

Short Communication

Copépodos (Crustacea) intermareales en islas oceánicas chilenas: un enfoque por modelos nulos y por biogeografía de islas

Patricio De los Ríos-Escalante^{1,2} & Carolina Barrera³

¹Laboratorio de Ecología Aplicada y Biodiversidad, Escuela de Ciencias Ambientales
Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco, P.O. Box 15-D, Temuco, Chile
²Núcleo de Estudios Ambientales, Universidad Católica de Temuco, P.O. Box 15-D, Temuco, Chile

³Escuela de Acuicultura, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco
P.O. Box 15-D, Temuco, Chile

RESUMEN. Los copépodos intermareales chilenos han sido un grupo poco estudiado, existiendo reportes aislados para el litoral de Chile central y para territorios insulares. El objetivo del presente estudio fue analizar los ensambles de especies de copépodos intermareales en territorios insulares chilenos (islas de Pascua, San Félix, Alejandro Selkirk y Robinson Crusoe) y compararlas respecto a una zona del continente (Montemar, Valparaíso), por medio de un análisis de modelo nulo de co-ocurrencia de especies y un análisis de conglomerados. Los resultados del modelo nulo indicaron, para una simulación, que hay factores reguladores, mientras que en dos simulaciones no hay factores reguladores, lo que se debería al bajo número de especies reportadas. Por otro lado, el análisis de conglomerados reportó la existencia de un grupo principal conformado por las islas Alejandro Selkirk, San Félix y Robinson Crusoe, seguido después por la isla de Pascua y finalmente por Montemar. Se analizaron tópicos ecológicos, principalmente relacionados con los patrones de regulación de la riqueza de especies, como posibles explicaciones de los resultados observados.

Palabras clave: copépodos intermareales, islas, modelos nulos, biogeografía, Pacífico suroriental.

Intertidal copepods (Crustacea) in Chilean oceanic islands: a standpoint by null models and island biogeography

ABSTRACT. Chilean intertidal copepods have been a little studied group, there are isolated reports for the central Chilean coast and island territories. The aim of this study was to analyze intertidal copepod assemblages on Chilean islands territories (Easter Island, San Felix, San Ambrosio, Alejandro Selkirk and Robinson Crusoe islands) and compare them with respect to an area of the continental coastal zone (Montemar, Valparaíso), through null model analysis of species co-occurrence and a cluster analysis. Null model results indicated, for a simulation, the existence of regulatory factors, while two simulations showed no regulatory factors, that would presumably due to the low number of species reported. Moreover, cluster analysis revealed the existence of a core group comprising the islands Alejandro Selkirk, San Felix, and Robinson Crusoe, followed later by Easter Island, and finally Montemar. Ecological topics were analyzed, mainly related with regulation patterns of species richness, as possible explanations for the observed results.

Keywords: intertidal copepods, island, null models, biogeography, southeastern Pacific.

Corresponding author: Patricio De los Ríos-Escalante (prios@uct.cl)

La biogeografía estudia los patrones de distribución espacial de las especies, para entender los procesos de regionalización biótica del planeta (Morrone, 2004), y se divide en dos grandes campos: Biogeografía ecológica y Biogeografía histórica. En este último campo, se ha desarrollado un enfoque conocido como “panbiogeografía” el cual enfatiza la dimensión espacial o geográfica de la biodiversidad, para

permitir una mejor comprensión de los patrones y procesos evolutivos (Morrone, 2003, 2004). Relacionado con América del Sur, se reconoce que la cordillera de los Andes divide al continente en dos áreas: occidental y oriental. Los taxa que habitan en el sector occidental, comúnmente se asignan a trazos generalizados que conectan esta área con Australia y Nueva Zelanda, mientras que el sector oriental se

asigna a trazos generalizados que conectan con los tópicos del viejo mundo. El término viejo mundo es más bien usado por historiadores, mientras que acá es más adecuado hablar de Asia, África y Europa (Morrone, 2001).

Los estudios de fauna marina intermareal chilena en decápodos (Retamal & Moyano, 2010) indican la presencia de patrones de distribución definidos para el territorio continental, existiendo dos áreas, una zona chileno-peruana (18-42°S) y una Magallánica que incluye la zona continental al sur de los 42°S. Por otro lado, los territorios insulares comprenden dos zonas diferentes, un primer grupo conformado por el archipiélago Juan Fernández (33°40'S, 79°00'W), otro por las islas Desventuradas (ca. 26°20'S, 80°W); un tercer grupo donde está isla de Pascua (27°09'S, 109°25'S); y, finalmente la isla Salas y Gómez (25°S, 100°W). Resultados relativamente similares fueron observados en estudios de peracáridos (González *et al.*, 2008), no obstante, hace falta más estudios para otros grupos de crustáceos marinos. En este contexto, los copépodos son un grupo que forma parte importante de la fauna intermareal. En Chile, los estudios están restringidos principalmente a reportes de especies para la zona de Valparaíso (Goddard & Zúñiga, 1995) y territorios insulares (Goddard, 2003, 2006).

El objetivo del presente estudio fue analizar las comunidades de copépodos intermareales a través de una revisión bibliográfica sobre comunidades reportadas en islas oceánicas chilenas: isla de Pascua, islas Robinson Crusoe, Alejandro Selkirk y San Félix, con respecto a Montemar una zona litoral continental localizada cerca de Valparaíso, para determinar si existe algún patrón de ordenamiento en las asociaciones de especies, mediante el uso de modelos nulos (Gotelli & Graves, 1996).

Se efectuó una revisión de la literatura (Tabla 1), para luego realizar un meta-análisis según la descripción de Luiselli *et al.* (2007) y Luiselli (2008a, 2008b). Para esto se consideró la revisión en la literatura de los trabajos sobre copépodos intermareales de los territorios insulares chilenos (Goddard, 2003, 2006) y de la zona de Montemar (Goddard & Zúñiga, 1995), que se basaron en colectas de especímenes adultos en los sitios antes mencionados. Sobre esta base se construyó una matriz de presencia y ausencia de especies para estudiar si las asociaciones de especies son aleatorias o tienen algún patrón regulador.

A los datos de asociaciones de especies se les consideró aleatorios y, en este caso, se consideró aplicar el "índice de ponderación C" (Tondoh 2006; Tiho & Johens 2007), que determina la co-ocurrencia de especies basado en el manejo de una matriz de

presencia y ausencia de especies. Sobre la base de las metodologías de Gotelli (2000), Tondoh, (2006) y Tiho & Johens (2007), la matriz de presencia y ausencia, que contiene las especies en las filas y los sitios en las columnas, se analizó según las siguientes simulaciones: a) Modelo fijo-fijo: en este algoritmo las filas y columnas originales no son alteradas, y así cada simulación aleatoria contiene el mismo número de especies de la comunidad original (columna fija) y cada especie ocurre en la misma frecuencia que en la comunidad original (fila-fija). Esta instancia no permite la presencia de errores tipo I, que consisten en rechazar falsamente la hipótesis nula, y es muy robusto para detectar la falta de aleatorización (Gotelli, 2000; Tondoh 2006; Tiho & Johens, 2007); b) Modelo fijo-equiprobable: en esta simulación solo la suma de las columnas está fija, mientras que las columnas que corresponden a los sitios se considera como equiprobable. Este modelo nulo considera todos los sitios (correspondientes a las columnas de la matriz) como igualmente disponibles para todas las especies (Gotelli, 2000; Tiho & Johens, 2007); c) Modelo fijo-proporcional: en este algoritmo la ocurrencia total de especies se mantiene como en la comunidad original, y la probabilidad que alguna especie se presente en un sitio (columna) es proporcional al total de la columna por sitio (Gotelli, 2000; Tondoh 2006; Tiho & Johens, 2007). Los datos fueron analizados mediante el programa Ecosim versión 7.0 (Gotelli & Entsminger, 2009). En una segunda instancia, se realizó un análisis de conglomerado de Jaccard, con enlace simple, para determinar los grupos similares, por medio del programa Biodiversity Pro (Mc Aleece *et al.*, 1997).

Los resultados del modelo nulo indican que en un modelo las asociaciones de especies no son aleatorias, es decir que hay factores reguladores, mientras que en los dos modelos restantes indica que las asociaciones de especies son aleatorias, o sea que no hay factores reguladores (Tabla 2). Los resultados del índice de Jaccard, muestran la presencia de dos sitios muy similares que son las islas Alejandro Selkirk y San Félix, y a este grupo se agrega la isla Robinson Crusoe, de manera más distante, se agrega primero isla de Pascua y después, finalmente, como el más diferente, Montemar cerca de Valparaíso (Fig. 1).

Los resultados indican que existe un patrón regulatorio de las asociaciones de especies, con la superficie de los hábitats considerados y por ende su heterogeneidad. Si se considera las descripciones de los territorios insulares chilenos (Bahamonde, 1987; Rozbasczylo & Castilla, 1987; Goddard, 2003), la isla de Pascua es la más alejada del continente (a 3500 km), y es la de mayor superficie y con gran diversidad de hábitats en la zona litoral que comprende zonas

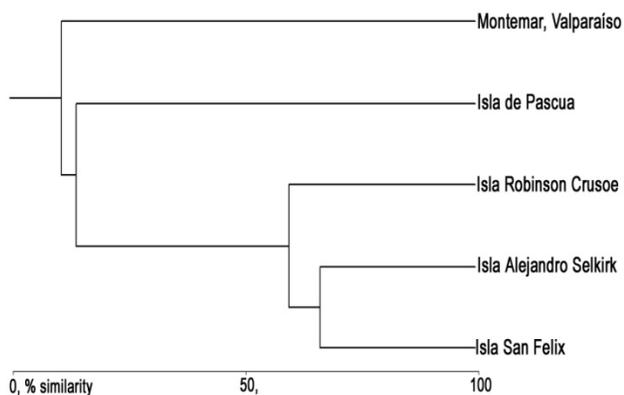


Figura 1. Dendrograma de Jaccard con los sitios considerados en el presente estudio.

rocosas y arenosas con distinto grado de exposición al oleaje e intervención antrópica (Goddard, 2003). Una situación muy diferente sucede con las otras islas consideradas en el presente estudio, que son de menor superficie y tienden a presentar zonas rocosas expuestas al oleaje sin tener presencia de micro-hábitats diferenciados del entorno (Bahamonde, 1987; Rozbasczylo & Castilla, 1987). Estos antecedentes pueden explicarse en el contexto de los patrones de regulación del número de especies en una comunidad, pues un sitio más heterogéneo o sea con amplia variedad de micro-hábitats tiene mayor número de especies que un sitio con baja variedad de micro-hábitats, por otro lado, si se agrega el principio de la biogeografía de islas, existe una relación inversa entre la distancia del continente con el número de especies (Jaksic, 2001).

Tabla 1. Localización geográfica, área, distancia del continente y especies reportadas (basado en especímenes adultos) para los sitios mencionados en el presente estudio.

Sitio	Localización geográfica	Área (km ²)	Distancia del continente (km)	Especie
1. Isla San Félix	25°15'S, 80°07'W	2,2	850	<i>Harpacticus littoralis</i> Sars, 1910 <i>Harpacticus</i> sp.
2. Isla Robinson Crusoe	33°37' S, 78°51' W	96,4	650	<i>Harpacticus littoralis</i> Sars, 1910 <i>Harpacticus</i> sp. <i>Scutellidium ringueleti</i> Pallares, 1969 <i>Amphiascopsis cinctus</i> (Claus, 1866) <i>Paralaophonte</i> sp.
3. Isla Alejandro Selkirk	33°45'S 80°45'W	48	650	<i>Harpacticus littoralis</i> Sars, 1910 <i>Harpacticus</i> sp. <i>Amphiascopsis cinctus</i> (Claus, 1866)
4. Isla de Pascua	27°07'S, 107°21'W	180	3526	<i>Ectinosoma dentatum</i> Steuer (1940) <i>Harpacticus littoralis</i> Sars, 1910 <i>Harpacticus</i> sp. <i>Harpacticus gurneyi</i> Jakubisiak, 1933 <i>Perisscope adiaaltus</i> Wells, 1968 <i>Scutellidium australe</i> T. Scott, 1912 <i>Tisbe varians</i> T. Scott, 1914 <i>Porcellidium rubrum</i> Pallares, 1966 <i>Peltidium</i> sp. <i>Xouthous simulans</i> (Brady, 1910) <i>Diosaccus varicolor varicolor</i> Farran, 1913 <i>Metamphiascopsis nicobaricus</i> (Sewell, 1940) <i>Metis holothuriae</i> (Edwards, 1891) <i>Lourinia armata</i> (Claus, 1866)
5. Montemar, Valparaíso	32°57'S; 77°33'W		0	<i>Halicyclops</i> sp. Norman, 1903 <i>Harpacticus cf. flexulosus</i> Ceccherelli, 1988 <i>Harpacticus pulvinatus</i> Brady, 1910 <i>Tisbe longirostris</i> T. & A. Scott, 1895 <i>Dactylopusia tisboides</i> (Claus, 1863) <i>Amphiascopsis cinctus</i> (Claus, 1866) <i>Heterolaophonte minuta</i> Boeck, 1872

Referencias: 1; 2 y 3: Goddard (2006), 4: Goddard (2003). 5: Goddard & Zúñiga (1995).

Tabla 2. Resultados del análisis de modelo nulo para los sitios estudiados, los valores de $P < 0,05$ indican que las asociaciones de especies no son aleatorias.

Modelo	Índice observado	Índice promedio	Efecto estándar del tamaño	P
Fijo-Fijo	0,774	0,629	3.438	0,008
Fijo-Proporcional	0,774	0,667	1.123	0,131
Fijo-Equiprobable	0,774	0,834	1.132	0,873

Es el caso de isla de Pascua, es el sitio más alejado del continente donde se han reportado principalmente especies de copépodos intermareales de la zona indopacífica, así como especies propias de ambientes atlánticos, antárticos e incluso mediterráneos (Goddard, 2003). Similar resultado se observó en las islas San Félix, Alejandro Selkirk y Robinson Crusoe, con la diferencia que hubo menor número de especies respecto a isla de Pascua (Goddard, 2006), y los resultados del presente estudio revelan que estas islas conformarían un grupo relativamente similar. Los estudios de la fauna intermareal indican que ésta por sí sola tiene un movimiento a escala espacial limitada, principalmente en zonas contiguas a su hábitat (Davidson *et al.*, 2004), a la cual se incluyen los copépodos, ya que su capacidad de dispersión se vería favorecida además, por las condiciones físicas de su hábitat (Sun & Fleeger, 1991). Estos patrones de distribución de especies se deberían probablemente a procesos oceanográficos como transporte de huevos por medio de corrientes y movimientos de masas de agua (O'Doherty, 1985; Huys & Boxshall, 1991), o también a procesos de colonización mediados por aves acuáticas (Huys & Boxshall, 1991). Si se consideran los antecedentes anteriormente expuestos, podría indicarse que las asociaciones de copépodos intermareales conformarían un grupo constituido por las tres islas más cercanas al continente, San Félix, Alejandro Selkirk y Robinson Crusoe, que sería diferente a los ensambles observados para isla de Pascua, y la zona de Montemar, lo que coincidiría con las zonas zoogeográficas descritas para crustáceos decápodos por Retamal & Moyano (2010). No obstante, es necesario tener más datos de otros territorios insulares chilenos, sobre los cuales no hay información publicada, así como reportes más actualizados de otros territorios polinésicos para tener un patrón biogeográfico de mayor escala y comprender mejor las estructuras comunitarias.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo expresan su gratitud a la Dirección General de Investigación y Post-grado y a

la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Católica de Temuco (Proyecto DGI-CDA-07-01) y proyecto MECESUP UT 0804.

REFERENCIAS

- Bahamonde, N. 1987. San Felix y San Ambrosio, las islas llamadas Desventuradas. In: J.C. Castilla (ed.). Islas oceánicas chilenas. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, pp. 85-100.
- Davidson, I.C., A.C. Crook & D.K.A. Barnes. 2004. Quantifying spatial patterns of intertidal biodiversity: is movement important? *Mar. Ecol.*, 25(1): 15-34.
- Goddard, M. 2003. Copépodos de pozas intermareales de Isla de Pascua. *Cienc. Tecnol. Mar.*, 26: 45-72.
- Goddard, M. 2006. Copépodos de pozas intermareales de Isla San Félix y Archipiélago Juan Fernández. *Cienc. Tecnol. Mar.*, 29: 115-122.
- Goddard, M. & L. Zúñiga, 1995. Copépodos de pozas intermareales de Montemar, Valparaíso (32°57'S, 77°33'W), Chile. *Rev. Biol. Mar.*, 30: 91-133.
- González, E.R., P.A. Haye, M.J. Bolanda & M. Thiel, 2008. Lista sistemática de especies de peracáridos de Chile (Crustacea: Eumalacostraca). *Gayana*, 72: 157-177.
- Gotelli, N.J. 2000. Null models of species co-occurrence patterns. *Ecology*, 81: 2606-2621.
- Gotelli, N.J. 2001. Research frontiers in null model analysis. *Global Ecol. Biogeogr.*, 10: 337-343.
- Gotelli, N.J. & G.L. Entsminger. 2009. EcoSim: null models software for ecology. Version 7. (Acquired Intelligence Inc. & Kesey-Bear. Jericho, VT 05465). Available <http://garyentsminger.com/ecosim.htm>
- Gotelli N.J. & G.R. Graves. 1996. Null models in ecology. Smithsonian Institution Press, Washington, 388 pp.
- Huys, R. & G.A. Boxshall. 1991. Copepod evolution. The Ray Society, London, 468 pp.
- Jaksic, F. 2001. Ecología de comunidades. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 233 pp.

- Luiselli, L. 2008a. Do lizard communities partition the trophic niche? A world wide meta-analysis using null models. *Oikos*, 117: 321-330.
- Luiselli, L. 2008b. Resource partitioning in freshwater turtle communities: a null model meta-analysis of available data. *Acta Oecol.*, 34: 80-88.
- Luiselli, L., E.A. Eniang & G.C. Akani. 2007. Non random structure of a guild of geckos in fragmented, human altered African rain forest. *Ecol. Res.*, 22: 593-503.
- McAleece, N., J.D.E. Gage, P.J.D. Lamshead & G.L.J. Patterson. 1997. Biodiversity Professional statistics analysis software. Jointly developed by the Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London.
- Morrone, J.J. 2001. Biogeografía de América Latina y el Caribe. *M&T Manuales & Tesis SEA*, Zaragoza, vol. 3: 148 pp.
- Morrone, J.J. 2003. El lenguaje de la cladística. Dirección General de Publicaciones, Universidad Nacional Autónoma de México, 109 pp.
- Morrone, J.J. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Rev. Bras. Entomol.*, 48: 149-162.
- O'Doherty, E.C. 1985. Strea-dwelling copepods: their life history and ecological significance. *Limnol. Oceanogr.*, 30: 554-564.
- Retamal, M.A. & H.I. Moyano, 2010. Zoogeografía de los crustáceos decápodos marinos chilenos y dulceacuícolas. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 38: 302-328.
- Rozbaczylo, N. & J. C. Castilla. 1987. Invertebrados marinos del archipiélago de Juan Fernández. In: J.C. Castilla (ed.). *Islas oceánicas chilenas*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, pp. 167-189.
- Sun, B. & J.W. Fleeger. 1991. Spatial and temporal patterns of dispersion in meiobenthonic copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 71: 1-11.
- Tiho, S. & J. Jochen. 2007. Co-occurrence of earthworms in urban surroundings: a null model of community structure. *Eur. J. Soil. Biol.*, 43: 84-90.
- Tondoh, J.E. 2006. Seasonal changes in earthworm diversity and community structure in central Côte d'Ivoire. *Eur. J. Soil Biol.*, 42: 334-340.

Received: 15 March 2012; 9 October 2013