ARTÍCULO CIENTÍFICO

Comunidades de invertebrados terrestres del archipiélago Diego Ramírez (56°31'S), el sitio de estudios ecológicos de largo plazo más austral de américa: diversidad y afinidades con las islas subantárticas del océano austral

Communities of terrestrial invertebrates from Diego Ramírez archipelago (56°31'S), the southernmost long term ecological research site of the Americas: diversity and affinities with other Subantarctic Islands from the Southern Ocean

Tamara Contador[1,2,6], Javier Rendoll[1,2], Roy Mackenzie[1,2], Sebastián Rosenfeld[2,3], Omar Barroso[2], Ricardo Rozzi[2,4], Bernard Goffinet[5], James Kennedy[1,2,4] & Peter Convey[1,7]

Resumen

Los archipiélagos Diego Ramírez y Cabo de Hornos se ubican en el extremo austral de la ecorregión subantártica de Magallanes y hasta ahora su diversidad de insectos y otros invertebrados terrestres ha sido escasamente caracterizada. En este trabajo, presentamos un catastro actualizado de invertebrados, con un foco en la entomofauna terrestre del archipiélago Diego Ramírez, y exploramos de manera preliminar las afinidades biogeográficas de este archipiélago austral con el resto de las islas subantárticas presentes al norte de la Corriente Circumpolar Antártica. Encontramos que la isla Gonzalo, en el archipiélago Diego Ramírez, no contiene especies de insectos y otros invertebrados exóticos. La fauna de invertebrados terrestres registrados durante este estudio, incluye 32 taxa, principalmente de la Clase Insecta, los cuales se encuentran distribuidos en diferentes hábitats, siendo las comunidades de *Poa flabellata* los hábitats más importantes. La comparación de la entomofauna del archipiélago Diego Ramírez con otras islas subantárticas indica una baja similitud total entre la fauna reportada aquí y el resto de las islas, excepto con las Georgias del Sur. Sin embargo, la biota que los vincula es de origen gondwánico, lo cual sugiere la existencia de antiguas conexiones biogeográficas vicariantes. Este trabajo es un aporte al desarrollo, fortalecimiento e inauguración de la Red de Monitoreo Ecológico de Largo Plazo Cabo de Hornos (Red LTER Cabo de Hornos). El enfoque particular en las islas Diego Ramírez contribuye directamente a llenar un "punto ciego" en nuestro conocimiento actual en cuanto a los efectos del cambio ambiental global en los ecosistemas subantárticos, generando información esencial para su conservación en el corto, mediano y largo plazo.

Palabras clave:

Subantártico, cambio global, biogeografía, Diego Ramírez, Insecta.

1 Laboratorio Wankara de Ecosistemas Dulceacuícolas Subantárticos y Antárticos, Universidad de Magallanes & Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Puerto Williams, Chile.
https://orcid.org/0000-0002-0250-9877
✉ tamara.contador@umag.cl

2 Programa de Conservación Biocultural Subantártica, Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB-Chile), Universidad de Magallanes, Puerto Williams, Chile.

3 Laboratorio de Ecosistemas Marinos Antárticos y Subantárticos (LEMAS), Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.

4 Subantarctic Biocultural Conservation Program, Department of Philosophy and Religion & Department of Biological Sciences, University of North Texas, EE.UU.

5 Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Connecticut, EE.UU.

6 Núcleo Milenio de Salmónidos Invasores (INVASAL), Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

7 British Antarctic Survey, Gran Bretaña

Recibido: 15, oct. 2020 Aceptado: 19, nov. 2020

Abstract
The Diego Ramírez and Cape Horn archipelagos are located at the southern end of the Magellanic subantarctic ecoregion. The fauna of insects and other terrestrial invertebrates has been poorly characterized. In this work, we present an updated assessment of invertebrates, with a focus on the terrestrial entomofauna of the Diego Ramírez Archipelago. We reviewed biogeographic affinities of this southern archipelago with the rest of the subantarctic islands. We found that Gonzalo Island in the Diego Ramírez Archipelago is free of insect species and other exotic invertebrates. The island's terrestrial invertebrate fauna registered during this study includes 32 taxa, mainly from the Class Insecta, which are distributed in different habitats, being the communities of *Poa flabellata* the most important habitats. The entomofauna of the Diego Ramírez Archipelago shows a low total similarity between the fauna reported and the rest of the islands, except with South Georgia. However, the biota that links them is of Gondwanic origin, which suggests the existence of ancient vicariant biogeographic connections. This work is a contribution to the development, strengthening and inauguration of the Cape Horn Long-Term Ecological Monitoring Network (LTER Cape Horn Network). The particular focus on the Diego Ramírez Islands contributes directly to filling a "blind spot" in our current knowledge of the effects of global environmental change in sub-Antarctic ecosystems, generating information essential to their conservation in the short, medium and long term.

Key words:
Sub-Antarctic, global change, biogeography, Diego Ramírez, Insecta.

INTRODUCCIÓN

Los insectos son los animales más diversos y abundantes del planeta. Debido a su gran capacidad de adaptación, se encuentran distribuidos desde los desiertos más áridos y calurosos hasta los fríos ecosistemas polares. En el sur, desde la Antártida continental a la Antártida marítima y hacia las regiones subantárticas y templadas frías su diversidad incrementa desde sólo dos especies de dípteros nativos (Chironomidae) hasta varios cientos de especies (Chown & Convey, 2016). El conocimiento de la diversidad de insectos en estas regiones comenzó a recopilarse en las primeras expediciones a la Antártida, encabezadas por el capitán James Cook, quien fue acompañado por el botánico Joseph D. Hooker, en el siglo XVIII. Desde ese momento hasta el presente, la información ha aumentado a través de numerosas excursiones, incluyendo las expediciones alemanas al Polo Sur y principalmente aquellas realizadas por J. Linsley Gressitt en la década de los 1960s y 1970s. Chown y Convey (2016) sintetizan los resultados de dichos trabajos y la literatura disponible para la región. Este trabajo abarca información acerca de las especies de insectos (endémicos, nativos y exóticos) con una distribución antártica y subantártica. Además del sur de Sudamérica, comprende a las islas Malvinas o Falkland y se extiende hasta las islas Shetland del Sur, en la Antártida marítima. Sin embargo, excluye la entomofauna de las islas Wollaston (incluyendo a la isla Hornos) y el archipiélago Diego Ramírez, debido a la escasa información disponible hasta la fecha.

Los archipiélagos Diego Ramírez y Cabo de Hornos se ubican en el extremo austral de la ecorregión subantártica de Magallanes (Rozzi *et al*. 2012), y hasta ahora su diversidad de insectos y otros invertebrados terrestres ha sido escasamente caracterizada. Los invertebrados dulceacuícolas aún no han sido estudiados. Los trabajos de Lanfranco (1980, 1981, 1983) y de Schlatter y Riveros (1997) proveen un punto de partida para su descripción y listado inicial. Otros autores, como Angulo y Olivares (1999), reportan a *Paraeuxoa flavicosta* (Wallengren) (Lepidoptera: Noctuidae) como la mariposa nocturna más austral de Chile. Elgueta *et al*. (2013) documentan cuatro coleópteros, dos carábidos, *Migadops latus* (Guérin-Ménéville, 1841) y *Trechisibus antarcticus* (Dejean, 1831), y dos promequéilidos, *Hydromedion anomocerum* Fairmaire, 1885 y *Chanopterus paradoxus* Boheman, 1858 en el archipiélago Diego Ramírez.

El objetivo de este trabajo es presentar un catastro actualizado de invertebrados, con foco en la entomofauna terrestre del archipiélago Diego Ramírez, junto con la exploración

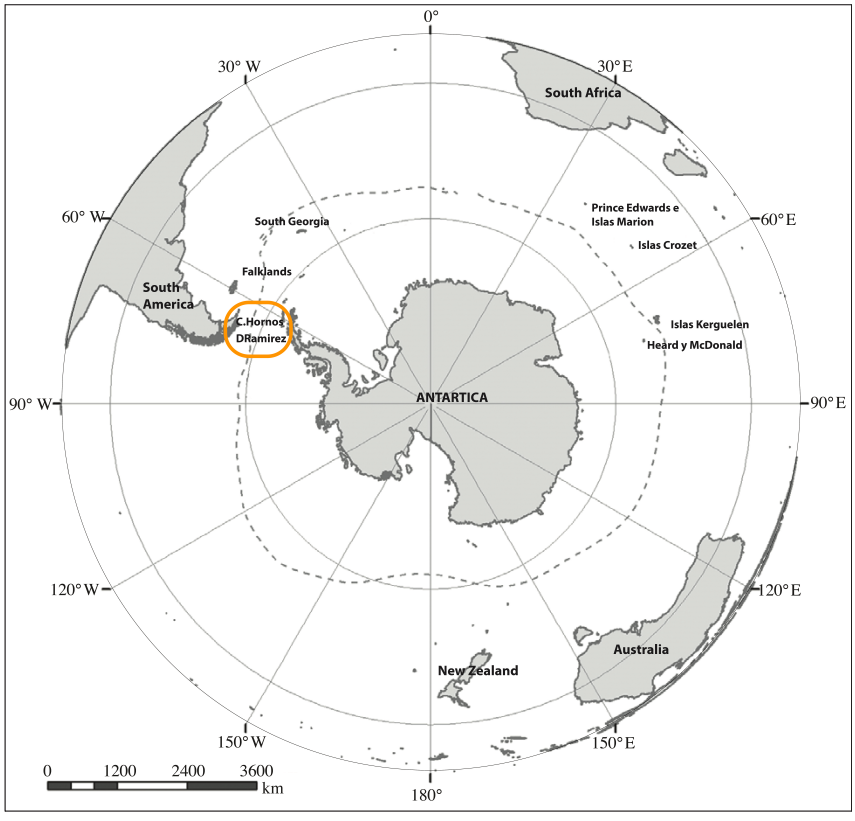

Fig. 1. Mapa del océano Austral, indicando la ubicación del Archipiélago de las Islas Diego Ramírez.

preliminar de las afinidades biogeográficas de este archipiélago austral con el resto de las islas subantárticas presentes al norte de la Corriente Circumpolar Antártica (CCA) (Fig. 1).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El trabajo de terreno fue realizado durante el mes de noviembre del año 2016 en la isla Gonzalo (archipiélago Diego Ramírez), sitio de la Red de Monitoreo Ecológico de Largo Plazo Cabo de Hornos (Red LTER-Cabo de Hornos, Figs. 1 y 2). El archipiélago Diego Ramírez está compuesto por numerosas islas e islotes y se localiza en línea recta a 112 km al SO de Cabo de Hornos, representando el extremo más austral de Sudamérica (Schlatter & Riveros, 1997). Las islas del archipiélago se ubican en el límite norte del Paso Drake, al borde de la plataforma continental pacífico-sudamericana y a una distancia de aproximadamente 700 km de las islas Shetland del Sur, en la Antártida marítima (Cursach *et al*. 2014). Similar a otros archipiélagos subantárticos, las islas Diego Ramírez se encuentran dominadas por pastos altos de *Poa flabellata*, gramínea comúnmente conocida como coirón o *tussock* (Pisano, 1977; Joly *et al*. 1987). Además, su flora incluye plantas en cojín, principalmente *Plantago barbata* y *Colobanthus quitensis*, además de brioflora y líquenes (Goffinet *et al.* 2020, Mackenzie *et al.* 2020, en este volumen).

El archipiélago es térmicamente homogéneo, siendo clasificado como Tundra Isotérmica, con gran influencia oceánica de características subantárticas. Las precipitaciones anuales promedian los 1.200 mm y las temperaturas fluctúan entre 3.1 y 6.9°C, con promedios anuales de 5.0°C (Schlatter & Riveros, 1997). Los vientos son fuertes en el archipiélago, fluctuando entre 35.8 y 45.2 km/h como extremos medios anuales (Schlatter & Riveros, 1997).

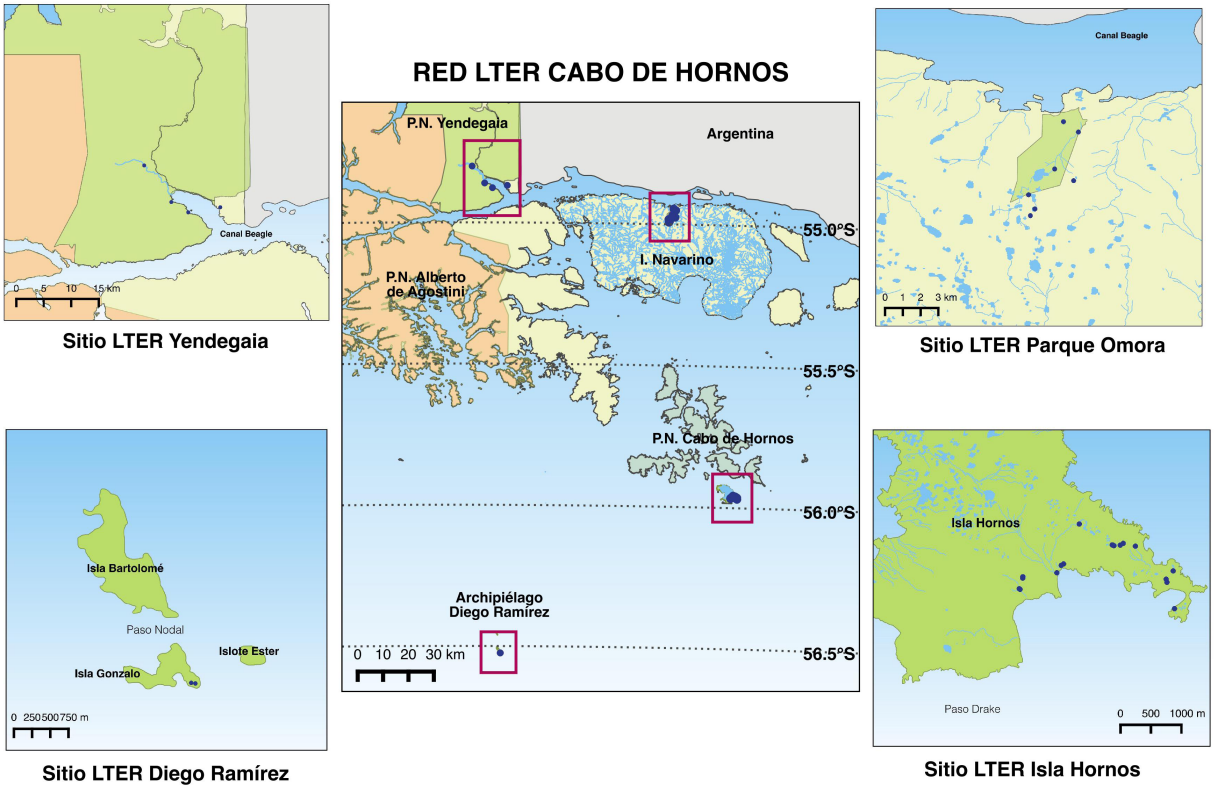

Fig. 2. Mapa de la Red de Sitios de Monitoreo de Largo Plazo Cabo de Hornos (LTER Cabo de Hornos). Los puntos azules indican sitios de monitoreo de largo plazo en los distintos sitios de la red (Sitios LTER Yendegaia, Parque Omora, Isla Hornos y Diego Ramírez).

Caracterización de biodiversidad y tipos de hábitats

Para proveer un catastro de la diversidad de invertebrados presentes en los diferentes tipos de hábitats terrestres de la isla Gonzalo, realizamos una exploración visual a lo largo de los lugares accesibles (vía caminata). Identificamos cuatro tipos de hábitats principales: 1) comunidades de *Poa flabellata*, 2) plantas en cojín, 3) rocas y 4) pozones permanentes (Fig. 3). Una vez identificados los hábitats, realizamos tres tipos de muestreo:

A) Trampas de caída o "pitfall". Este tipo de trampa fue utilizado en los hábitats dominados por *P. flabellata* y plantas en cojín. Instalamos 6 trampas (contenedores de plástico con alcohol al 70%, profundidad y diámetro 5 y 10 cm, respectivamente), separadas por 5 metros cada una, en cada hábitat, por un período de 48 horas. El lugar de instalación de cada trampa fue escogido al azar, evitando su ubicación en sitios de anidamiento de aves.

B) Colección manual de insectos con aspirador y pinzas entomológicos. Utilizamos un aspirador entomológico para aumentar la probabilidad de colectar insectos voladores que pudiesen encontrarse en diferentes estratos verticales de *P. flabellata*. En cada uno de 5 puntos escogidos al azar, buscamos insectos voladores durante un período de 5 minutos. Las pinzas blandas fueron utilizadas para colectar invertebrados que se encontraban en hábitats bajo rocas. Diez rocas fueron escogidas al azar, volcadas y revisadas para colectar a los invertebrados que se encontraban debajo de ellas. Sin desmedro de la colecta antes descrita, se realizaron colectas de carácter "oportunista" utilizando el aspirador y las pinzas, con el fin de aumentar la posibilidad de alcanzar la mayor representatividad posible.

Fig. 3. Tipos de hábitats terrestres identificados en la isla Gonzalo durante el presente estudio. A) *Poa flabellata*, B) Plantas en cojín, C) Roca y D) Pozones permanentes. En cada figura se han incluido indicadores (flechas, rectángulo), indicando cada tipo de hábitat.

C) Red-D para muestreo en pozones. Luego de la exploración realizada, se pudo identificar dos pozones permanentes en la isla Gonzalo, los cuales fueron muestreados utilizando una red tipo-D. Los pozones se encuentran localizados a 110 metros sobre el nivel del mar, muy cercanos al Faro de las Fuerzas Armadas. El agua de los pozones no es apta para consumo humano, pero el personal de la Armada la utiliza para otros fines domésticos (ej. limpieza). Tomamos cinco muestras por pozón, aplicando la red por un minuto durante cada colecta. Cada punto de muestreo fue geo-referenciado utilizando un Sistema Global de Posicionamiento (GPS), GPSMAP 78sc (Garmin®).

Los datos de cada hábitat fueron comparados utilizando análisis paramétricos (ANDEVA de una vía, α 0.05, Software libre PAST versión 3.20), asegurándonos que cumplieran los requisitos del análisis (normalidad, equidad de varianzas, etc.). Se calcularon los índices de diversidad de Shannon y Simpson, y de Equidad para cada tipo de hábitat. Finalmente, se calculó el índice Chao-1, el cual es una estimación de extrapolación para estimar la diversidad total en una colección. Este índice extrapola la diversidad al agregar una estimación de la diversidad no muestreada dada por el número de especies que ocurren sólo una vez en la colección (s1) y el número de especies que ocurren sólo dos veces en la colección (s2).

Todos los invertebrados colectados a través de los medios descritos fueron preservados en etanol al 95% e identificados utilizando la mejor literatura disponible para el sur de Sudamérica y para las islas subantárticas del océano Austral (*i.e.* Johns, 1974; Klimaszewski & Watt, 1997; Convey *et al*. 1999; Buck *et al*. 2002; Palma & Pilgrim, 2002; Delettre *et al*. 2003; Allegro *et al*. 2008; Elgueta *et al*. 2013; Bartsch *et al*. 2017).

Caracterización del ambiente térmico

Para caracterizar patrones térmicos de largo plazo en la isla Gonzalo instalamos dos sensores y registradores de temperatura del aire y del agua y de intensidad lumínica (Hobo® UA-002-08 Onset). El primer registrador fue instalado dentro de uno de los pozones con el fin de crear un registro de la temperatura del agua en estos pequeños ecosistemas. El segundo fue instalado en una zona aledaña a los pozones (10 m de distancia aproximadamente) a nivel del suelo, para registrar temperatura ambiental. Cada registrador fue programado con un intervalo de grabación de 5 minutos (a partir de las 8:00 pm del 29 de noviembre de 2016) y fueron chequeados en julio del siguiente año (Fig. 4).

Caracterización térmica de Poa flabellata como hábitat para invertebrados terrestres

Se instalaron dos sensores y registradores de datos durante el período de muestreo (3 días) para caracterizar el ambiente térmico de *P. flabellata*, como ecosistema clave para la mantención de comunidades de invertebrados terrestres. Instalamos un registrador de datos dentro de una comunidad de *P. flabellata* y un segundo registrador fuera de la vegetación, con el objeto de comparar el ambiente térmico dentro y fuera de las plantas. Los registradores fueron programados durante toda los 3 días de muestreo en la isla Gonzalo con un intervalo de grabación de 5 minutos, comenzando a las 8:00 pm del 29 de noviembre de 2016.

Comparación de la entomofauna del archipiélago Diego Ramírez con otras islas subantárticas

Para evaluar posibles afinidades biogeográficas del archipiélago Diego Ramírez con otras islas del océano Austral y del sur de Sudamérica, utilizamos la base de datos publicada como material suplementario por Chown y Convey (2016). Esta fuente provee una lista de la entomofauna identificada hasta el año 2015

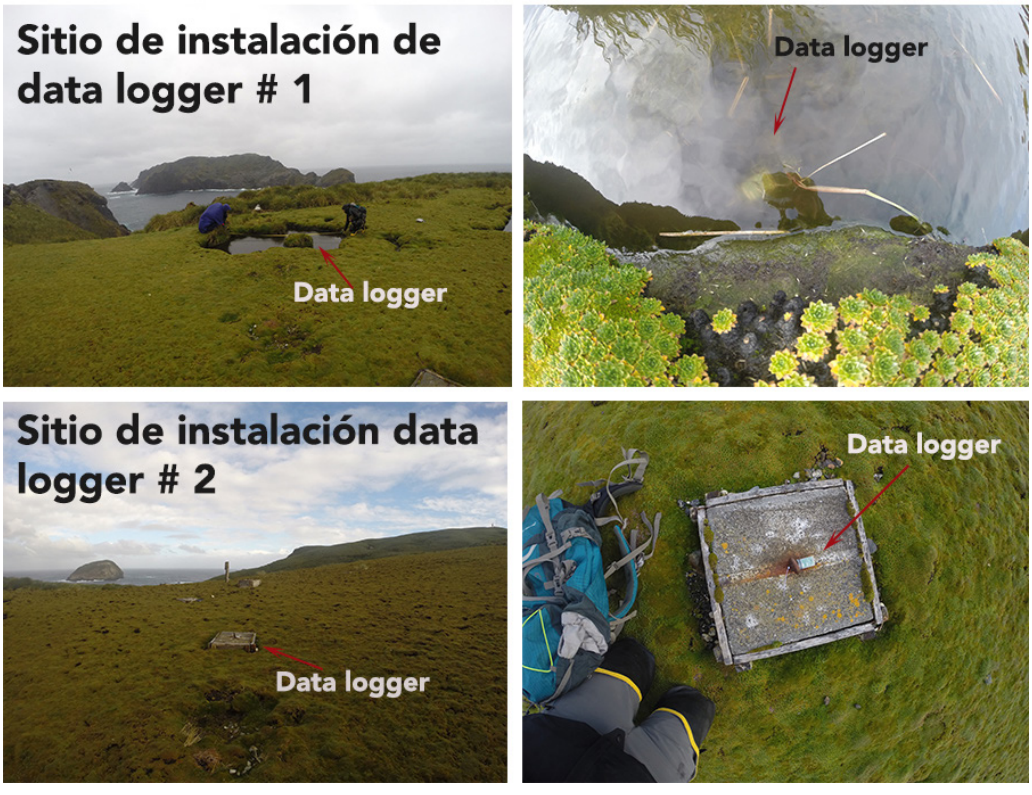

Fig. 4. Sitios de instalación de los registradores de datos Hobo y sensores de temperatura y luz en la isla Gonzalo, archipiélago Diego Ramírez, durante la campaña realizada en noviembre del año 2016.

en las islas subantárticas del océano Austral. El área de estudio de Chown y Convey (2016) fue la región subantártica al norte de la Corriente Circumpolar Antártica (CCA) (Fig. 1). Para nuestro objetivo, nos enfocamos en los siguientes archipiélagos: 1) Cabo de Hornos, 2) Diego Ramírez, 3) Falklands/Malvinas, 4) South Georgia/Georgias del Sur, 5) Prince Edwards y Marion, 6) Islas Crozet, 7) Islas Kerguelen y 8) Islas Heard y McDonald (Fig. 1). La lista de Chown y Convey (2016) fue complementada con los datos de esta expedición para las islas Diego Ramírez y Cabo de Hornos, espectivamente. Para explorar la similitud/disimilitud taxonómica para cada archipiélago del océano Austral, utilizamos un análisis SIMPER (Clarke, 1993). Construimos una matriz de similitud de Bray-Curtis, estableciendo el porcentaje de corte de contribución en 80%. Finalmente, analizamos las distancias entre islas geográficas utilizando un análisis de escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS, por sus siglas en inglés Non-Metric Multidimensional Scaling). Todos los datos fueron analizados utilizando el Software libre PAST, versión 3.20 (Hammer *et al*. 2001).

RESULTADOS

Caracterización de biodiversidad y tipos de hábitats

A través de este estudio identificamos un total de 32 taxa de invertebrados terrestres. La Clase Arachnida está representada por 7 taxa, Clitellata por 1, Entognatha por 4, Insecta por 17, Malacostraca por 2 y Maxillopoda por 1 taxón. En general, el porcentaje de contribución de la Clase Insecta es mayor en todos los hábitats, considerando riqueza total de taxa (Tabla 1).

Respecto a los tipos de hábitat, la riqueza total fue significativamente mayor en las comunidades de *Poa flabellata* (25 taxa), que en los hábitats de plantas en cojín (12 taxa) y bajo rocas (10 taxa) (ANDEVA

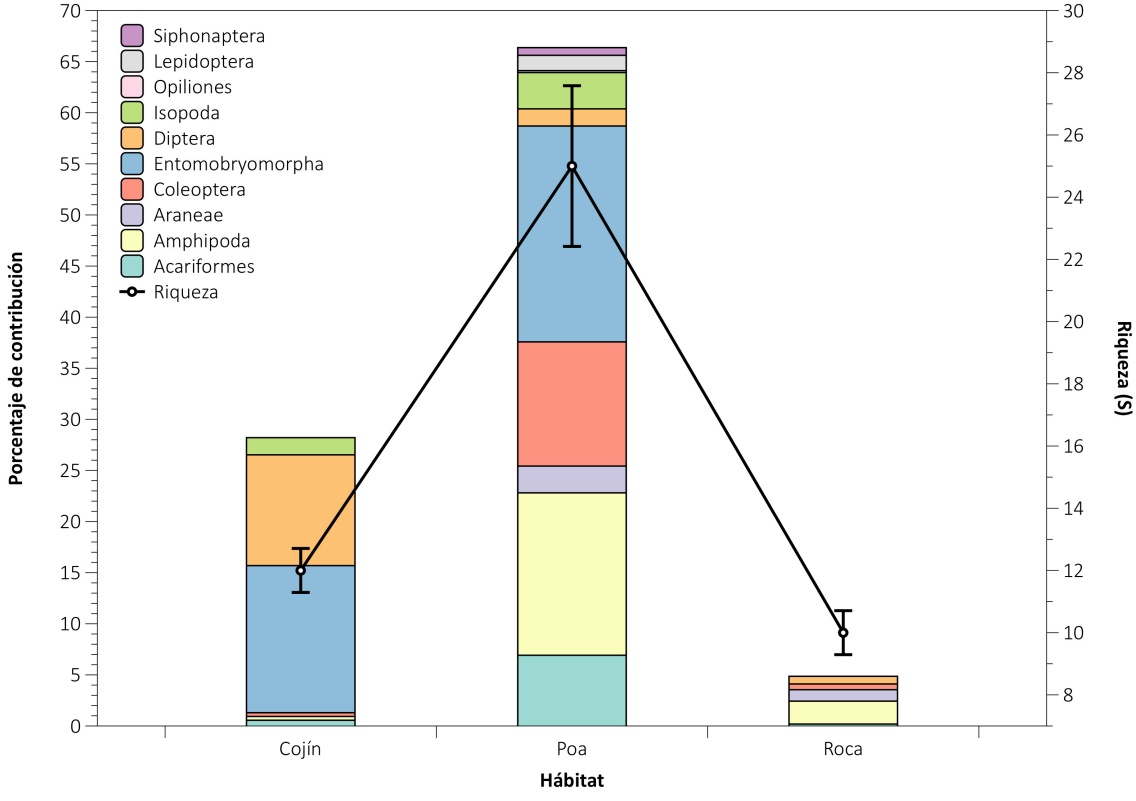

Fig. 5. Porcentaje de contribución en abundancia de cada Orden de invertebrados terrestres identificados en la isla Gonzalo, en tres tipos de hábitat: 1) Plantas en cojín, 2) *Poa flabellata* y 3) bajo rocas. La línea negra indica la riqueza total (S) en cada uno de los hábitats comparados.

Tabla 1. Lista sistemática de todos los taxa de invertebrados terrestres y acuáticos presentes en los diferentes tipos de hábitats identificados en la isla Gonzalo, archipiélago Diego Ramírez durante el presente estudio. Los asteriscos en cada taxón indican que dichos organismos fueron clasificados preliminarmente en diferentes morfotipos, en ausencia de información taxonómica en la literatura.

Clase	Orden	Familia	Taxón	Hábitat			
				Cojín	Poa	Roca	Pozón
Arachnida	Acariformes	Indeterminada	Aca-1*	x	x	x	
		Indeterminada	Aca-2*		x		x
		Indeterminada	Aca-3*		x		
	Araneae	Anyphaenidae	Anyphae-1*		x	x	
		Anyphaenidae	*Tomopisthes horrendus*			x	
		Mecysmaucheniidae	*Mecysmauchenius* sp.		x		
	Opiliones	Neopilionidae	*Thrasychirus* sp.		x		
Clitellata	Oligochaeta	Indeterminada	Oli-1*				x
Entognatha	Entomobryomorpha	Entomobryidae	*Isotoma* sp.	x	x		
		Entomobryidae	*Cryptopygus antarcticus*	x	x		
		Neanuridae	*Friesea* sp.	x	x		
		Neanuridae	*Friesea grisea*	x			
Insecta	Coleoptera	Carabidae	*Migadops latus*		x		
		Carabidae	*Trechisibus antarcticus*	x	x	x	
		Promecheilidae	*Hydromedion anomocerum*		x		
	Diptera	Chironomidae/ Telmatogetoninae	*Telmatogeton* sp. 1			x	
			Telmatogeton sp. 2		x	x	
		Chironomidae	Chironomidae-1*	x	x	x	
		Chironomidae/ Podonominae	Podonominae-2*	x		x	
			Podonominae-1*	x	x		
		Chironomidae/ Prodiamesinae	Prodiamesinae-1*		x		
		Sphaeroceridae	Sphaeroceridae-1*	x	x		
		Sphaeroceridae	Sphaeroceridae-2*		x		
		Indeterminada	Diptera-1*		x	x	
		Indeterminada	Diptera-2*		x		
	Lepidoptera	Noctuidae	*Paraeuxoa flavicosta*		x		
	Siphonaptera	Ceratophyllidae	*Dasypsyllus comatus*		x		
			Parapsyllus longicornis		x		
Malacostraca	Amphipoda	Talitridae	*Protorchestia nitida*	x	x	x	
	Isopoda/Oniscidea	Bathytropidae	Isopoda-1*	x	x		
Maxillopoda	Copepoda	Indeterminada	Calanoidea-1*				x
Riqueza por hábitat (S)				12	25	10	3

Tabla 2. Parámetros de diversidad calculados para cada tipo de hábitat terrestre y el hábitat de pozón (acuático) estudiados en la isla Gonzalo, archipiélago Diego Ramírez, durante la campaña de noviembre del año 2016.

Parámetro de Diversidad	Hábitat			
	Cojín	*Poa flabellata*	Roca	Pozón
Riqueza (S)	12	25	10	3
Abundancia total	104	406	26	155
Índice de Simpson	0.83	0.86	0.76	0
Índice de Shannon	1.87	2.25	1.53	0
Índice de Equidad	0.43	0.43	0.58	0
Índice de Chao-1	13.5	29.5	9	0

de una vía, $p < 0.0269$, Test de Tukey-Kramer, α 0.05) (Fig. 5). Mediante los métodos de muestreo e identificación utilizados, no se detectaron especies de insectos (u otros invertebrados) introducidos. Los hábitats de plantas en cojín y rocas presentan una menor diversidad de invertebrados terrestres, particularmente el hábitat de rocas (Tabla 2). Los representantes del Orden Diptera se concentran (en términos de abundancia) en el hábitat de plantas en cojín más que en el de *P. flabellata* o roca, aunque con menor riqueza y menor equidad que los otros hábitats estudiados (Tabla 2, Figs. 5). Por otro lado, el Orden Entomobryomorpha (Collembola) fue el más abundante en la comunidad de *P. flabellata*, seguido por el hábitat de cojín y roca (Figs. 5).

Los pozones no fueron incluidos en los análisis estadísticos debido a que son hábitats acuáticos y, por lo tanto, no son comparables con los hábitats terrestres. Estos hábitats presentaron una riqueza de especies y abundancia baja, con representación de tres taxa de invertebrados acuáticos pertenecientes a tres clases distintas: Arachnida, Clitellata y Maxillopoda.

En cuanto a los parámetros de diversidad calculados, la comunidad de *P. flabellata* presentó un mayor índice de diversidad de Simpson (0.86) y Shannon (2.25). El índice de equidad fue menor para este hábitat (0.43) y mayor para el hábitat de rocas (0.58) que para las plantas en cojín (0.54). El índice Chao-1 obtenido para cada uno de los hábitats es de 13.5, 29.5 y 9 especies para los hábitats de plantas en cojín, *P. flabellata* y rocas, respectivamente (Tabla 2).

Respecto a los órdenes dominantes en cada hábitat, se observó que Entomobryomorpha (Entognatha: Collembola) presentó la mayor contribución proporcional en los hábitats de plantas en cojín y en la comunidad de *P. flabellata*, seguido por el Orden Diptera en el hábitat de plantas en cojín, y Amphipoda en la comunidad de *P. flabellata* y rocas (Fig. 5).

Caracterización del ambiente térmico

La captura de datos de temperatura e intensidad lumínica obtenidos de los registradores Hobo® fue exitosa para aquel instalado dentro del pozón (ver Fig. 4, sitio de instalación #1), que registró datos desde noviembre del año 2016 hasta febrero del año 2017. La temperatura máxima absoluta del agua registrada durante el período fue 21.6°C, la mínima absoluta fue 3.2°C y la temperatura promedio fue 9.4°C. La intensidad lumínica registrada para el mismo período fue 88.179, 0.0 y 4.255 lux máxima, mínima y promedio, respectivamente (Fig. 6). El segundo registrador, instalado en una zona aledaña a los pozones, no se pudo localizar durante la expedición realizada en julio del año 2017, por lo que se consideró perdido.

Caracterización térmica de Poa flabellata *como hábitat para invertebrados terrestres*

Durante el período de estudio la temperatura máxima, mínima y promedio en la comunidad de *Poa flabellata* fue de 9.3, 3.9 y 6.4°C, respectivamente. En cuanto a la intensidad lumínica bajo la vegetación, registramos 74.100, 0.0, 1.887 lux máxima, mínima y promedio, respectivamente (Fig. 7). Por otro lado, la temperatura máxima, mínima y promedio fuera de las plantas fue 14.1, 4.5, 6.8°C, respectivamente (Fig. 7).

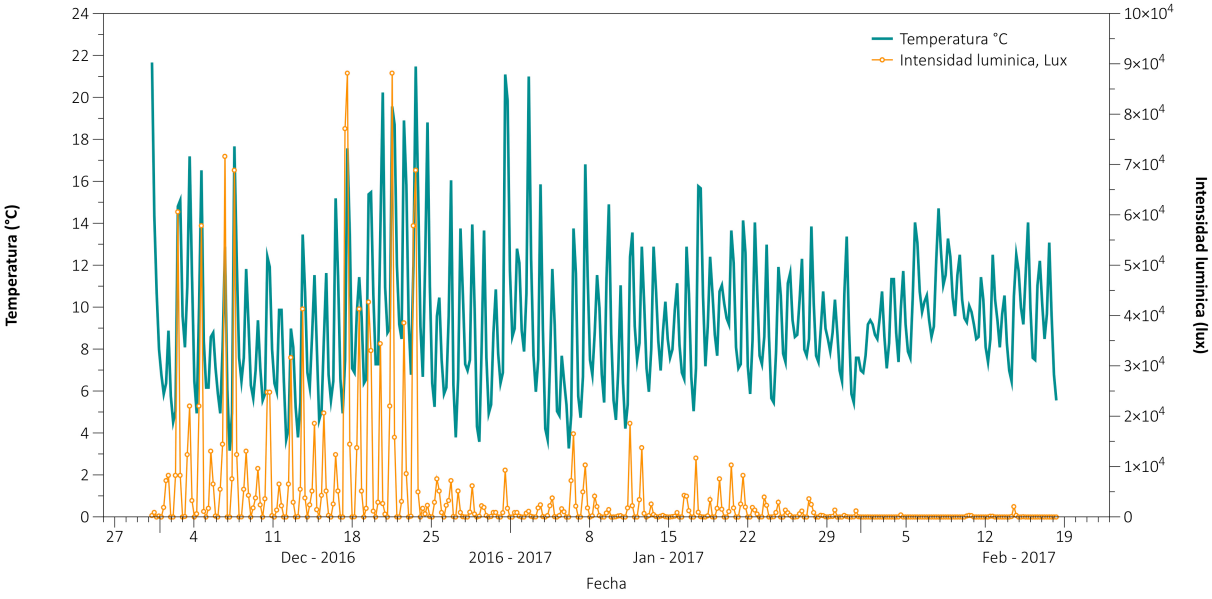

Fig. 6. Patrones de temperatura del agua (°C) e intensidad lumínica (lux), registrados desde Diciembre del año 2016 hasta Febrero del año 2017, dentro de uno de los pozones permanentes que se encuentran en la isla Gonzalo, archipiélago Diego Ramírez, Chile.

Comparación de la entomofauna del archipiélago Diego Ramírez con otras islas subantárticas

La sumatoria de registros entomofaunísticos compilados por Chown y Convey (2016), más los registros de este trabajo, es de 659 taxa de insectos en todo el rango subantártico estudiado. De este total, 577 y 82 taxa se identifican como especies nativas y exóticas, respectivamente. Los archipiélagos con la mayor riqueza de especies son Falklands/Malvinas y Crozet con 271 y 160 especies, respectivamente, mientras que Prince Edwards presenta 53 y Kerguelen 49 especies. Finalmente, en las islas Hornos, Diego Ramírez (este estudio) y Georgias del Sur se han registrado 31, 32 y 29 especies, respectivamente.

La comparación de la entomofauna introducida a las islas estudiadas hasta el año 2015, demuestra que el archipiélago Diego Ramírez se encuentra libre de insectos introducidos. Lo mismo ocurre en el archipiélago Cabo de Hornos. En contraste, los archipiélagos Kerguelen, Georgias del Sur y Marion presentan un mayor porcentaje de especies introducidas, con un 29, 27 y 25% de la entomofauna representada por especies exóticas (Fig. 8).

Finalmente, el análisis de porcentajes de similitud (SIMPER) mostró una alta disimilitud entre el ensamble de especies de insectos del archipiélago Diego Ramírez y los de otras islas subantárticas (Fig. 9). La mayor similitud se encontró entre Diego Ramírez y las Georgias del Sur (9.1%), seguida de isla Hornos (8.7%) e isla Heard (7.1%). Esta baja similitud se encuentra representada por los carábidos *Trechisibus antarcticus* (nativo en Diego Ramírez e introducido en Georgias del Sur) y *Migadops latus*, y dípteros del género *Telmatogeton*. Entre Diego Ramírez y el conjunto de islas Falkland/ Malvinas, el porcentaje y distancia (NMDS, estrés =0.22) de similitud fue aún menor, 4%, 3.8% y 3.4% para la isla Beauchene, Falkland/Malvina Oeste y Falkland/Malvina Este, respectivamente (Fig. 9).

DISCUSIÓN

La fauna de invertebrados terrestres registrados durante estudio en la isla Gonzalo (archipiélago Diego Ramírez), se compone de 32 taxa, principalmente de la Clase Insecta. La diversidad de hábitats disponibles para estos organismos es baja y la comunidad se encuentra dominada por la gramínea *Poa flabellata*. Estas

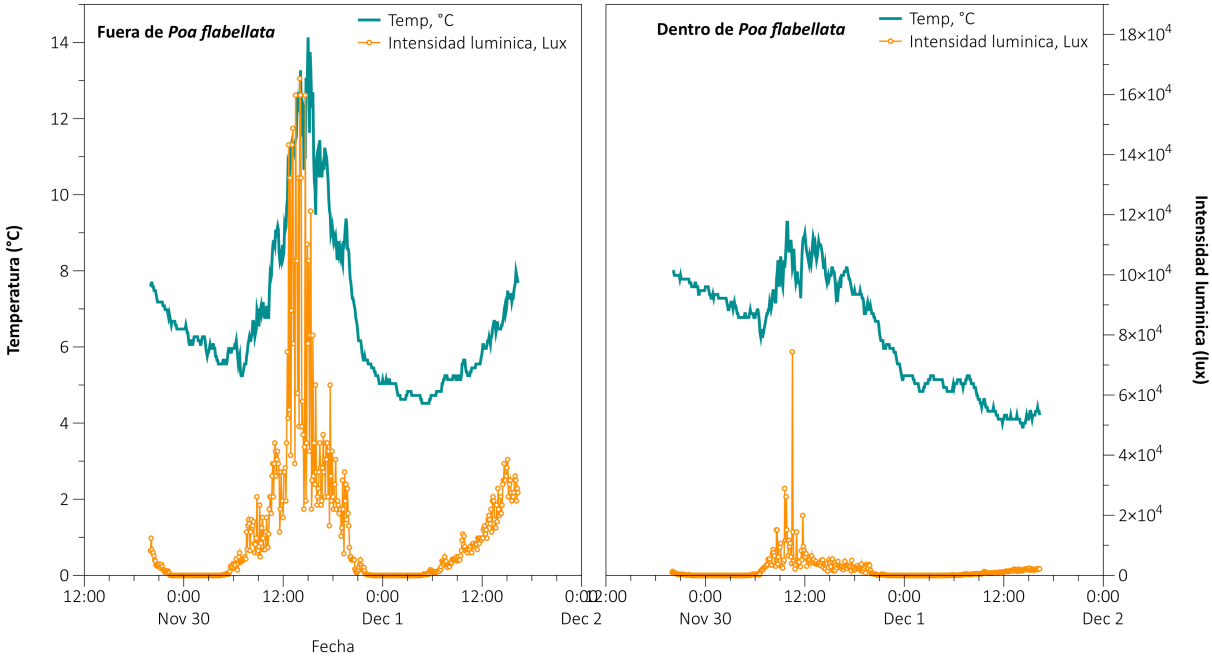

Fig. 7. Patrones de temperatura (°C) e intensidad lumínica (lux) dentro y fuera de las plantas de *Poa flabellata* durante tres días de campaña entre noviembre y diciembre del año 2016, en la isla Gonzalo, archipiélago Diego Ramírez, Chile.

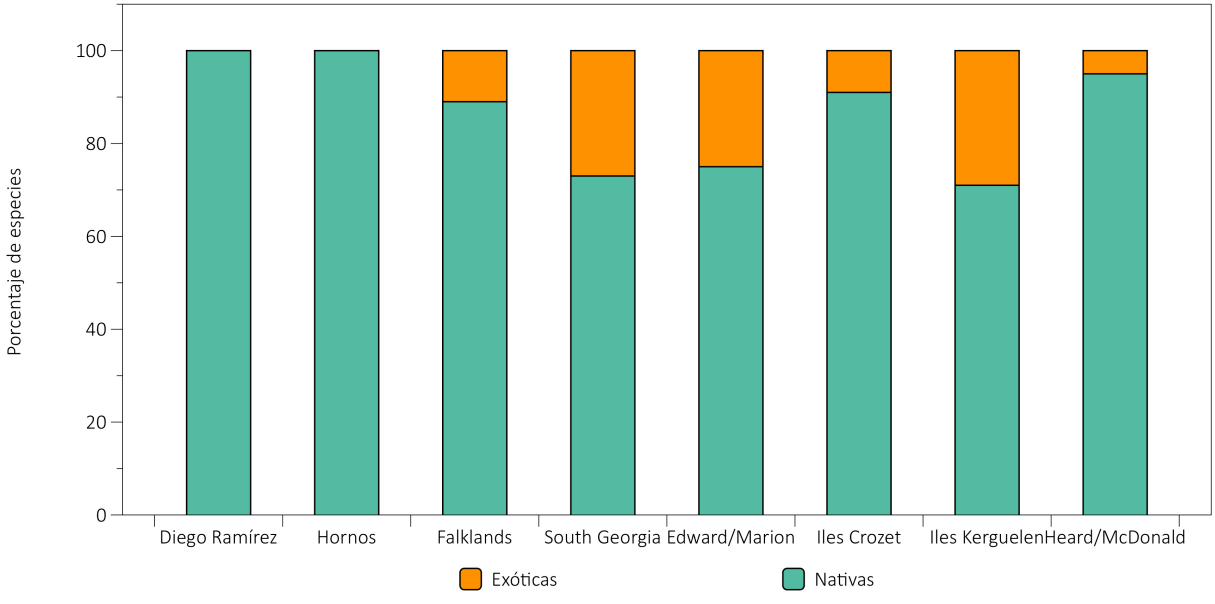

Fig. 8. Porcentaje de especies nativas y exóticas de la Clase Insecta reportadas en los archipiélagos subantárticos hasta el año 2015. Información basada en Chown y Convey (2016), excepto Diego Ramírez e Isla Hornos (este estudio).

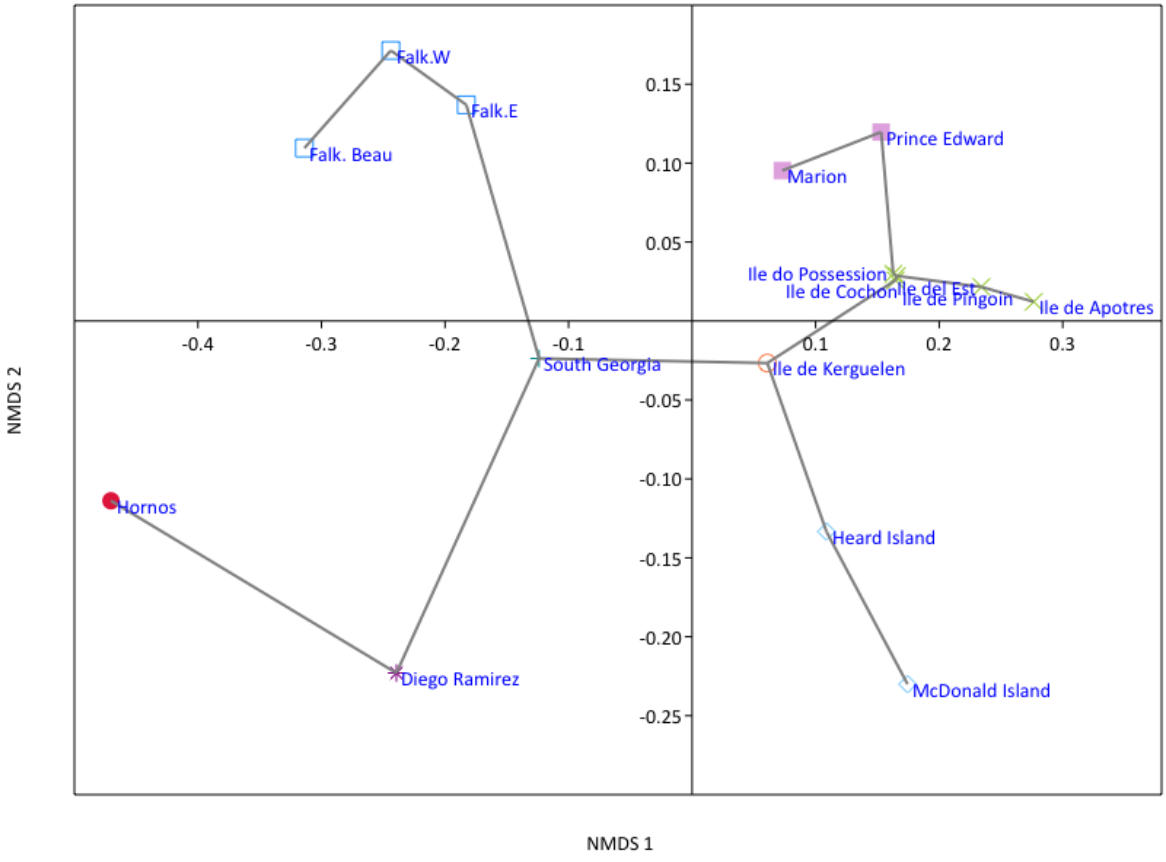

Fig 9. Similitud en composición de entomofauna entre los archipiélagos subantárticos, utilizando Escalamiento Multidimensional No-Métrico (NMDS, Bray-Curtis, R2 NMDS 1 = 0.45, NMDS2=0.25, estrés 0.22). La línea gris entre los puntos, indica la similitud relativa entre las islas de cada archipiélago y entre archipiélagos.

plantas pueden ser catalogadas como ingenieros ecosistémicos, puesto que son fundamentales para la diversidad de vertebrados e invertebrados terrestres, particularmente en ambientes físicamente extremos (Crain & Bertness, 2005). En el archipiélago Diego Ramírez, las comunidades de *tussock* son críticas para la nidificación de aves marinas (*i.e., Thalassarche chrysostoma*, *T. melanophrys*) que utilizan las gramíneas altas para formar sus nidos (Llanos *et al*. 2018).

En este estudio demostramos que las formaciones de *P. flabellata* proveen también un hábitat crítico para las comunidades de invertebrados terrestres en la isla Gonzalo. Por un lado, concentran mayor riqueza y abundancia de estos organismos en comparación con otros tipos de hábitats. Por otro lado, la caracterización térmica de la comunidad durante el período de estudio muestra condiciones favorables para las comunidades de invertebrados, particularmente dentro de las plantas. No observamos una diferencia en la temperatura promedio dentro y fuera de las plantas (6.4 y 6.8°C), sin embargo, las temperaturas máximas y mínimas fuera del hábitat de *P. flabellata* fueron de 14.1 y 4.5°C, respectivamente, mientras que, dentro de las plantas, fueron de 9.3 y 3.9°C. La amplitud térmica dentro de la comunidad de *P. flabellata*, durante el período de estudio, fue menor (5.4°C) que fuera de las plantas (9.6°C). Por lo tanto, la estabilidad térmica es mayor dentro de las plantas para los invertebrados identificados. En este contexto, las comunidades de *P. flabellata* ofrecen un refugio para los invertebrados subantárticos, protegiéndolos de los fuertes vientos, rocío marino y fluctuaciones térmicas.

Por último, es importante destacar que dentro de la comunidad de *tussock* se observaron diferentes estratos de materia orgánica (mayor descomposición, intensidad lumínica y humedad en las raíces). Dentro de estos estratos fue posible encontrar coleópteros (*e.g.*, *Migadops latus*, *Hydromedion anomocerum*) en distintos estadios de desarrollo (larva, pupa y adultos). Estas observaciones denotan que las etapas del ciclo de vida de estos insectos transcurren en diferentes estratos de estas plantas.

En cuanto a la fauna registrada, este estudio reporta, por primera vez, la presencia de dípteros del género *Telmatogeton* (Chironomidae: Telmatogetoninae) en el archipiélago Diego Ramírez. La subfamilia Telmatogetoninae es cosmopolita, principalmente distribuida en áreas costeras oceánicas. Particularmente el género *Telmatogeton* tiene una distribución global y su presencia ha sido también registrada en otras islas del océano Austral y archipiélagos, tales como Heard y Marion (Delettre *et al*. 2003). En cuanto a sus preferencias de hábitat, por lo general, las larvas de este género se encuentran asociadas a algas del intermareal medio. En este trabajo sólo registramos individuos adultos (macho y hembra), distribuidos en hábitats de *P. flabellata*, plantas en cojín y bajo rocas. Dicho patrón podría indicar un mecanismo de dispersión entre diferentes sitios de la isla, vía ecosistemas terrestres. La ausencia o baja riqueza de ciertos órdenes de insectos, además de la tendencia de ensambles caracterizados por coleópteros, dípteros y colémbolos, es una característica común en islas subantárticas (Gressit, 1970).

Los carábidos *Migadops latus* y *Trechisibus antarcticus* son dos especies de coleópteros comunes en la entomofauna de las islas Diego Ramírez, Georgias del Sur, isla Hornos, y el conjunto de islas Malvinas o Falkland. Para el caso de los Migadopini, se ha propuesto un origen gondwánico paleo-antártico, incluyendo regiones andinas de Sudamérica (Roig-Juñet, 2004). Elgueta *et al*. (2013) mencionan que la presencia de *T. antarcticus* en otras islas subantárticas se debería al transporte humano. Ambas especies, *M. latus* y *T. antarcticus* son elementos comunes de la entomofauna epígea de la región de Magallanes, Tierra del Fuego e islas aledañas y subantárticas sudamericanas (Roig-Juñet, 2004; Allegro *et al*. 2008).

Respecto a las arañas, la presencia del género gondwánico *Mecysmauchenius* en este archipiélago corresponde al registro más austral para la familia Mecysmaucheniidae. Taucare-Ríos (2014) sugiere que los mecismauquénidos son de hábitos criptozoicos, esto es, que habitan bajo hojarasca o bajo piedras. Además, pueden ser considerados arácnidos comunes en los suelos subpolares australes (Taucare-Ríos, 2014).

La comparación de la entomofauna del archipiélago Diego Ramírez con otras islas subantárticas indica una baja similitud total entre la fauna reportada aquí y el resto de las islas, excepto con las Georgias del Sur. Sin embargo, la biota que los vincula es de origen gondwánico (*i.e.*, *Telmatogeton*, *Mecysmauchenius*, *Friesea*), lo cual sugiere la existencia de antiguas conexiones biogeográficas vicariantes. El origen de la biota terrestre templada y subantártica se remonta a más de 40 millones de años, cuando Australia-Nueva Zelandia y Sudamérica estaban conectadas a través de la Antártica. La separación de Gondwana ha posibilitado procesos de especiación que han dado lugar a una biota terrestre con alto grado de diversidad y endemismo. La escasa conectividad terrestre en las latitudes templadas y subpolares del hemisferio sur ha generado una gran variedad de taxa terrestres que presentan distribuciones disjuntas circumantárticas. Este patrón generalmente se atribuye a patrones de dispersión (*e.g.*, viento, agua, aves migratorias, etc.) o a vicarianza asociada a distribuciones gondwánicas relictas (Frenot *et al*. 2005; Stevens *et al.* 2006; McGaughran *et al.* 2010).

En este trabajo, registramos la presencia de *Isotoma* sp., *Cryptopygus antarcticus*, *Friesea grisea* y *Friesea* sp., que presentan una distribución circumantártica. El género *Cryptopygus* (Collembola: Isotomidae) es uno de los pocos que incluye especies aún presentes en Antártica. Mayores estudios en Diego Ramírez y otras islas subantárticas podrían contribuir a una mejor comprensión de los orígenes evolutivos gondwánicos asociados a la fauna antártica continental.

Por último, el presente estudio aporta al desarrollo y fortalecimiento de la Red de Monitoreo Ecológico de Largo Plazo Cabo de Hornos,

inaugurando el sitio en la isla Gonzalo, como el más austral de la red (Rozzi *et al*. 2017). El monitoreo continuo de las variables climáticas y los censos de la flora y fauna presente en el archipiélago Diego Ramírez son fundamentales para proveer una línea de base para el monitoreo a largo plazo que permita detectar, y eventualmente mitigar, los impactos del cambio socio-ambiental global sobre la biodiversidad en estos frágiles ecosistemas (Contador *et al.* 2015, 2018; Rendoll *et al.* 2019). El nuevo sitio de monitoreo contribuirá directamente a llenar un "punto ciego" en nuestro conocimiento actual en cuanto a los efectos del cambio climático en los ecosistemas subantárticos y antárticos, generando información esencial para su conservación en el corto, mediano y largo plazo (Rozzi *et al*. 2020, en este volumen).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento otorgado por el Proyecto INACH Regular RT_48_16 (Tamara Contador) y del Instituto de Ecología y Biodiversidad de Chile a través del proyecto Centros Tecnológicos de Excelencia con Financiamiento Basal ANID AFB170008. Agradecemos el Apoyo del equipo del Programa de Conservación Biocultural Subantártica de la Universidad de Magallanes y a la Armada de Chile por el aporte en el transporte otorgado, así como también la posibilidad de quedarnos en las dependencias de la Alcaldía de Mar localizada en la isla Gonzalo. Finalmente, los autores agradecen los aportes y sugerencias de los revisores anónimos de este manuscrito.

LITERATURA CITADA

Allegro, G., Giachino, M. P., & Sciaky, R. (2008). *Notes on some Trechini (Coleoptera Carabidae) of South America with description of new species from Chile, Ecuador and Peru. Biodiversity of South America, I. Memoirs on Biodiversity* (Vol. 1).

Angulo, A., & Olivares, T. (1999). El registro más austral de Chile de una especie de nóctuido y algunos alcances de la variación cromática (Lepidoptera: Noctuidae). *Tropical Lepidoptera, 10*, 69-71.

Bartsch, I., Davids, K., Deichsel, R., Di, A., Grzegorz, S., Reinhard, T. Gledhill, P. Jäger, J. Makol, and H. Smit. (2017). Sübwasserfauna von Mitteleuropa. En Araneae/Acari I, R. Gerecke (Ed.) (Vol. 7). Berlin: Springer.

Buck, J., Marshal, R. S. A., Norrbom, A. L., Matthias, B., Quiros, D. I., & Smith, I. (2002). *World catalog of Sphaeroceridae (Diptera).* Tyršova, Czech Republic: RETIS.

Chown, S. L., & Convey, P. (2016). Antarctic Entomology. *Annual Review of Entomology, 61*(1), 119-137.

Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology, 18*(1988), 117-143.

Contador, T. A., Kennedy, J. H., Rozzi, R., & Ojeda, J. (2015). Sharp altitudinal gradients in Magellanic sub-Antarctic streams: thermal patterns and benthic macroinvertebrate communities along a fluvial system in the Cape Horn Biosphere Reserve (55°S). *Polar Biology, 38*, 1853-1866.

Contador, T., R. Rozzi, J. Kennedy, F. Massardo, J. Ojeda, P. Caballero, Y. Medina, R. Molina, F. Saldivia, F. Berchez, A. Stambuk, V. Morales, K. Moses, M. Gañan, G. Arriagada, J. Rendoll, F. Olivares, and S. Lazzarino. (2018). Sumergidos con lupa en los ríos del cabo de hornos: Valoración ética de los ecosistemas dulceacuícolas y sus co-habitantes. *Magallania* (Punta Arenas) 46:183–206.

Convey, P., Greenslade, P., Arnold, R. J., & Block, W. (1999). Collembola of sub-Antarctic South Georgia. *Polar Biology, 22*(1), 1-6.

Crain, C. M., & Bertness, M. D. (2005). Community impacts of a tussock sedge: Is ecosystem engineering important in benign habitats? *Ecology, 86*(10), 2695-2704.

Cursach, J. A., Suazo, C. G., Rau, J. R., Niklitschek, E., & Vilugrón, J. (2014). Observaciones sobre el pingüino de penacho amarillo *Eudyptes c. chrysocome* en isla Gonzalo, Diego Ramírez, sur de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía, 49*(2), 467-472.

Delettre, Y. R., Frenot, Y., Vernon, P., & Chown, S. L. (2003). First record of *Telmatogeton* sp. (Diptera: Chironomidae) at Heard Island. *Polar Biology, 26*(June), 423-426.

Elgueta, M., Flores, G., & Roig-Juñet, S. (2013). Algunos coleópteros (Coleoptera: Carabidae, Promecheilidae) de islas Diego Ramírez (56°32'S; 68°43'W), Región de Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia, 4*(1), 141-146.

Frenot, Y., Chown, S. L., Whinam, J., Selkirk, P. M., Convey, P., Skotnicki, M., & Bergstrom, D. M. (2005). Biological invasions in the Antarctic: extent, impacts and implications. *Biological Reviews, 80*(1), 45-72.

Goffinet, B., Engel, J. J., von Konrat, M., Mackenzie, R., Contador, T., Rosenfeld, S., Barroso, O., & Rozzi, R. (2020). First bryophytes records from Diego Ramírez archipelago: changing lenses in long-term socio-ecological research at the southernmost island of the Americas. *Anales del Instituto de la Patagonia, 48, en revisión*.

Gressit, J. L. (1970). Subantarctic Entomology and Biogeography. *Pacific Insects Monographs, 23*, 295-374.

Hammer, O., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica, 4*(1), 9.

Johns, P. M. (1974). Arthorpoda of the subantarctic islands of New Zealand (1) coleoptera: Carabidae southern New Zealand, patagonian, and falkland islands insular carabidae. *Journal of the Royal Society of New Zealand, 4*(3), 283-302.

Joly, Y., Frenot, Y., & Vernon, P. (1987). Environmental modifications of a subantarctic peat-bog by the wandering albatross (*Diomedea exulans*): a preliminary study. *Polar Biology, 8*, 61-72.

Klimaszewski, J., & Watt, J. C. (1997). Fauna of New Zealand Ko te Aitanga Pepeke o Aotearoa. *Fauna of New Zealand, 37,* Retrieved from http://www.landcareresearch.co.nz/research/biodiversity/invertebratesprog/faunaofnz/Extracts/FNZ37/fnz37abs.asp

Lanfranco, D. (1980). Estudios entomofaunísticos en el Archipiélago Cabo de Hornos 1. Prospección preliminar de suelo-superficie en Caleta Lientur (Isla Wollaston). *Anales del Instituto de la Patagonia, 11*, 280-291.

Lanfranco, D. (1981). Estudios entomofaunísticos en el archipiélago del Cabo de Hornos. 2. Prospección preliminar del suelo-superficie en Surgidero Romanche (Isla Bayly). *Anales del Instituto de la Patagonia, 12*, 229-238.

Lanfranco, D. (1983). Estudios entomofaunísticos en el archipiélago del Cabo de Hornos. III. Composición y estructura de la entomofauna de suelo-superficie asociada a bosques y turbales en caleta Toledo (isla Deceit). *Anales del Instituto de la Patagonia (Chile), 14*, 119-131.

Llanos, S., Suazo, C. G., Quillfeldt, P., Cursach, J. A., & Salas, L. M. (2018). Ectoparasite abundance and apparent absence of hemoparasites in two albatross species in Sub-Antarctic Chile. *Polar Biology, 41*(1), 143-147.

Mackenzie, R., Vidal, O., Rosenfeld, S., Contador, T., Barroso, O., Goffinet, B., Massardo, F., Arce-Johnson, P., & Rozzi, R. (2020). Flora vascular y formaciones vegetacionales en el sitio de estudios socio-ecológicos a largo plazo, isla Gonzalo, archipiélago Diego Ramírez (56°31'S), Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia*, *48*, en revisión.

McGaughran, A., Stevens, M. I., & Holland, B. R. (2010). Biogeography of circum-Antarctic springtails. *Molecular Phylogenetics and Evolution, 57*(1), 48-58.

Palma, R., & Pilgrim, R. (2002). A revision of the genus Naubates (Insecta: Phthiraptera: Philopteridae). *Journal of the Royal Society of New Zealand, 32*, 7-60.

Pisano, E. (1977). Fitogeografía de Fuego-Patagonia chilena I. Comunidades vegetales entre las latitudes 52 y 56°S. *Anales del Instituto de la Patagonia, 8*, 121-250.

Rendoll, J., Contador, T., Gañán, M., Pérez, C., Maldonado, A., Convey, P., Kennedy, J.H., & Rozzi, R. (2019). Altitudinal gradients in Magellanic sub-Antarctic lagoons: the effect of elevation on freshwater macroinvertebrate diversity and distribution. *PeerJ* 7: e7128 http://doi.org/10.7717/peerj.7128

Roig-Juñet, S. (2004). Los Migadopini (Coleoptera:

Carabidae) de América del Sur: Descripción de las estructuras genitales masculinas y femeninas y consideraciones filogenéticas y biogeográficas. *Acta Entomológica Chilena, 28*(2), 7-29.

Rozzi, R., J. Juan, J. R. Gutiérrez, F. Massardo, G. E. Likens, C. B. Anderson, A. Poole, K. Moses, E. Hargrove, A. Mansilla, J. H. Kennedy, M. Willson, K. Jax, C. G. Jones, B. J. Callicott, and M. T. K. Arroyo. 2012. Integrating Ecology and Environmental Ethics: Earth Stewardship in the Southern End of the Americas. BioScience, *62*, 226–236.

Rozzi, R., F. Massardo, A. Mansilla, F. Squeo, E. Barros, T. Contador, M. Frangopulos, E. Poulin, S. Rosenfeld, B. Goffinet, C. González-Wevar, R. MacKenzie, R. Crego, F. Viddi, J. Naretto, M. . Gallardo, J. Jimenez, J. Marambio, C. Perez, J. Rodriguez, F. Méndez, O. Barroso, J. Rendoll, E. Schuttler, J. Kennedy, P. Convey, S. Russell, F. Berchez, P. Sumida, P. Rundell, A. Rozzi, J. Armesto, M. K. Arroyo, and M. M. B. (2017). Parque Marino Cabo de Hornos-Diego Ramírez, Informe Técnico para la Propuesta de Creación. Punta Arenas: Universidad de Magallanes.

Rozzi, R., Crego, R. D., Contador, T., Schüttler, E., Rosenfeld, S & Massardo, F. (2020). Un centinela para el monitoreo del cambio climático y su impacto sobre la biodiversidad en la cumbre austral de América: la nueva red de estudios socio-ecológicos a largo plazo Cabo de Hornos. *Anales del Instituto de la Patagonia, 48*, en revisión.

Schlatter, R., & Riveros, G. (1997). Historia natural del Archipiélago Diego Ramírez, Chile. *Serie Científica INACH, 47*, 87-112.

Stevens, M. I., Greenslade, P., Hogg, I. D., & Sunnucks, P. (2006). Southern hemisphere springtails: Could any have survived glaciation of antarctica? *Molecular Biology and Evolution, 23*(5), 874-882.

Taucare-Ríos, A. (2014). *Mecysmaucheniu segmentatus* (Araneae: Mecysmaucheniidae) en isla Riesco: Ampliación de su distribución conocida en Magallanes, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia, 42*(1), 77-79.