

Caracterización y variabilidad temporal de la avifauna en el humedal Petrel, región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile: Necesidades de conservación

Characterization and temporal variability of the avifauna in Petrel wetland, Libertador Bernardo O'Higgins region, Chile: Conservation needs

Carolina Allendes-Muñoz^{1,2,3,*} & Marcelo Miranda-Cavallieri^{1,2,3}

¹Doctorado en Sistemática y Biodiversidad, Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile.

²Wildlife Ecology and Conservation Lab, Departamento de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile.

³Dirección de Medio Ambiente, Municipalidad de Pichilemu, Pichilemu, Chile.

*E-mail: karola_1210@hotmail.com

RESUMEN

Los humedales son hábitat de alta diversidad e importancia global que están sufriendo una creciente presión antrópica, especialmente los estuarios riparios en áreas urbanas. Uno de ellos en la zona mediterránea de Chile, es el humedal Petrel. Se evaluó la diversidad de aves a través de monitoreos mensuales entre abril 2020 y marzo 2023. Se determinó la diversidad taxonómica de las especies (Rtp), el índice comunitario de diversidad de Shannon-Weaver (H') y el de equitabilidad de Pielou (J'). Además, se evaluó el efecto de los sitios de muestreo sobre la riqueza, abundancia y eventos reproductivos; y el efecto del periodo estacional sobre la riqueza y abundancia ajustando modelos de regresión de Poisson. Se registró un total de 113 especies de aves, alcanzando una representatividad del 57,1 % y 56,1 % de los órdenes y familias descritos en Chile, respectivamente, observándose una alta diversidad ($2,49 < H' < 3,28$) y equitabilidad ($0,61 < J' < 0,81$). Se registraron 27 especies migratorias, de las cuales, el 81,5 % fueron visitantes de verano. Los sitios de muestreo mostraron un efecto significativo en la riqueza, la abundancia y el número de eventos reproductivos. La riqueza y abundancia fue significativamente mayor en periodo cálido. Estos resultados, evidencian que el humedal Petrel es un sitio de alta diversidad a nivel avifaunístico en la zona central de Chile, además constituye un espacio que aloja una importante cantidad de especies migratorias. Nuestro trabajo proporciona información clave para elaborar planes de gestión y manejo, destacando ciertos sectores del humedal como zonas prioritarias de conservación.

Palabras clave: abundancia, conservación, especies migratorias, humedal urbano, riqueza.

ABSTRACT

Wetlands are habitats of high diversity and global importance that are suffering increasing anthropogenic pressure, especially riparian estuaries in urban areas. One of them in the Mediterranean area of Chile is the Petrel wetland. Bird diversity was evaluated through monthly monitoring between April 2020 and March 2023. The taxonomic diversity of the species (Rtp), the Shannon-Weaver community diversity index (H') and the Pielou evenness index (J') were determined. In addition, the effect of the sampling sites on richness, abundance and reproductive events was evaluated; and the effect of the seasonal period on

richness and abundance, adjusting Poisson regression models. A total of 113 bird species were recorded, representing 57.1 % and 56.1 % of the orders and families described in Chile, respectively, observing a high diversity ($2.49 < H' < 3.28$) and evenness. ($0.61 < J' < 0.81$). Twenty-seven migratory species were recorded, of which 81.5 % were summer visitors. The sampling sites significantly affected richness, abundance and the number of reproductive events. The richness and abundance were significantly higher in the warm period. These results show that the Petrel wetland is a site of high diversity at the avifaunistic level in the central zone of Chile, it also constitutes a space that houses a significant number of migratory species. Our work provides key information to develop management and management plans, highlighting certain wetland sectors as priority areas for conservation.

Keywords: abundance, conservation, migratory species, urban wetland, richness.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son hábitats de alta diversidad e importancia global, ya que son colonizados por numerosas especies animales y vegetales (Schlatter & Sielfeld 2006, González *et al.* 2009), llegando a cubrir en Chile, en algunas regiones administrativas, hasta el 50 % del territorio (Kusch *et al.* 2008). Dentro de ellos, los estuarios riparios son importantes zonas para la conservación de la biodiversidad (Cienfuegos *et al.* 2012), y debido a que son ecotonos entre áreas de aguas dulces y salobres, la biodiversidad en estos lugares es elevada, por lo que son considerados áreas de importancia crítica para la biodiversidad (Martínez-Megías & Rico 2022).

En la zona central de Chile (32° - 38° S) existe una compleja red de humedales costeros que alberga una gran diversidad de aves acuáticas (Vilina & Cofré 2008, Estades & Vukasovic 2013), estos sistemas ofrecen los recursos suficientes para su alimentación y reproducción debido a su alta productividad y heterogeneidad de hábitats (González *et al.* 2011, Cienfuegos *et al.* 2012), concentrando grandes poblaciones de aves tanto residentes como migratorias (Cursach *et al.* 2010, Yang *et al.* 2017, Navarro *et al.* 2021). Por otra parte, la mayoría de los núcleos urbanos están ubicados alrededor de la zona mediterránea, que es reconocida como un punto crítico de biodiversidad, tanto por su alto grado de endemidad, como por las amenazas para su conservación (Myers *et al.* 2000), aunque está representada escasamente en el sistema de áreas protegidas del estado (Pauchard & Villarroel 2002). Además, la mayoría de las ciudades se han desarrolladas asociadas principalmente a cuerpos de agua y zonas de alta

biodiversidad, especialmente en las zonas costeras (Barbosa & Villagra 2015). Un ejemplo de esto es el humedal Petrel, humedal urbano de tipo costero, el cual, se caracteriza porque su avifauna ha sido formalmente poco estudiada, lo que se refleja en la exigua literatura disponible (Mella-Romero *et al.* 2018, Miranda-Cavallieri *et al.* 2023).

En Chile, existe escasa información sobre el valor biótico de los humedales localizados dentro de las ciudades, por lo cual, se desconoce cuál es el real valor ecológico de los humedales urbanos (Gallardo *et al.* 2018). Aunque, sí es reconocido que el impacto de la expansión urbana va más allá de los límites de la ciudad, generando cambios ambientales a escala local e incluso a escala global (Grimm *et al.* 2008, Liu *et al.* 2014). No obstante, los humedales son ecosistemas que destacan por su capacidad de resistir las diversas perturbaciones (Andrés-Abellán *et al.* 2005). En este contexto, las aves han sido utilizadas como bioindicadoras de la calidad ambiental de los ecosistemas desde tiempos remotos (Parra 2014). De aquí, la importancia de monitorear sus poblaciones, pues pueden utilizarse para detectar problemas de trascendencia en el ambiente, es decir, que cumplen una función como "sistema de alerta temprana" (Zhang & Zhang 2011, Mekonen 2017).

En virtud de que los estuarios son ecotonos que se caracterizan por su alta productividad y heterogeneidad ambiental, y pese al aumento de las presiones antrópicas, se predice que el humedal Petrel presenta una alta diversidad taxonómica de avifauna, siendo un sitio de relevancia ecológica dentro de la red de humedales costeros de Chile central. Es por ello, que el objetivo de este estudio fue evaluar la diversidad avifaunística del humedal Petrel. Para lo cual:

(1) Se determinó la diversidad taxonómica y el efecto de los sitios de muestreo y periodo estacional sobre la riqueza y abundancia del ensamble de aves; (2) Se caracterizó los patrones de las especies migratorias, y (3) Se identificó los eventos reproductivos de las especies y se evaluó el efecto de los sitios de muestreo sobre éstos.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El humedal Petrel ($34^{\circ}22'54,85''$ S, $71^{\circ}59'39,72''$ O), es un humedal urbano, de tipo costero-estuarino. Presenta una extensión aproximada de 69,5 ha y se encuentra ubicado en la comuna de Pichilemu, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile. Se caracteriza por un clima mediterráneo con influencia marina, presenta lluvias invernales, estación

seca prolongada y gran nubosidad (Luebert & Pliscoff 2017). Este humedal es alimentado principalmente por el estero San Antonio de Petrel emplazado en una cuenca costera de régimen pluvial. Sus aportes principales son la Quebrada El Retiro y la Quebrada El Lingue. En otoño-invierno, debido a las lluvias, el humedal conecta con el mar, por lo cual, se puede catalogar a este sistema como un estuario estacional en los meses fríos (o lluviosos), y como laguna en los meses cálidos (secos, en donde pierde conectividad con el mar; Andrade & Grau 2005). El área de estudio se sectorizó en ocho sitios de muestreos (Fig. 1), caracterizados por sus diferencias en la cobertura vegetal, distancia al núcleo urbano y fuentes de amenazas antrópicas (Tabla 1), con la finalidad de determinar su influencia en la riqueza y abundancia de la comunidad de aves.

Diseño de Muestreo Humedal Petrel

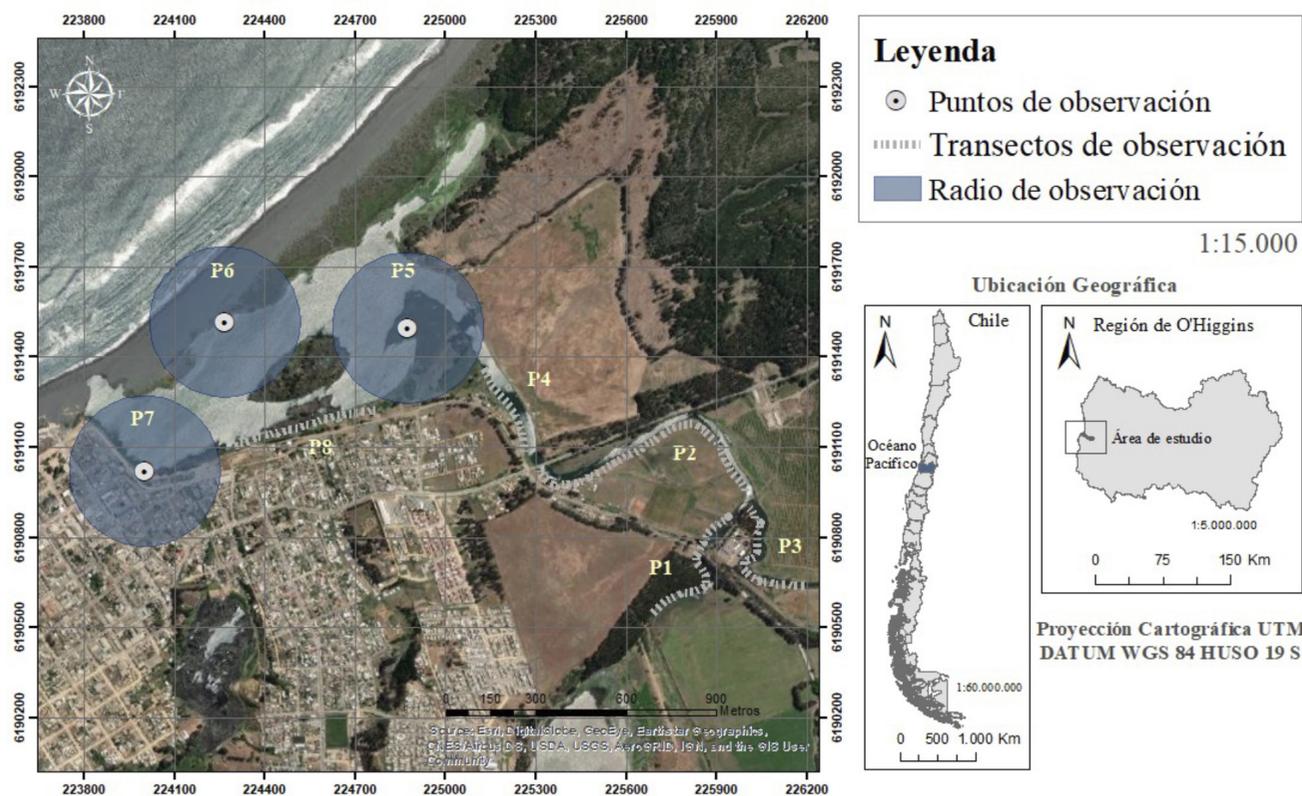


FIGURA 1. Mapa de diseño de muestreo de avifauna en el humedal Petrel, Pichilemu, Región del Libertador Bernardo O'Higgins. / Avifauna sampling design map in the Petrel wetland, Pichilemu, Libertador Bernardo O'Higgins region.

TABLA 1: Caracterización de los sitios de muestreo. / Characterization of sampling sites.

Sitios	Cuerpo de agua	Cobertura vegetal dominante	Distancia al núcleo urbano (m)	Intervenciones antrópicas e impactos ambientales negativos
Sitio 1 (P1)	Estero	Plantación forestal y agrícola, herbáceas introducidas.	490	Eutrofización, plantaciones forestales y agrícolas, pastoreo de ganado.
Sitio 2 (P2)	Estero	Plantación agrícola y herbáceas introducidas	450	Alto flujo de tránsito vehicular, plantación agrícola, pastoreo de ganado, planta de tratamiento de aguas servidas, aserradero forestal.
Sitio 3 (P3)	Estero	Plantación forestal y agrícola, herbáceas introducidas.	600	Eutrofización, plantaciones forestales y agrícolas, pastoreo de ganado.
Sitio 4 (P4)	Estero	Herbáceas introducidas y arbolado urbano exótico.	380	Alto flujo de tránsito vehicular, pastoreo de ganado, perros callejeros, suelo construido con viviendas en la ribera.
Sitio 5 (P5)	Laguna	Halófitas, herbáceas, suculentas y arbustivas nativas.	750	Cabalgatas turísticas, pastoreo de ganado, perros callejeros.
Sitio 6 (P6)	Laguna	Halófitas, suculentas y arbustivas nativas.	500	Cabalgatas turísticas, pastoreo de ganado, perros callejeros, tránsito de vehículos motorizados 4x4 por sector de playa y dunas, acumulación de residuos, campismo.
Sitio 7 (P7)	Laguna	Herbáceas introducidas y arbolado urbano exótico.	50	Cabalgatas turísticas, pastoreo de ganado, perros callejeros, tránsito vehicular, tránsito de vehículos motorizados 4x4 por sector de playa y desembocadura, campismo, arbolado urbano exótico.
Sitio 8 (P8)	Laguna	Macrófitas nativas (total-juncal), herbáceas y forestales introducidas.	90	Tránsito vehicular, construcciones urbanas, perros callejeros, acumulación de residuos, arbolado urbano exótico.

MONITOREO DE LA AVIFAUNA

Se realizaron monitoreos mensuales entre abril 2020 y marzo 2023 (n = 36). Se estableció una metodología mixta que contempló tres puntos de conteo, con un radio de observación aproximado de 100 m y un tiempo de observación de 10 minutos por cada estación. Se procuró que estos estuvieran separados por una distancia de al menos 150 m para evitar el doble conteo de individuos y garantizar la independencia entre las unidades de muestreo (Sutherland 1996). Además, se incorporó cinco transectos de ancho variable a lo largo del perímetro del humedal, cada uno con una longitud de aproximadamente 450 m de recorrido lineal (Fig. 1). Siempre se procuró que las condiciones ambientales fueran adecuadas para la observación, esto es, sin lluvia, niebla o viento fuerte (Bibby *et al.* 2000). Todas las sesiones iniciaron 30 minutos después de la salida del sol y en cada una de ellas participó un mínimo de dos observadores. Se registró el número de individuos por especie a través de

observación directa y registros acústicos (De la Maza & Bonacic 2013). Adicionalmente, se registraron todos los eventos de reproducción confirmada por especie, utilizando la clasificación propuesta por Medrano *et al.* (2018). Para poder evaluar el efecto de los sitios de muestreo sobre los eventos reproductivos, cada evento se consideró como el número de registros independientes para cualquier individuo (adultos y crías) de la comunidad. Por ejemplo, se consideraron dos eventos de reproducción confirmada independientes, si para la misma especie se registró una pareja de adultos en proceso de construcción de nido y se registró a crías recién emplumadas dependientes de sus padres. Las observaciones fueron realizadas utilizando binoculares modelo Bushnell falcon (10x50mm), catalejo modelo Celestron ultima 65 (18-55x 65mm) y cámara fotográfica modelo Nikon 5300 con un lente réflex 70 - 300mm para dejar registro de las especies. Cada monitoreo mensual consideró un tiempo de observación de aproximadamente 6 horas, por tanto, considerando los 36

meses de estudio, el esfuerzo de muestreo contempló un total de 216 horas de observación.

ANÁLISIS DE DATOS

Se clasificó taxonómicamente las especies registradas, según su orden y familia, utilizando la clasificación basada en South American Classification Committee (Remsen *et al.* 2021), para posteriormente evaluar la diversidad taxonómica, a través del índice de Riqueza Taxonómica Ponderada (Rtp) (Victoriano *et al.* 2006), el cual estima la diversidad taxonómica al interior de cada orden, integrando de manera ponderada la participación desde el nivel de especie a familia. Adquiriendo valores desde 1 (riqueza ponderada mínima, correspondiente a una sola especie, y por ende un género y una sola familia), hasta infinito. Si bien este índice es aplicable tanto para comparaciones entre áreas como entre taxa superiores, en este caso sólo fue aplicado a cada orden de aves. La riqueza fue definida como el número total de especies registradas. Mientras que la abundancia, como el número total de individuos por monitoreo mensual. Para estimar la diversidad de la comunidad de aves, se calculó el índice de diversidad de Shannon & Weaver (H') (1964), el cual contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio y la cantidad relativa de individuos de cada una de las especies. Este índice toma valores entre 1 y 4,5. Donde, valores sobre 3 son interpretados como “diversos” (Shannon & Weaver 1964). Para medir la equitatividad de las abundancias de la comunidad de aves se utilizó el índice de equitatividad de Pielou (J') (1975), cuyos valores van de 0 a 1, de forma que, 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran 1988).

Para comparar la riqueza y abundancia entre estaciones, los tres años de seguimiento se separaron en dos períodos: cálido y frío, dada la mediterraneidad del sitio y su fluctuación estacional (Vilina & Cofré 2008). Se define Período Cálido a la suma de los meses de primavera y verano (estación primaveral más estación estival; desde octubre a marzo) y Período Frío a la suma de los meses de otoño e invierno (estación otoñal más estación invernal; desde abril a septiembre). Entonces, para determinar si el periodo tiene un efecto significativo sobre la riqueza y abundancia, se utilizó un Modelo Lineal Generalizado (GLM) con distribución de Poisson con la finalidad de comparar la riqueza y abundancia entre los dos periodos (Zuur *et al.* 2007).

Para analizar las diferencias entre los puntos de muestreo en la abundancia y riqueza de las especies, se ajustó un modelo de regresión con distribución de Poisson, sobre el que se aplicó un ANOVA II, seguido de un análisis *post hoc*, por medio de la prueba de comparación múltiple de Tukey (Zuur *et al.* 2007).

Adicionalmente, se clasificó a las especies en residentes y

migratorias, de acuerdo a la revisión de Martínez & González (2017), en: (R) = especies residentes, (VV) = especies visitantes de verano y (VI) = especies visitantes de invierno.

Finalmente, se evaluó si los sitios de muestreo tenían un efecto significativo sobre el número de eventos reproductivos registrados, para lo cual se ajustó un modelo de regresión de Poisson cero-inflado (Lambert 1992), sobre el cual se aplicó un ANOVA II. Luego se realizó un análisis *post hoc*, por medio de la prueba de comparación múltiple de Tukey (Zuur *et al.* 2007). Todos los test fueron realizados con un nivel de significancia de 5 % ($\alpha = 0.05$) y se llevaron a cabo en el paquete *emmeans* (Lenth 2023) y *mass* (Venables & Ripley 2002) del software estadístico R versión 3.6.3 (R Core Team 2019).

RESULTADOS

RIQUEZA DE ESPECIES, ABUNDANCIA DE INDIVIDUOS Y DIVERSIDAD TAXONÓMICA

Se registró un total de 113 especies, distribuidas en 16 órdenes y 37 familias (Material Suplementario 1), de las cuales, 67 corresponden a especies asociadas directamente a ambientes acuáticos y 46 a otros ambientes. En cuanto al origen, la mayoría son nativas, registrándose solo dos especies introducidas: *Passer domesticus* y *Callipepla californica*, además, se registraron tres especies endémicas: *Cinclodes nigrofumosus*, *Scytalopus fuscus* y *Pseudasthenes humicola*. Del total de especies registradas, 23 se encuentran categorizadas en el reglamento de clasificación de especies silvestres en Chile (desde el 1° al 18° Proceso de Clasificación RCE): *Coscoroba coscoroba*, *Cygnus melancoryphus*, *Anas bahamensis*, *Ardea cocoi*, *Charadrius modestus*, *Gallinago magellanica*, *Heteronetta atricapilla*, *Ixobrychus involucris*, *Leucophaeus pipixcan*, *Numenius phaeopus*, *Patagioenas araucana*, *Spatula platalea*, *Sula variegata*, *Tringa flavipes*, en categoría Preocupación Menor (LC); *Charadrius collaris*, *Haematopus palliatus*, *Pelecanus thagus*, *Phoenicopterus chilensis*, *Plegadis chihi*, *Thalasseus elegans*, consideradas Casi Amenazadas (NT); *Charadrius nivosus*, *Leucophaeus modestus*, *Limosa haemastica*, catalogadas como amenazadas en la categoría Vulnerable (VU).

La riqueza promedio fue de $56 \pm 8,9$ especies, concentrándose los mayores valores de riqueza entre los meses de diciembre y marzo (Fig. 2a). El promedio mensual de abundancia fue de $1666 \pm 844,8$ individuos, siendo el mes de agosto de 2020 con 640 y febrero de 2021 con 3775, los meses con menor y mayor abundancia, respectivamente (Fig. 2b). En cuanto al índice de riqueza taxonómica, los órdenes más diversos fueron los órdenes Passeriformes (Rtp = 22,1), seguido de Charadriiformes (Rtp = 12,6), Pelecaniformes

(Rtp = 4,9) y Anseriformes (Rtp = 4,0) (Tabla 2).

Respecto a la diversidad de especies, se registró un índice H' de ($2,49 < H' < 3,28$) con un promedio de $3,01 \pm 0,19$. El índice J' fue ($0,61 < J' < 0,81$) con un promedio de $0,75 \pm 0,05$. Al comparar los dos periodos (cálido versus frío), el GLM con distribución de Poisson arrojó que el periodo tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la riqueza ($P = 1,83e-05$) y abundancia ($P = 2e-16$), (Fig. 3a y 3b). El análisis de varianza tipo II de cada modelo lineal generalizado ajustado indicó que el sitio tiene un efecto significativo en la riqueza

(ANOVA tipo II₇ = 1554,7; $P < 0,001$) y abundancia (ANOVA tipo II₇ = 64643; $P < 0,001$). En cuanto a la abundancia, los mayores valores se registraron para los sitios P5 y P6, por su parte, la prueba de comparación múltiple de Tukey arrojó que cada sitio resultó ser diferente entre los demás a excepción de los sitios P2 y P4, los cuales no mostraron diferencias significativas entre ellos (Fig. 4b). Respecto a la riqueza, los mayores valores fueron registrados para el sitio P5, el cual resultó ser significativamente distinto respecto a todos los demás (Fig. 4a).

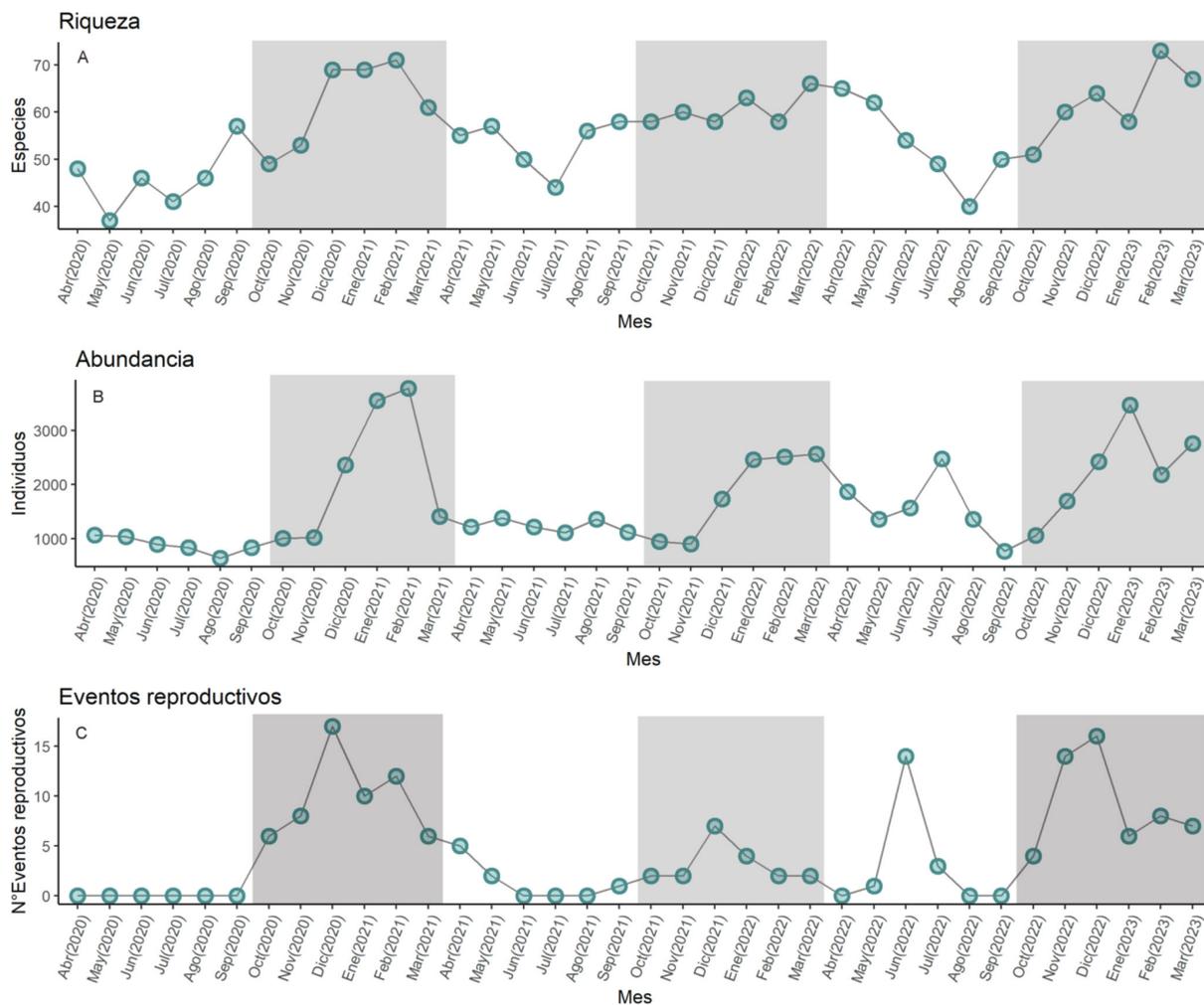


FIGURA 2. Dinámica de riqueza de especies (A), abundancia de individuos (B) y eventos de reproducción (C) durante los meses de muestreo. El color gris muestra el periodo cálido y el blanco el periodo frío. / Dynamics of species richness (A) abundance of individuals (B) and reproduction events (C) during the sampling months. The gray color shows the warm period and the white the cold period.

TABLA 2. Riqueza taxonómica de las aves presentes en el humedal Petrel. Muestra el índice de riqueza taxonómica ponderada (Rtp). (*) Indica los órdenes de aves íntegramente acuáticas (Victoriano *et al.* 2006). / Taxonomic richness of birds present in Petrel wetland. It shows the weighted taxonomic richness index (Rtp). (*) Indicates the orders of fully aquatic birds, according to the classification proposed by Victoriano *et al.* (2006).

Órdenes	Nº Familias	Nº Géneros	Nº Especies	Rtp
Passeriformes	14	32	35	22,1
Charadriiformes*	6	18	28	12,6
Pelecaniformes*	3	7	8	4,9
Anseriformes*	1	6	12	4,0
Columbiformes	1	4	4	2,3
Gruiformes*	1	3	5	2,1
Podicipediformes*	1	3	4	2,0
Suliformes*	2	2	2	2,0
Falconiformes	1	3	3	1,9
Accipitriformes	1	3	3	1,9
Cathartiformes	1	2	2	1,4
Apodiformes	1	2	2	1,4
Piciformes	1	2	2	1,4
Phoenicopteriformes*	1	1	1	1,0
Galliformes	1	1	1	1,0
Strigiformes	1	1	1	1,0

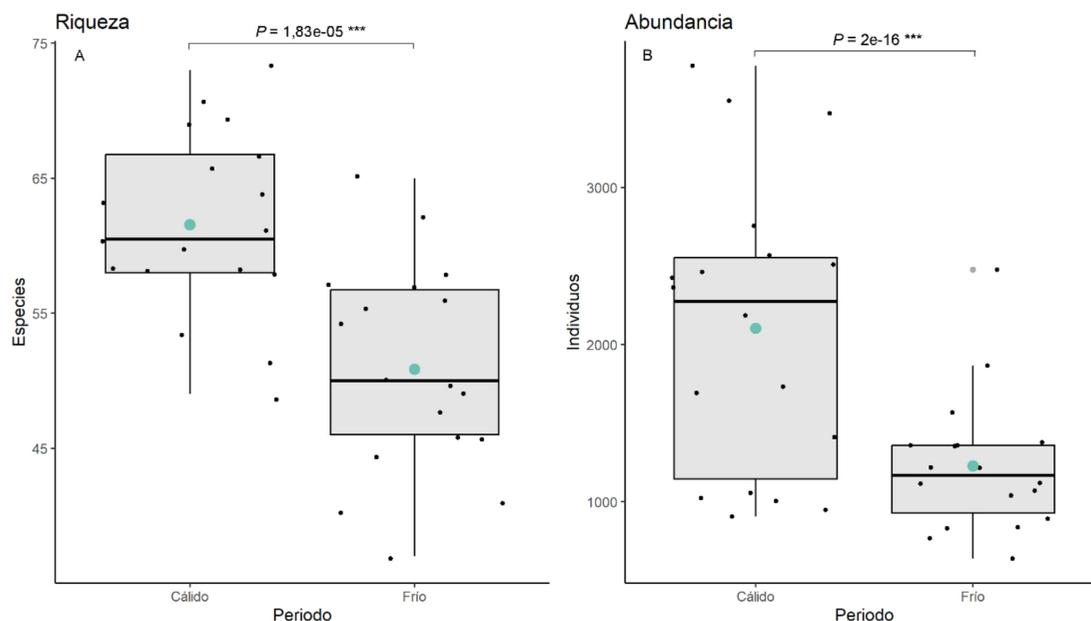


FIGURA 3. Boxplots de riqueza de especies (A) y abundancia de individuos (B), registrados por periodo (cálido y frío) durante los tres años de monitoreo. Los periodos fueron significativamente diferentes (según GLM con distribución de Poisson), para la riqueza ($P = 1,83e-05$) y abundancia ($P = 2e-16$). (***) Representa nivel altamente significativo. / Boxplots of (A) species richness and (B) individuals abundance, recorded by period (warm and cold) during the three years of monitoring. The periods were significantly different (according to GLM with Poisson distribution), for richness ($P = 1.83e-05$) and abundance ($P = 2e-16$). (***) Represents highly significant level.

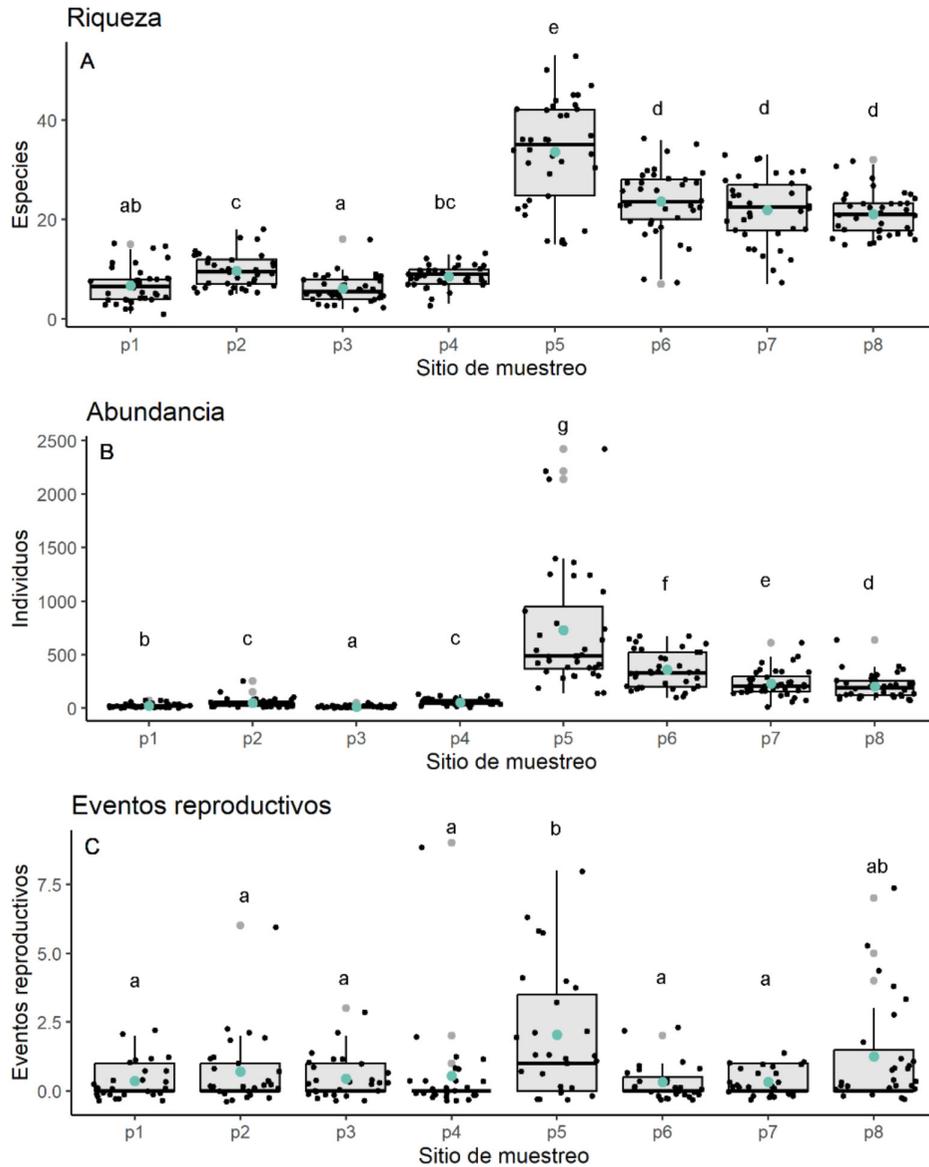


FIGURA 4. Boxplots de riqueza de especies (A), abundancia de individuos (B) y número de eventos reproductivos (C) por sitio de muestreo. En todos los casos las diferentes letras indican las diferencias significativas entre los sitios según el resultado de la prueba de comparación múltiple de Tukey. / Boxplots of species richness (A), abundance of individuals (B) and number of reproductive events (C) by sampling site. In all cases, the different letters indicate the significant differences between the sites according to the result of Tukey's multiple comparison test.

ESPECIES MIGRATORIAS

Se registró un total de 27 especies migratorias, de las cuales 22 corresponden a visitantes de verano y cinco a visitantes de invierno (Material Suplementario 1). Los mayores valores de riqueza y abundancia de especies migratorias se registraron en el periodo cálido, concentrándose entre los meses de diciembre y marzo (Fig. 5).

ESPECIES REPRODUCTORAS

Se identificaron eventos reproductivos para un total de 17 especies (Tabla 3). Los cuales se concentraron principalmente entre los meses de octubre y marzo (Fig. 2c). Se observó que los sitios tienen un efecto significativo en el número de eventos reproductivos (ANOVA tipo II, $F = 46,877$; $P < 0,001$) concentrándose la mayor cantidad de registros en el sector de muestreo P5, el cual, fue significativamente distinto respecto a los demás (Fig. 4c).

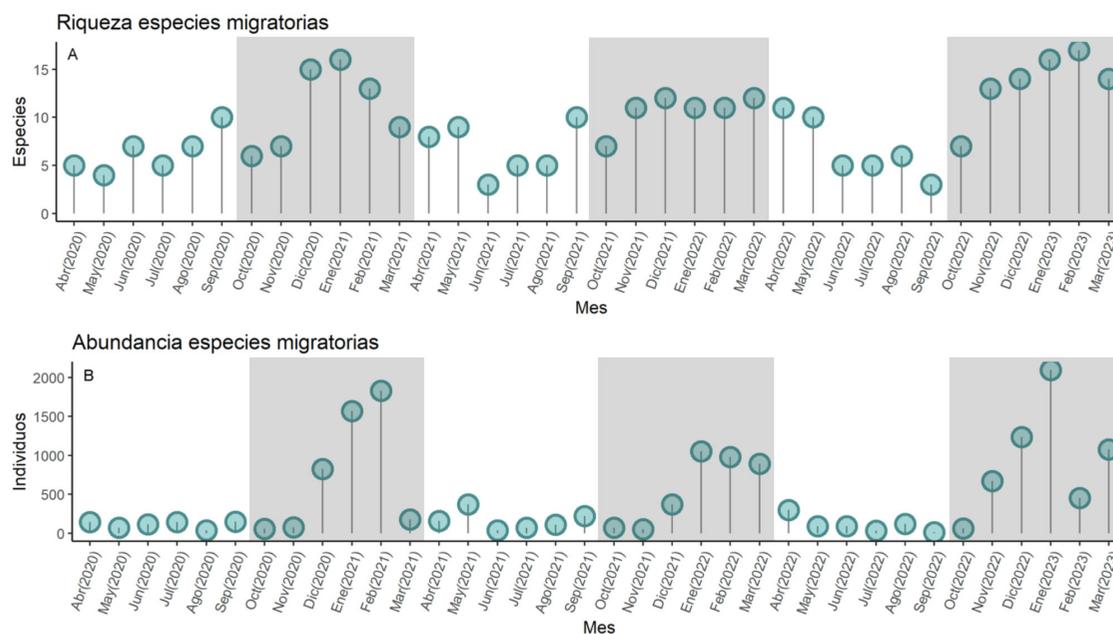


FIGURA 5. Dinámica de riqueza de especies migratorias (A) y abundancia de especies migratorias (B) a lo largo de los meses de muestreo. El color gris muestra el periodo cálido y el blanco el periodo frío. / Dynamics of migratory species richness (A) and abundance of migratory species (B) throughout the sampling months. The gray color shows the warm period and the white the cold period.

TABLA 3. Resumen de especies que registraron eventos de reproducción confirmada durante el periodo en estudio, según clasificación propuesta por Medrano *et al.* (2018). / Summary of species that recorded confirmed reproduction events during the study period, according to the classification proposed by Medrano *et al.* (2018).

Nombre común	Nombre científico	Eventos de reproducción confirmada
Cisne coscoroba	<i>Coscoroba coscoroba</i>	Nido ocupado; nido con polluelos; crías recién emplumadas.
Cisne de cuello negro	<i>Cygnus melancoryphus</i>	Crías recién emplumadas.
Huala	<i>Podiceps major</i>	Nido ocupado; alimentación de polluelos; acarreado alimento; transporte de material para nido.
Pato cuchara	<i>Spatula platalea</i>	Crías recién emplumadas
Pato jergón grande	<i>Anas georgica</i>	Crías recién emplumadas
Pato jergón chico	<i>Anas flavirostris</i>	Crías recién emplumadas
Pato rana pico delgado	<i>Oxyura vittata</i>	Crías recién emplumadas
Pato real	<i>Mareca sibilatrix</i>	Crías recién emplumadas
Picurio	<i>Podilymbus podiceps</i>	Crías recién emplumadas
Pimpollo	<i>Rollandia rolland</i>	Crías recién emplumadas
Queltehue	<i>Vanellus chilensis</i>	Crías recién emplumadas
Sietecolores	<i>Tachuris rubrigastra</i>	Construcción de nido; transporte de material para el nido
Tagua	<i>Fulica armillata</i>	Crías recién emplumadas; nido ocupado; transporte de material para nido.
Tagua de frente roja	<i>Fulica rufifrons</i>	Crías recién emplumadas
Tagüita	<i>Porphyriops melanops</i>	Crías recién emplumadas; alimentación de polluelos
Trabajador	<i>Phleocryptes melanops</i>	Nido ocupado
Zorzal	<i>Turdus falcklandii</i>	Crías recién emplumadas

DISCUSIÓN

Los órdenes y familias registrados alcanzaron una representatividad del 57,1 % y 56,1 %, respectivamente, en cuanto a los descritos en Chile (Remsen *et al.* 2021), lo que da cuenta de la importancia de este espacio como reservorio de diversidad de avifauna. Al analizar los valores del Rtp, se observa que el orden mejor representado es el Passeriformes (aves cantoras), sugiriendo que este es el grupo más heterogéneo a nivel taxonómico ($Rt = 22,1$), puesto que está representando por 14 familias, 32 géneros y 35 especies (Material complementario). Si bien este grupo no es un orden íntegramente acuático, su diversidad, se explica básicamente por los diversos microambientes que se encuentran alrededor del cuerpo de agua, como, por ejemplo, fragmentos de bosque esclerófilo, vegetación nativa de tipo arbustiva, herbácea, suculentas, macrófitas, y plantaciones forestales de *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon*, lo que permite la presencia de una amplia gama de especies de este orden. Con respecto a las aves acuáticas, el grupo más diverso es el orden Charadriiformes (playeros, chorlos, gaviotas, ostreros y becacas), además de ello, es el grupo con mayor número de especies migratorias, y actualmente las especies que presentan alguna categoría de amenaza dentro del humedal, pertenecen a este orden. Adicionalmente, el valor Rtp para este orden es alto (12,6) en contraste con el Rtp a nivel de Chile, el cual es 17,6 (Victoriano *et al.* 2006), por ende, el humedal Petrel es utilizado por las aves de este orden como fuente de alimento, descanso, refugio y sitio de invernada. Es preciso destacar el valor del índice Rtp para el orden Podicipediformes (Tabla 2), pues corresponde al mismo valor descrito para todo Chile, por lo tanto, en el humedal Petrel se registra la representación total de familias, géneros y especies de este orden a nivel país, aunque, este valor no considera aves errantes como *Podiceps gallardoi* (Roesler 2015)

La riqueza registrada, representa el 50,4 % de las aves acuáticas que habitan en Chile según la clasificación de Victoriano *et al.* (2006) y el 59,3 % según lo propuesto en el meta-análisis de Miranda-García *et al.* (2021). Además, la riqueza corresponde al 24,6 % de las aves totales presentes en Chile (Vilina & Cofré 2008), valor elevado si se considera que el humedal Petrel no supera las 70 ha de extensión. Sobre todo, si lo comparamos con otros humedales costeros de la zona central de Chile, con una extensión muy superior, como el Humedal de Mantagua (200 ha), el cual posee registros de solo 78 especies de aves (Simeone *et al.* 2008). Si realizamos el mismo análisis comparativo y contrastamos la relación n° de especies / superficie (ha), con un humedal costero protegido (sitio Ramsar), como el humedal el Yali, el cual presenta 123 especies de aves (Silva 2010), con 520

ha de extensión, obtenemos una relación de 0,24 especies por hectárea, en cambio, en el humedal Petrel, la relación asciende a 1,62 especies por hectárea (i.e., ca. 7 veces más). Estos antecedentes son relevantes para caracterizar al humedal Petrel como un espacio de gran valor avifaunístico. Lo que es reafirmado con los índices de diversidad (H') y de equitabilidad (J') obtenidos, los cuales denotan un ecosistema biodiverso y con una alta equitabilidad, lo que se traduce en una alta riqueza y abundancias homogéneamente distribuidas entre las especies.

Al contrastar la abundancia y riqueza del periodo frío (abril – septiembre) con el periodo cálido (octubre – marzo), el GLM evidenció diferencias significativas entre los periodos, observándose una mayor riqueza y abundancia promedio para los meses cálidos, alcanzando valores de $61,6 \pm 6,8$ y $2102,9 \pm 936,1$, respectivamente. Este patrón ha sido estudiado en los humedales de la zona central (González *et al.* 2011, Estades *et al.* 2012), pudiendo explicarse este aumento en la abundancia de aves acuáticas, como parte del proceso de “dispersión local en periodo cálido”. Este fenómeno, indica que las especies residentes que se concentran en los estuarios y lagunas costeras, muy probablemente provienen de humedales de baja extensión del valle central y latitudes menores, donde, una gran porción de estos humedales durante el periodo cálido se seca, generando escasez de agua, disminución de alimento y sitios de refugio, por lo que se ven obligados a desplazarse a otros sitios (González *et al.* 2011, Estades *et al.* 2012). De allí, la importancia de los humedales costeros como hábitat claves para las aves acuáticas. Por otra parte, se puede mencionar la alta riqueza y abundancia de especies migratorias en periodo cálido, pues el 81,5 % de estas especies, corresponden a visitantes de verano, siendo la gran mayoría migrantes boreales, las cuales se concentran en grandes cantidades en las costas y humedales costeros de la franja litoral de Chile (Tala 2006).

Si se analiza las diferencias en riqueza y abundancia en los distintos sitios de muestreo, se observa que en ambos casos el sitio P5 exhibe diferencias significativas con todos los demás, pues en él se registró la mayor riqueza y abundancia promedio, con $33,6 \pm 10,5$ especies y $729,4 \pm 584,6$ individuos, respectivamente. Lo cual, indica que las especies seleccionan este sector sobre los demás, lo que podría evidenciar mejores condiciones de hábitat, pues las aves son buenas bioindicadoras de la calidad ambiental (Fernández *et al.* 2005, López-Lanus & Blanco 2005, Amat & Green 2010). Del mismo modo, al analizar el efecto de los sitios de muestreo sobre el número de eventos reproductivos registrados, se evidenció que este sector (P5), mostró diferencias significativas con el resto de los sitios, concentrando la mayor cantidad de eventos reproductivos,

lo cual se puede deber a que éste presenta un acceso más limitado y una mayor distancia al núcleo urbano, registrando menores perturbaciones. No obstante, durante las jornadas de monitoreo, se observó presencia de ganado pastoreando en las cercanías de los nidos registrados para *Fulica armillata*, *Coscoroba coscoroba*, *Cygnus melancoryphus* y *Podiceps major*, a lo cual se suma la constante presencia de perros callejeros y actividades turísticas no reguladas (cabalgatas), pudiendo ocasionar pisoteo de nidos, huevos y pichones, separación de pichones y padres, o disminución de zonas disponibles para nidificación (U.S. Fish And Wildlife Service 2007). Por lo tanto, es necesario implementar acciones tendientes a disminuir el impacto de actividades que constituyan amenazas, no solo para el grupo avifaunístico, pues este sector también concentra una alta cantidad de vegetación nativa, lo que nos lleva a sugerir que el sector noreste (P5) sería una zona prioritaria de conservación dentro del humedal, dada su relevancia tanto en riqueza de especies, abundancia de individuos y concentración de especies reproductoras. Por otra parte, se registró un elevado número de especies migratorias, pues para Chile se data un total de 72 especies migratorias boreales y australes (Tala 2006), observándose un 37,5 % del total registrado para nuestro país. Valor que destaca sobre la laguna Conchalí, la cual es considerada Santuario de la naturaleza y sitio Ramsar, registrando solo 18 especies migratorias (Mella 2015). Si se analiza la fluctuación de riqueza y abundancia de especies migratorias por mes de muestreo (Fig. 5), se observa que los mayores valores se concentran entre los meses de diciembre a febrero, temporada estival, la cual se caracteriza por un incremento de la población flotante, aumentando también las intervenciones antrópicas derivadas de actividades turísticas, como cabalgatas, las que incluyen en sus recorridos el sector de mayor concentración de especies migratorias (sector noroeste del humedal), pudiendo ver afectados sus patrones conductuales, causando estrés y limitando el normal desarrollo de sus actividades (Henson *et al.* 2012). Por otra parte, destacan los registros de *Spatula discors*, especie migratoria que se distribuye principalmente por Norteamérica, reproduciéndose en Alaska, Canadá y Centro-Norte de Estados Unidos. Esta especie, presenta escasos registros en Chile, considerada una especie "errante" (Barros *et al.* 2014), siendo los registros en el área de estudio, los más al sur del país (<https://aveschile.cl>). Respecto a las especies reproductoras registradas, los eventos de reproducción confirmada se concentraron entre los meses de octubre a marzo, lo cual, concuerda con lo señalado por Hoffmann & Lazo (2014) quienes indican que la época de reproducción para la mayoría de las aves se inicia en primavera. La época estival concentró parte importante de los eventos

reproductivos registrados, lo cual es importante de evaluar, pues corresponde a la temporada con mayores disturbios antrópicos observados en el sitio de estudio, lo que puede poner en riesgo el éxito reproductivo de estas especies.

En conclusión, se destaca al humedal Petrel como un sitio de relevancia ecológica a nivel avifaunístico, pues presenta una alta riqueza de especies y diversidad taxonómica, destacando incluso por sobre otros humedales protegidos de similares características de la zona central de Chile. A lo cual, se suma la alta cantidad de especies migratorias, principalmente estivales, las cuales, concentraron las mayores abundancias registradas. No obstante, la mayor riqueza de especies, a lo largo de todo el año, está dada por las especies residentes. Por otra parte, los sitios de muestreo mostraron efectos significativos sobre la abundancia, riqueza de especies y número de eventos reproductivos registrados, mostrando una selección por el sector de muestreo P5, el cual presenta menores intervenciones antrópicas. No obstante, se evidenciaron fuentes de amenazas, como actividades humanas durante la temporada estival. Por lo cual, se sugiere que es pertinente la implementación de medidas de conservación y manejo del humedal, pues debido a su reducido tamaño la posibilidad de sostenerse como hábitat estable dependerá de su adecuada conservación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Pichilemu por la iniciativa de monitorear los humedales de la comuna y fomentar la investigación en sus ecosistemas naturales. También, a todos los jóvenes amantes de la naturaleza que en algún momento apoyaron las jornadas de muestreos: Dubán Espinoza, Paloma Yávar, Brandon Ahumada, Matías Yáñez y Benjamín Miranda. Agradecemos los valiosos comentarios de los revisores anónimos que permitieron mejorar sustancialmente el manuscrito y a la Beca Doctorado Nacional 2021 (ANID).

REFERENCIAS

- Amat, J., Green, A. 2010. Waterbirds as Bioindicators of Environmental Conditions. In: Hurford, C., Schneider, M., Cowx, I. (Eds) Conservation Monitoring in Freshwater Habitats: 45-52. Springer, Dordrecht, Nederland.
- Andrade, B., Grau, S. 2005. La Laguna de Cahuil, un ejemplo de estuario estacional en Chile Central. Revista de Geografía Norte Grande 33: 59-72.
- Andrés-Abellán, M., Del Alamo, J., Landete-Castillejos, T.,

- López-Serrano, F., García-Morote, F., Del Cerro-Barja, A. 2005. Impacts of visitors on soil and vegetation of the recreational area "Nacimiento del Río Mundo" (Castilla-La Mancha, Spain). *Environmental Monitoring and Assessment* 101: 55-67.
- Barbosa, O., Villagra, P. 2015. SocioEcological Studies in Urban and Rural Ecosystems in Chile. In: Rozzi, R., Chapin, S., Callicott, J., Pickett, S., Power, M., Armesto, J., May, JR., R. (Eds) *Earth Stewardship: linking ecology and ethics in theory and praxis*: 297-311. Springer, Switzerland.
- Barros, R., Jaramillo, A., Schmitt, F. 2014. Lista de las aves de Chile 2014. *La chiricoca* 20: 79-100.
- Bibby, C., Burgess, N., Hill, D., Mustoe, S. 2000. *Bird Census Techniques*, 2nd Edition. Academic Press, London.
- Cienfuegos, R., Campino, J., Gironás, J., Almar, R., Villagran, M. 2012. Desembocaduras y Lagunas Costeras en la Zona Central de Chile. In: Fariña, J., Caamaño, A. (Eds) *Humedales Costeros de Chile, Aportes Científicos a su Gestión Sustentable*: 21-66. Ediciones UC, Chile, Santiago, Chile.
- Cursach, J., Rau, J., Tobar, C. 2010. Aves en un humedal marino del sur de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 45(3): 441-450.
- De la Maza, M., Bonacic, C. (Eds). 2013. *Manual para el Monitoreo de Fauna Silvestre en Chile. Serie Fauna Australis*, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. 202 pp.
- Estades, C., Mukasovic, M., Aguirre, J. 2012. Aves en los Humedales Costeros de Chile. In: Fariña, J., Caamaño, A. (Eds) *Humedales Costeros: Aportes científicos a su gestión sustentable*: 67-99. Ediciones UC, Chile, Santiago, Chile.
- Estades, C., Vukasovic, M. 2013. Waterbird Population Dynamics at Estuarine Wetlands of Central Chile. *Ornitología Neotropical* 24: 67-83.
- Fernández, J., Selma, M., Aymerich, F., Sáez, M., Fructuoso, M. 2005. Aquatic birds as bioindicators of trophic changes and ecosystem deterioration in the mar menor lagoon (SE Spain). *Hydrobiology* 550(1): 221-235
- Gallardo, J., Rau, J., De la Fuente, A., Marinkovic, F., Teutsch, C. 2018. Variación estacional de la riqueza, frecuencia relativa y diversidad de aves en humedales urbanos de Llanquihue, sur de Chile. *Revista Chilena de Ornitología* 24: 27-36.
- González, A., Victoriano, P., Schlatter, R. 2009. Waterbird Assemblages and Habitat Characteristics in Wetlands: Influence of Temporal Variability on Species-Habitat Relationships. *Waterbirds* 32(2): 225-233.
- González, A., Vukasovic, M., Estades, C. 2011. Variación temporal en la abundancia y diversidad de aves en el humedal del Río Itata, región del Bío-Bío, Chile. *Gayana* 75: 170-181.
- Grimm, N., Faeth, S., Golubiewski, N., Redman, C., Wu, J., Bai, X., Briggs, J. 2008. Global Change and the Ecology of Cities. *Science* 319: 756-760.
- Henson, S., Weldon, L., Hayward, J., Greene, D., Megna, L., Serem, M. 2012. Coping behaviour as an adaptation to stress: post-disturbance preening in colonial seabirds. *Journal of Biological Dynamics* 6: 17-37.
- Hoffmann, A., Lazo, I. 2014. *Aves de Chile Un libro también para niños*, 4ta ed. Corporación Instituto de Ecología y Biodiversidad, Santiago, Chile. 145 pp.
- Kusch, A., Cárcamo, J., Gómez, H. 2008. Aves acuáticas en el humedal urbano de tres puentes, Punta Arenas (53° s), Chile austral. *Anales del Instituto de la Patagonia* 36: 45-51.
- Lambert, D. 1992. Zero-Inflated Poisson Regression, with an Application to Defects in Manufacturing. *Technometrics* 34: 1-14.
- Lenth, R. 2023. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.8.6. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Liu, Z., He, C., Zhou, Y., Wu, J. 2014. How much of the world's land has been urbanized, really? A hierarchical framework for avoiding confusion. *Landscape Ecology* 29: 763-771.
- López-Lanus, B., Blanco, D. 2005. El censo neotropical de aves acuáticas 2004: una herramienta para la conservación. *Wetlands International Global Series* 17, Buenos Aires, Argentina.
- Luebert, F., Pliscoff, P. 2017. *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile, Segunda Edición*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 384 pp.
- Magurran, A.E. 1988. Diversity indices and species abundance models. In: Magurran, A.E. (Ed) *Ecological Diversity and Its Measurement*: 7-45. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Martínez, D., González, G. 2017. *Aves de Chile: Guía de Campo y Breve Historia Natural*. Ediciones del Naturalista, Santiago, Chile. 538 pp.
- Martínez-Megías, C., Rico, A. 2022. Biodiversity impacts by multiple anthropogenic stressors in Mediterranean coastal wetlands. *Science of the Total Environment* 818: 151712
- Medrano, F., Barros, R., Norambuena, H., Matus, R., Schmitt, F. 2018. *Atlas de las Aves Nidificantes de Chile*. Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre de Chile, Santiago, Chile. 672 pp.
- Mekonen, S. 2017. Birds as biodiversity and environmental indicator. *Journal of Natural Sciences Research* 7(21): 28-34.
- Mella, J. 2015. Informe de monitoreo de avifauna en punta chungo y laguna Conchalí, Minera los Pelambres, Región de Coquimbo. Verano 2015. CEA, Coquimbo, Chile.

- Mella-Romero, J., Peña-Villalobos, I., Sallaberry, M. 2018. Aves acuáticas en laguna petrel (Región del Libertador Bernardo O'Higgins): Abundancia y propuesta de conservación. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile* 67(2): 77-89.
- Miranda-Cavallieri, M., Allendes-Muñoz, C., Matus-Olivares, C., Lisón, F. 2023. Habitat preference and abundance of *Coscoroba coscoroba* and *Cygnus melancoryphus* in Petrel wetland (O'Higgins region, Chile): Implications in the conservation. *Gayana* 87(1): 86-96. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382023000100086>
- Miranda-García, M., Muñoz-Pedrerros, A., Norambuena, H. 2021. Waterbird assemblages of inland wetlands in Chile: A meta-analysis. *Nature Conservation* 45: 41-61.
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., Da Fonseca, G., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(6772): 853-858.
- Navarro, N., Abad, M., Bonnail, E., Izquierdo, T. 2021. The arid coastal wetlands of northern Chile: Towards an integrated management of highly threatened systems. *Journal of Marine Science and Engineering* 9(9): 948.
- Parra, E. 2014. Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *Revista CES Salud Pública* 5: 59-69.
- Pauchard, A., Villarroel, P. 2002. Protected Areas in Chile: History, Current Status, and Challenges. *Natural Areas Journal* 22: 318-330.
- Pielou, E.C. 1975. *Ecological diversity*. John Wiley and Sons, New York. 166 pp.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R version 3.6.3. The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Remsen, J., Areta, J., Bonaccorso, E., Claramunt, S., Jaramillo, A., Lane, D.F., Robbins, M.B., Stiles, F.G., Zimmer, K.J. 2021. A classification of the bird species of South America. Museum of Natural Science, Louisiana State University. South American Classification Committee. <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.htm>
- Roesler, I. 2015. The status of hooded grebe (*Podiceps gallardoi*) in Chile. *Ornitología Neotropical* 26(3): 255-263.
- Schlatter, R., Sielfeld, W. 2006. Avifauna y mamíferos acuáticos de humedales en Chile. In: Vila, I., Veloso, A., Schlatter, R., Ramírez (Eds) *Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile*: 141-187. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Shannon, C., Weaver, W. 1964. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, IL, USA. 144 pp.
- Silva, R. 2010. Ruta Ornitológica: Humedal El Yali. *La Chiricoca* 11: 44-50.
- Simeone, A., Oviedo, E., Bernal, M., Flores, M. 2008. Las aves del humedal de Mantagua: riqueza de especies, amenazas y necesidades de conservación. *Boletín Chileno de Ornitología* 14: 22-35.
- Sutherland, W.J. 1996. *Ecological census techniques: A handbook*. Cambridge University Press, USA. 336 pp.
- Tala, C. 2006. Qué hacen aquí esas gaviotas... qué hacen aquí, tan lejos de su lugar natal. *Boletín Veterinario Oficial* 5: 1-24.
- U.S. Fish And Wildlife Service. 2007. Recovery Plan for the Pacific Coast Population of the Western Snowy Plover (*Charadrius alexandrinus nivosus*). Santa Cruz, California. 292 pp.
- Venables, W., Ripley, B. 2002. *Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition*. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
- Victoriano, P., González, A., Schlatter, R. 2006. Estado de conocimiento de las aves de aguas continentales de Chile. *Gayana* 70(1): 140-162.
- Vilina, Y., Cofré, H. 2008. Aves Acuáticas Continentales. In: CONAMA (Eds) *Biodiversidad de Chile: patrimonio y desafíos*: 266-275. Ocho Libros Editores, Providencia, Santiago.
- Yang, H., Ma, M., Thompson, J., Flower, R. 2017. Protect coastal wetlands in China to save endangered migratory birds. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(28): E5491-E5492.
- Zhang, W., Zhang, J. 2011. Waterbirds as bioindicators of wetland heavy metal pollution. *Procedia Environmental Sciences* 10: 2769-2774.
- Zuur, A., Ieno, E., Smith, G. 2007. *Analyzing Ecological Data*. Springer-Verlag, New York. 672 pp.

Received: 04.04.2023

Accepted: 06.07.2023