerte presión extractiva sobre ambos recursos bentónicos. A nivel local, estos resultados toman relevancia al momento de discutir si las medidas y acciones de manejo han sido efectivas para la conservación de recursos pesqueros bentónicos, como *L. berteroana* y *L. albus*.

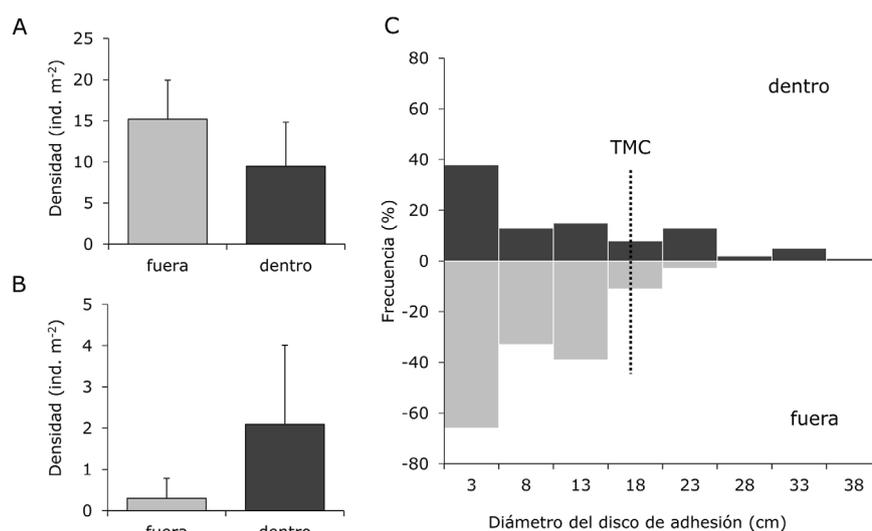


Figura 1. A) Densidad total, B) Densidad de plantas adultas, y C) Estructura de tallas de la población de *Lessonia berteroana* fuera y dentro del área de concesión marítima portuaria. Talla Mínima de Captura (TMC) y de planta adulta fue de 20 cm de diámetro del disco de adhesión del individuo / A) Total density, B) Density of adult plants and C) Size structure of the *Lessonia berteroana* population outside and inside of the port maritime concession area. Adult plant and Minimum Capture Size (TMC) was 20 cm of holdfast diameter of individual

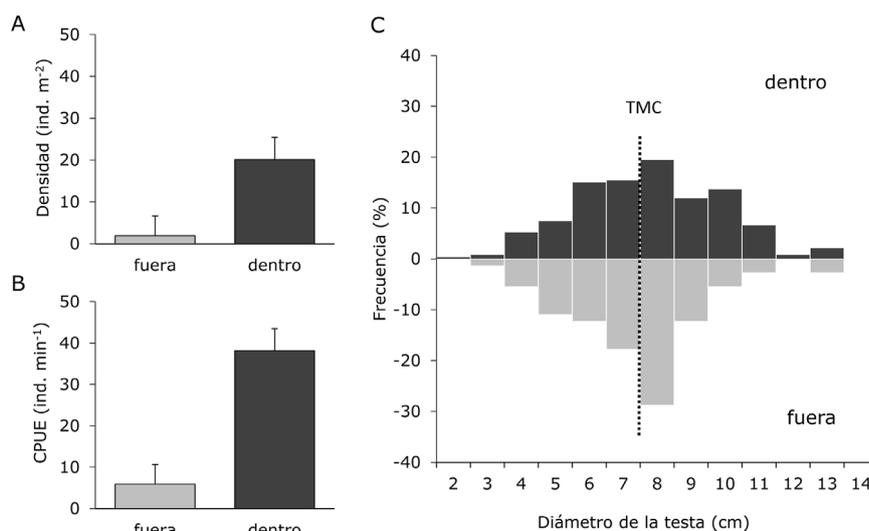


Figura 2. A) Densidad total, B) Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE), y C) Estructura de tallas de la población de *Loxechinus albus* fuera y dentro del área de concesión marítima portuaria. Talla mínima de captura (TMC) fue de 7 cm de diámetro de la testa / A) Total density, B) Catch per Unit of Effort (CPUE), and C) Size structure of the *Loxechinus albus* population outside and inside of the port maritime concession area. Minimum Capture Size (TMC) was 7 cm in diameter of the testa

La densidad y estructura de tallas de *L. berteroana* dentro de la concesión marítima portuaria muestran tendencias similares a lo reportado para este recurso en áreas marinas protegidas en Atacama (Reserva Marina Pingüino de Humboldt, Vega *et al.* 2014), y caracterizan una pradera íntegra sin efectos de la pesquería (Fig. 3). La densidad de *L. albus* dentro de la concesión marítima portuaria fue mayor que fuera, con individuos un 7% más grandes en promedio. La alta variabilidad en la densidad poblacional de *L. albus* está relacionada con la distribución en parches de los microhábitats que ocupa este recurso en el borde costero, así como a la extracción continua de los individuos más grandes (Gelcich *et al.* 2012, Olguín *et al.* 2012). *L. albus* habita preferentemente ambientes rocosos expuestos al oleaje, donde frecuentemente se encuentran formando agregaciones (Fig. 3).

La densidad y estructura de tallas de la población de *L. berteroana* fuera de la concesión marítima portuaria indican una alta presión de cosecha por parte de los pescadores artesanales (Vega *et al.* 2014). La reducción de tallas indica una población de *L. berteroana* dominada por juveniles, lo cual es un fenómeno común en el cinturón de algas pardas de áreas de libre acceso en la costa de la Región de Atacama (Fig. 3), debido a la constante y continua remoción de las plantas más grandes desde las rocas (Vega 2016). En cambio, la extracción de *L. albus* en Atacama está dirigida a los individuos más grandes, por sobre la talla límite de extracción para el recurso (Olguín *et al.* 2012), lo cual es coincidente con lo registrado fuera de la concesión marítima portuaria. El registro de los conchales de *L. albus* en el área

de estudio mostró que la talla de captura tuvo un diámetro promedio de la testa de $10,0 \pm 1,2$ cm ($n=89$). Lo anterior, se debe a que la extracción de erizos rojos en la Región de Atacama está dirigida principalmente al mercado minorista local (Olguín *et al.* 2012), que requiere de cualidades organolépticas particulares para su comercialización, por ejemplo gónadas grandes y amarillas (Frayse *et al.* 2017).

Los resultados de este estudio proporcionan información preliminar útil para el manejo y conservación de los recursos bentónicos a nivel local. Primero, porque las concesiones marítimas portuarias cerradas a las pesquerías bentónicas podrían ser consideradas como una estrategia de conservación alternativa no formalizada equivalente a un área marina protegida, con designación de conservación privada. Segundo, porque los cambios en la densidad y estructura de talla de *L. berteroana* y *L. albus* tienen efectos en la estructura y organización de las comunidades rocosas del borde costero que requieren ser profundizados con estudios de mediano o largo plazo (Castilla 1999, 2000; Fernández & Castilla 2005). Cabe destacar que el área de estudio está cerca de una zona urbana (Caldera), donde la sobreposición de usos del borde costero requiere de más investigación. Por tanto, esta es una oportunidad para impulsar estudios poblacionales de recursos pesqueros, de sus hábitats y de las comunidades asociadas, así se contribuye a determinar las diferencias en la presión de pesca entre sitios. Finalmente, es necesario establecer sitios de referencia, sin acceso a las pesquerías, que permitan validar, corregir o desarrollar medidas y acciones implementadas en los planes de manejo regionales (*e.g.*,



Figura 3. Población de *Lessonia berteroa* fuera (a) y dentro (b) del área de concesión marítima portuaria, Puerto Punta Padrones. Agregaciones de erizos de mar *Loxechinus albus* y *Tetrapygus niger* fuera (c) y dentro (d) del área de concesión marítima portuaria / Population of *Lessonia berteroa* outside (a) and inside (b) of the port maritime concession area. Sea urchin aggregations of *Loxechinus albus* and *Tetrapygus niger* outside (c) and inside (d) of the port maritime concession area

Plan de Manejo de algas pardas de Atacama) o instrumentos de apoyo a la conservación de recursos pesqueros (e.g., Ley de cultivo y repoblamiento de algas), su contribución puede ser un elemento clave para el diseño de una red de áreas protegidas en la costa de Atacama y del norte de Chile, que abarcaría uno de los ecosistemas costeros más productivos y explotados del mundo (Thiel *et al.* 2007).

AGRADECIMIENTOS

CEAMAR agradece el financiamiento de Minera Candelaria para el desarrollo de este estudio, la ayuda en terreno de I. Quiroz, C. Varela y E. Peñalver, y de N. Piaget en el análisis de los datos. También se agradece las correcciones, sugerencias y comentarios constructivos al manuscrito de tres revisores anónimos.

LITERATURA CITADA

- Castilla JC. 1999.** Coastal marine communities: trends and perspectives from human-exclusion Experiments. *Trends in Ecology & Evolution* 14(7): 280-283.
- Castilla JC. 2000.** Roles of experimental marine ecology in coastal management and conservation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 250(1-2): 3-21.
- Castilla JC & E Rho. 1997.** Conservación y repoblamiento en el litoral del norte de Chile: El caso de minera escondida en punta Coloso, Antofagasta Chile. *Estudios Oceanológicos* 16: 51-66.
- Fernández M & JC Castilla. 2005.** Marine conservation in Chile: historical perspective, lessons, and challenges. *Conservation Biology* 19: 1752-1762.
- Frayse C, G Malanga & AF Pérez. 2017.** Effects of artificial diets with different carotene content on the organoleptic characteristics of the gonads and reproductive condition of *Loxechinus albus* (Echinodermata: Echinoidea) *Revista de Biología Tropical* 65(Suppl. 1): S207-S220.

- Gelcich S, M Fernández, N Godoy, A Canepa, L Prado & JC Castilla. 2012.** Territorial user rights for fisheries as ancillary instruments for marine coastal conservation in Chile. *Conservation Biology* 26: 1005-1015.
- Gelcich S, A Pinto, J Rivera, G Jerez & L Burotto. 2015.** Exploring opportunities to include local and traditional knowledge in the recently created “Marine Management Plans” policy of Chile. In: Fischer J, J Jorgensen, H Josupeit, D Kalikoski & CM Lucas (eds). *Fishers’ knowledge and the ecosystem approach to fisheries: Applications, experiences and lessons in Latin America*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 591: 247-262.
- Jorquera-Jaramillo C, JMA Vega, J Aburto, K Martínez-Tillería, MF León, MA Pérez, CF Gaymer & FA Squeo. 2012.** Biodiversity conservation in Chile: New challenges and opportunities in terrestrial and marine coastal ecosystems. *Revista Chilena de Historia Natural* 85(3): 267-280.
- Olguín A, C Vicencio, A Aguilera & P Araya. 2012.** Monitoreo de la actividad extractiva y comercial de la pesquería del pulpo, erizo y lapa en la Región de Atacama, año 2011. En: Informe Final, Pesca de Investigación, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, 49 pp.
- Piniella F & JC Rasero. 2015.** Maritime Security: Towards a global identification. *Journal of Maritime Research* 12(1): 17-24.
- Quinn GP & MJ Keough. 2002.** Experimental design and data analysis for biologists, 537 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
- Thiel M, EC Macaya, E Acuña, WE Arntz, H Bastias, K Brokordt, P Camus, JC Castilla, L Castro, M Cortés, CP Dumont, R Escribano, M Fernandez, J Gajardo, C Gaymer, I Gomez, A González, H González, P Haye, J Illanes, J Iriarte, D Lancellotti, G Luna-Jorquera, C Luxoro, P Manriquez, V Marín, P Muñoz, S Navarrete, E Perez, E Poulin, J Sellanes, H Sepúlveda, W Stotz, F Tala, A Thomas, C Vargas, J Vásquez & JMA Vega. 2007.** The Humboldt Current System of Northern and Central Chile: oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 45: 195-344.
- Vásquez JA & JMA Vega. 2004.** Ecosistemas marinos costeros del Parque Nacional Bosque Fray Jorge. En: Squeo FA (ed). *Historia natural del Parque Fray Jorge*, pp. 235-252. Universidad de La Serena, La Serena.
- Vega JMA. 2016.** Fauna asociada a discos de adhesión del complejo *Lessonia nigrescens*. ¿Es un indicador de integridad ecológica en praderas explotadas de huiro negro, en el norte de Chile? *Latin American Journal of Aquatic Research* 44(3): 623-637.
- Vega JMA, BR Broitman & JA Vásquez. 2014.** Monitoring the sustainability of *Lessonia nigrescens* (Laminariales, Phaeophyceae) in northern Chile under strong harvest pressure. *Journal of Applied Phycology* 26(2): 791-801.

Recibido el 10 de diciembre de 2018 y aceptado el 9 de julio de 2019

Editor: Claudia Bustos D.