



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**PARÁMETROS POBLACIONALES DE UNA COLONIA DE
PINGÜINO REY (*Aptenodytes patagonicus*) EN BAHÍA INÚTIL,
TIERRA DEL FUEGO, CHILE**

Magdalena Fernanda Cordero Pérez

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico
Veterinario

Departamento de Medicina
Preventiva Animal

PROFESOR GUÍA: Dr. Cristóbal Briceño Urzúa

SANTIAGO, CHILE

2022



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**PARÁMETROS POBLACIONALES DE UNA COLONIA DE
PINGÜINO REY (*Aptenodytes patagonicus*) EN BAHÍA INÚTIL,
TIERRA DEL FUEGO, CHILE**

Magdalena Fernanda Cordero Pérez

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico
Veterinario

Departamento de Medicina
Preventiva Animal

PROFESOR GUÍA: Dr. Cristóbal Briceño Urzúa

SANTIAGO, CHILE

2022

Nota Final:

Profesor Guía: Dr. Cristóbal Briceño U.

Profesor Corrector: Dr. José Yáñez L.

Profesor Corrector: Dr. André Rubio C.

RESUMEN

Hasta el 2010, el pingüino rey (*Aptenodytes patagonicus*) era considerado un habitante ocasional en la Isla Grande de Tierra del Fuego, Chile. El 2011 se estableció un grupo de pingüinos en Bahía Inútil y se instauraron iniciativas para su conservación en la Reserva Natural Pingüino Rey. Desde entonces, se han investigado sus características particulares y los eventos que han influido en su desarrollo. Debido a su confinamiento y distancia del mar abierto, esta colonia de pingüinos se diferencia de otras, y este estudio buscó analizar sus parámetros poblacionales. Para ello, se observó la colonia entre el año 2015 y el 2021 registrando la viabilidad mensual de los polluelos utilizando mortalidad absoluta y específica en contraste con variables ambientales. Los resultados mostraron sobrevivencia mayor a uno durante los cinco primeros años, aumento en el número anual de crías y mayor mortalidad durante los meses de invierno. Sin embargo, no se observó una tendencia temporal significativa en el número de polluelos independizados. Se encontró una fuerte asociación entre el periodo de eclosión y la independencia de los polluelos, donde aquellos nacidos entre enero y febrero tuvieron mayor probabilidad de independizarse. Respecto a los efectos ambientales, la temperatura mensual media, mínima y máxima mostraron una asociación significativa con mortalidad absoluta y específica, mientras que la velocidad del viento no mostró significancia. Este estudio otorga una base sobre las características particulares de esta nueva colonia y plantea desafíos para su manejo.

Palabras clave: pingüino rey, *Aptenodytes patagonicus*, parámetros poblacionales, viabilidad de polluelos, efectos ambientales.

ABSTRACT

Until 2010, the king penguin (*Aptenodytes patagonicus*) was considered an occasional visitor in Isla Grande of Tierra del Fuego, Chile. In 2011, a small group of penguins established in Bahía Inútil, which promoted conservation initiatives in King Penguin Nature Reserve. Since then, its particular characteristics and various events that have influenced its development have been researched. Due to its confinement and distance from open ocean, this colony differs from other penguin settlements and thus, this study aimed to analyze its population parameters. Observations were recorded from 2015 to 2021, to describe population parameters, evaluate the interannual viability of the chicks and analyze the influence of environmental variables on the absolute and specific mortalities of chicks. Results show higher than one survival in the first five years, increase on the annual number of offspring and greater mortality during the winter months, though no significant time trend in numbers of fledged chicks. A strong

association between the hatching period and chick's fledging was observed, where those born between January and February had greater chances of fledging. Regarding environmental effects, mean, maximum, and minimum monthly temperature showed a significant association with mortality, while wind speed wasn't significant. These analyses allow approaching this colony's particular features and poses challenges to its management.

Keywords: king penguin, *Aptenodytes patagonicus*, population parameters, chick viability, environmental effects.

INTRODUCCIÓN

El pingüino rey (*Aptenodytes patagonicus*) es una de las especies de pingüinos que han sido registrados a través de los años, en Bahía Inútil en la Isla Grande de Tierra del Fuego en Chile. Hasta el año 2010, esta ave era considerada un visitante ocasional en la bahía, pero ese año se estableció la primera y única colonia de la especie en territorio chileno (Bahamondes, 2004). Tras varios intentos fallidos, la colonia logró sus primeras nidadas exitosas el año 2013, y produjo su primer juvenil el año 2015. Desde entonces, la colonia ha crecido paulatinamente y se han promovido iniciativas de conservación para su protección, lo que llevó a la formación de la "Reserva Natural Pingüino Rey" (Reserva Natural Pingüino Rey, 2021).

Actualmente, el pingüino rey se encuentra en un estado de conservación de baja preocupación (Ancel, Beaulieu y Gilbert, 2013; BirdLife International, 2020). Sin embargo, al igual que otras especies de pingüinos, es vulnerable a las variaciones climáticas y las actividades antrópicas como el turismo, la pesca, la introducción de especies y la contaminación de hábitats marinos (Dee Boersma, 2008; Weimerskirch, Prudor y Schull, 2018). Debido al cambio climático, las zonas que habitan los pingüinos rey han sufrido cambios en su productividad en los últimos años, lo que ha repercutido negativamente en la abundancia del recurso alimenticio, y por ende en su sobrevivencia y éxito reproductivo (Charrasin y Bost, 2001; Delord, Barbraud y Weimerskirch, 2004; Cristofari *et al.*, 2018).

El ciclo reproductivo de estas aves es más extenso y complejo que el de otras especies de pingüinos, con una duración aproximada de 15 meses, lo que dificulta su estudio (Olsson, 1996; Ancel. *et al.*, 2013; Jouventin y Dobson, 2018). El proceso de incubación y crianza dura más de un año, por lo que esta ave solo puede criar un máximo de dos polluelos en un periodo de tres años (Kusch y Marín, 2012; Ancel *et al.*, 2013; Jouventin y Dobson, 2018). Su bajo éxito reproductivo está condicionado por diversos factores como el número de parejas reproductivas, fecha de postura e inicio

del ayuno de invierno, duración de los viajes de forrajeo durante la incubación y crianza de los polluelos, peso de los polluelos hasta su independencia y la disponibilidad de alimento (Weimerskirch, Stahl y Jouventin, 1992; Ancel *et al.*, 2013). Además, las colonias pequeñas tienden a producir un menor número de polluelos (Weimerskirch *et al.*, 1992).

Por otro lado, es frecuente observar individuos que no se aparean anualmente, a pesar de ser aptos fisiológicamente, lo que se ha asociado a los costos energéticos que implica la reproducción (Le Bohec *et al.*, 2007). De esta forma, es común que especies longevas que se encuentran en ambientes altamente variables, prioricen la reproducción durante años más favorables para aumentar sus probabilidades de sobrevivencia (Delord *et al.*, 2004; Le Bohec *et al.*, 2007). Así, se presume que el pingüino rey presenta una gran variabilidad interanual en su sobrevivencia y éxito reproductivo debido a los cambios en las condiciones ambientales sub Antárticas (Weimerskirch *et al.*, 1992; Dee Boersma, 2008; Le Bohec *et al.*, 2008; Cherel *et al.*, 2018).

Entre los depredadores a los que se ha visto enfrentado el pingüino rey, las especies introducidas aparecen como una de las principales amenazas en la Isla Grande de Tierra del Fuego (Schiavini *et al.*, 1999). Dentro de ellas destaca el visón (*Neovison vison*) y el zorro chilla (*Lycalopex griseus*) (Valenzuela *et al.*, 2013). Esta última, es una especie nativa de Chile continental pero que se introdujo en la isla, con el fin de controlar una plaga de conejos europeos en 1950 (Jaksić *et al.*, 2002; Muñoz-Pedrerros *et al.*, 2018). Este cánido es omnívoro generalista y se alimenta normalmente de pequeños mamíferos (Jaksić *et al.*, 2002; Muñoz-Pedrerros *et al.*, 2018). Sin embargo, en los últimos años han sido registrados depredando crías de pingüinos en la Reserva Natural Pingüino Rey, por lo que el 2020 se optó por realizar un manejo no letal basado en la atracción de zorros con carnadas, con el fin de mantenerlos alejados de los pingüinos, y disminuir la mortalidad de polluelos en la colonia.

La Reserva Natural Pingüino Rey ha sufrido distintos cambios a través de los años, desde el manejo con los zorros, la adaptación de los individuos de la colonia a las condiciones de Bahía Inútil, hasta las restricciones sanitarias implementadas el 2020 que impidieron el ingreso de turistas a raíz de la pandemia producida por el virus SARS-CoV-2. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es analizar los parámetros poblacionales de los últimos años, de la única colonia de pingüino rey existente en Chile, a través de, describir estadígrafos poblacionales entre 2015 y 2021, evaluar la viabilidad interanual

de polluelos y analizar la influencia de algunas variables ambientales sobre la población de pingüinos de la colonia.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El lugar de estudio se ubicó en la Reserva Natural Pingüino Rey, localizada en Bahía Inútil, Tierra del Fuego, Chile (Latitud: 53°46'05" S y Longitud 69°30'70" O), donde se encuentra la única colonia de pingüinos rey en Chile.

Para llegar a la reserva por tierra, se debe tomar un transbordador en Punta Arenas con dirección a Porvenir, localidad que se encuentra en la Isla Grande de Tierra del Fuego. La última parte del recorrido se debe realizar desde Porvenir hacia el sur por, aproximadamente 100 kilómetros de camino de tierra.

Método de obtención de datos

Todos los datos se obtuvieron a partir de observaciones de la colonia, sin establecer contacto directo con los individuos ni realizar marcaje, debido a que esto disminuye sus probabilidades de éxito reproductivo, lo cual puede alterar los resultados del estudio (Le Bohec *et al.*, 2007). Además, se tomaron en consideración las condiciones sanitarias pertinentes debido al virus SARS-CoV-2. Por lo tanto, el movimiento desde y hacia la reserva estuvo limitado, así que el personal a cargo de la obtención de datos fue designado previamente.

Se realizó un registro de distribución de frecuencias de los pingüinos cuyos individuos se agruparon en categorías para facilitar su diferenciación y conteo. Se utilizaron registros de pingüinos desde el 2015 y a partir del 2019, se comenzó a aplicar un protocolo fijo de observaciones diarias entre 9:00 am y 12:00 pm, las cuales se repitieron durante una semana completa, en que se registró día, mes y año. Desde abril a octubre los conteos se realizaron una semana completa al mes, y en el periodo entre noviembre y marzo se hicieron cada dos semanas, y esto fue realizado hasta diciembre del 2021.

Las personas designadas para recopilar esta información fueron previamente capacitadas para identificar con certeza a los distintos grupos de pingüinos. No se produjo cambio de personal mientras duró el estudio, para disminuir el sesgo de observador (Gallina y López, 2011).

Las categorías en que se agruparon los individuos de la colonia son las siguientes:

- a. Adultos reproductores: al no haber confirmación visual de uno o más reproductores, se asume que un pollo o huevo equivale a un reproductor o a una pareja reproductiva.
- b. Sub-adultos: adultos no reproductores, con parches auriculares amarillos o blancos
- c. Polluelos: polluelos totales, estén o no mudando.
- d. Huevos: número de huevos. Se asume que un adulto incubando equivale a un huevo.
- e. Adultos en muda: no se incluyen en la cuenta total de adultos reproductores o no reproductores.
- f. Polluelos en muda: polluelos que están mudando. Se incluyen en categoría polluelos.
- g. Polluelos independizados: polluelos con muda completa o que ya no se ven en la colonia. No se incluyen en categoría polluelos.

Tendencia poblacional

En base a las tablas de distribución de frecuencias de los individuos para cada categoría, se determinaron los siguientes estadígrafos poblacionales:

1. $lx = \frac{Nx}{N0}$
2. $dx = N_{x-1} - Nx$
3. $qx = \frac{dx}{N_{x-1}}$
4. $mx = \frac{Crías_x}{Madres_x}$
5. $R0 = \sum lx * mx$

Donde:

lx : sobrevivencia.

Nx : número de individuos de una edad x .

$N0$: número de individuos de la cohorte inicial.

dx : mortalidad

N_{x-1} : número de individuos del año anterior.

qx : tasa de mortalidad específica.

mx : tasa bruta de natalidad.

$R0$: tasa neta de natalidad.

Debido a que los pingüinos no cuentan con marcaje, se comparó anualmente la sobrevivencia de los adultos reproductores asumiendo su retorno cada año a la colonia, ya que presentan un 94% de fidelidad al sitio de reproducción. En el caso de la mortalidad se comparó anualmente entre polluelos, ya que a pesar de que se sugiere una tasa anual de retorno de 90% de los polluelos independizados, también presentan una mayor tasa de emigración, por lo tanto resulta difícil distinguirlos entre el grupo de juveniles sin un marcaje previo (Saraux *et al.*, 2011).

Esta información permitió realizar un análisis descriptivo retrospectivo de la colonia para cada año, ya que se cuenta con una base de datos desde el 2015. Además se

compararon los resultados obtenidos a partir de los distintos eventos ocurridos en la colonia desde ese año.

La sobrevivencia anual se graficó en base a los valores máximos de adultos reproductores registrados desde el inicio de la temporada reproductiva para cada año. Para el cálculo de la cantidad de hembras, se utilizó la mitad del máximo número de adultos reproductores observados y el número de crías fue calculado durante el periodo de eclosión que corresponde a los meses desde enero hasta abril.

Para graficar la mortalidad se omitieron los valores 0 en que no hubo registro de polluelos muertos en la colonia. Mientras que la tasa de mortalidad específica consideró la fracción de individuos vivos al comienzo del mes y que murieron durante su transcurso.

Finalmente, con los datos recopilados, se realizó una prueba de tendencia de Mann-Kendall para determinar si existía una tendencia en el tiempo respecto a los datos obtenidos de los polluelos. Esto se realizó a partir de la proporción de polluelos independizados, el número de polluelos totales independizados y el número total de polluelos nacidos.

Viabilidad de polluelos

La medida que se usó para determinar viabilidad se basó en la proporción de polluelos que lograron una independencia exitosa. Se consideraron los datos recopilados a partir del 2015, ya que durante este año se observó el primer polluelo de la colonia que se fue al mar con plumaje juvenil.

Se utilizó la información respectiva a polluelos recién nacidos, y se tuvo en cuenta la fecha en que se calculó la eclosión de huevos y también los datos respectivos a polluelos categorizados como independizados. Debido a que es una colonia silvestre, existen variaciones interanuales, por lo que se evaluó la temporada del año en que nacieron los polluelos como el factor que puede afectar la viabilidad (Moss, Watson y Rothery, 1984). Esta información se agrupó en dos subcategorías:

- A. nacidos entre enero y febrero
- B. nacidos entre marzo y abril

De acuerdo con el tiempo promedio de crianza de un polluelo, se asumió que los individuos que se independizaron entre noviembre y diciembre provienen del periodo de eclosión A, mientras que en el periodo de eclosión B se encuentran los que se fueron entre enero y febrero (Jouventin y Dobson, 2018).

Dado que el tamaño muestral es pequeño, se aplicó una prueba de Fisher, que permitió evaluar la independencia entre la temporada de nacimiento de los polluelos y el número de polluelos que finalmente se independizaban y lograban llegar al mar anualmente (Gowaty *et al.*, 2007).

Efectos ambientales

A 44 km de la Reserva Pingüino Rey se encuentra Estancia Zenia, que cuenta con una estación meteorológica dirigida por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y posee registros automáticos diarios de temperatura del aire (grados Celsius) y velocidad del viento (km/h) desde el año 2018. Estas variables se han descrito como importantes para el éxito reproductivo y tasa de crecimiento de polluelos, además de presentar un efecto sobre la conducta de los pingüinos, que tiene efecto sobre su mortalidad (Otley *et al.*, 2007). Se consideró que, a pesar de que la Reserva Pingüino Rey también cuenta con la estación meteorológica Oregon Scientific, (modelo WMR 300), en que se registran las mismas variables desde el 2019, era pertinente utilizar los datos obtenidos por Estancia Zenia, debido a su automatización y que cuenta con una mayor cantidad de registros. Sin embargo, se realizó un análisis de correlación entre ambas estaciones para disminuir la incertidumbre que pudiesen generar las posibles diferencias geográficas de la zona y justificar la elección de los datos obtenidos por el INIA.

Debido a que los datos obtenidos sobre esta colonia mostraron distribución tipo Poisson, se determinó utilizar una prueba no paramétrica para el análisis de la influencia de las variables ambientales sobre la colonia. Se calculó un coeficiente de correlación de Spearman para detectar correlaciones entre la velocidad del viento, la temperatura media, temperatura mínima y máxima mensual con la mortalidad absoluta y específica de los polluelos, en que se probó un nivel de significancia de 0,05 (Amorim *et al.*, 2012). A su vez, esto fue realizado con los datos meteorológicos registrados el mes anterior a la ocurrencia de mortalidad.

RESULTADOS

Adultos reproductores

Durante los siete años de estudio, se observaron variaciones en la sobrevivencia y en la tasa bruta de natalidad. Desde el 2015 hasta el 2019 la sobrevivencia fue mayor o igual a 1 y, en 2020 disminuyó a 0,3. Mientras que en el 2021 aumentó respecto al año interior y alcanzó 0,5 (Fig. 1).

La tasa bruta de natalidad muestra un incremento anual desde el 2015, sin embargo, durante el 2018 y 2019 el número de crías disminuyó. El 2020 y el 2021 se presentó un aumento de 1,3 crías por madre (Fig. 2). A partir de los valores calculados de sobrevivencia y tasa bruta de natalidad se obtuvo la tasa neta de natalidad ($R_0 = 3,35875734$). Ésta, se puede interpretar como que las hembras de la colonia serían reemplazadas por 3,4 hembras a lo largo de toda su vida generacional.

Figura 1. **Sobrevivencia anual de adultos reproductores entre 2015 y 2021.** Además, para los años 2017, 2018 y 2019 se calculó $l_x > 1$.

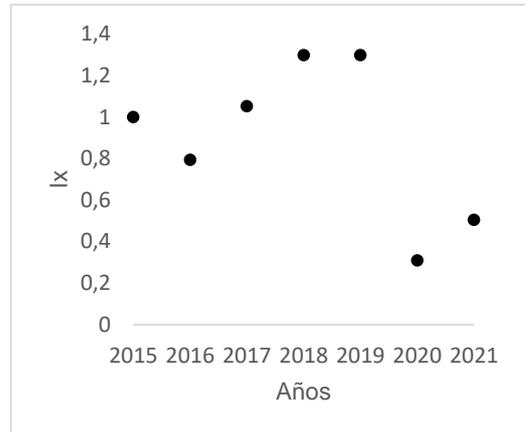
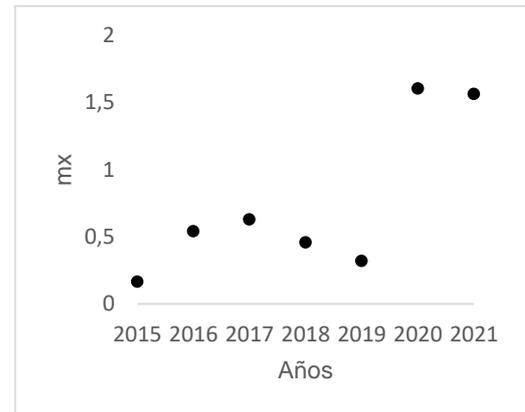


Figura 2. **Tasa bruta de natalidad entre 2015 y 2021.** Se observó un aumento en la tasa de natalidad en relación a los años anteriores durante 2020 y 2021 ($m_x > 1$).



Polluelos

Se evidenció mortalidad de los polluelos durante todo el año. Sin embargo, se concentró entre julio y septiembre, que corresponde al invierno austral. En promedio, la mitad de las muertes de polluelos registradas en cada año, ocurrieron durante ese periodo (Fig. 3). No hubo mortalidad durante enero. En febrero del año 2019 solo se observó la muerte de un polluelo.

Un 56,2% de los individuos que nacieron el 2017, murieron durante agosto y septiembre, mientras que el 2019, 41,6% de los polluelos nacidos murió durante agosto (Fig. 3); lo cual, según la tasa de mortalidad específica, corresponde al 76,9% de los individuos que estaban vivos en julio (Fig. 4).

Figura 3. **Mortalidad anual de polluelos entre 2015 y 2021.** Se registró mayor mortalidad en los meses de agosto y septiembre.

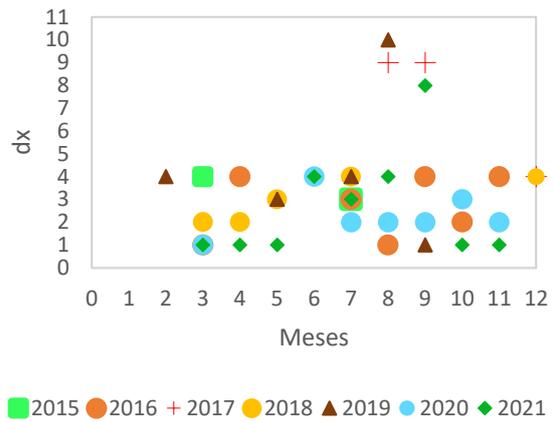
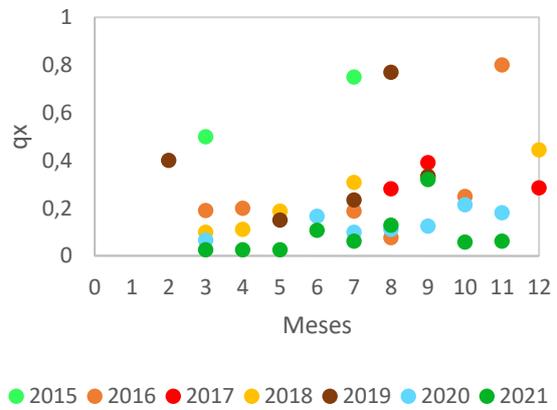


Figura 4. **Tasa de mortalidad específica de polluelos entre 2015 y 2021.** Alta tasa durante agosto del 2019 (76,9%).



La prueba de tendencia de Mann-Kendall determinó que no hay una tendencia temporal significativa en ninguna de las variables analizadas ($p > 0,05$). Es decir, que la fluctuación anual en la proporción de polluelos independizados (Fig. 5), el número de polluelos independizados anualmente (Fig. 6) y el número total de polluelos nacidos (Fig. 7) no presenta una tendencia a través de los años de estudio.

Figura 5. **Proporción de polluelos independizados anualmente entre 2015 y 2021.**

Valor de T indica el aumento simultáneo de las variables de estudio. $P > 0,05$ indica que no hay una tendencia significativa en las variables de estudio. En azul se representa la media móvil entre 3 años.

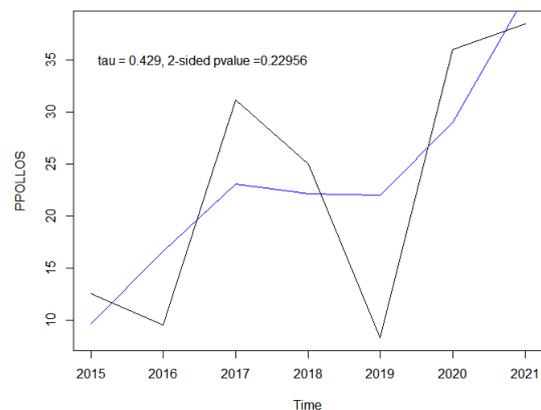


Figura 6. **Número de polluelos independizados anualmente entre 2015 y 2021.** El valor de T indica el aumento simultáneo de las variables de estudio. $P > 0,05$ indica que no hay una tendencia significativa en las variables de estudio. En azul se representa la media móvil entre 3 años.

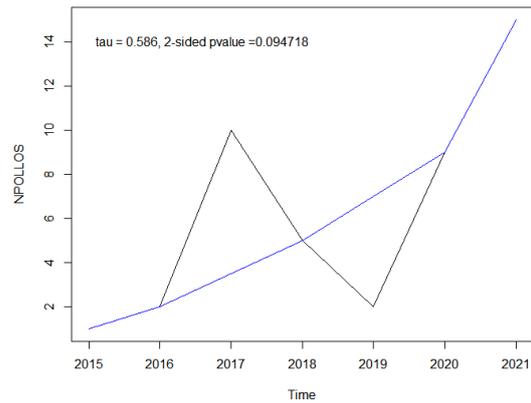
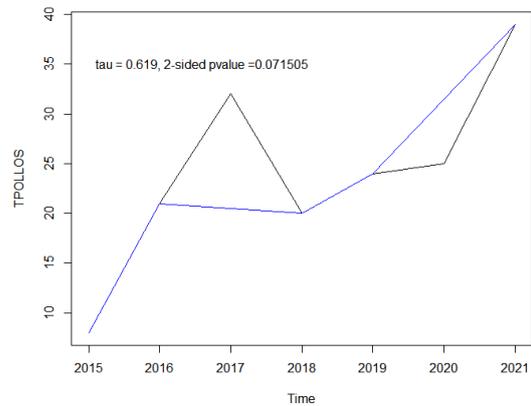


Figura 7. **Número total de polluelos observados anualmente entre 2015 y 2021 según el registro de eclosión.** El valor de T indica el aumento simultáneo de las variables de estudio. $P > 0,05$ indica que no hay una tendencia significativa en las variables de estudio. En azul se representa la media móvil entre 3 años.



Viabilidad

Hubo un registro total de 168 polluelos en la colonia desde el año 2015, cuyo periodo de eclosión y distribución de frecuencia a través de los años fueron recopilados en la tabla 2. A lo largo de los años de estudio, no se registró la independencia de ningún polluelo, cuya eclosión estuviera comprendida entre marzo y abril. Desde el 2015 al 2021 se observó un aumento paulatino en el número de polluelos independizados, sin embargo, el 2017 hubo 5 veces más polluelos independizados que el 2016, mientras que el 2019 esto disminuyó 2,5 veces respecto al 2018 (Tabla 1).

En función del registro de frecuencias y la tabla de contingencia para la realización de la prueba de Fisher (Tabla 2), se determinó que hubo una asociación significativa entre el periodo de eclosión y la independencia de polluelos ($RP = \infty$, $P < 0,05$).

Tabla 1. **Registro de independencia de polluelos según año y periodo de nacimiento.** A= eclosión entre enero y febrero, B= eclosión entre marzo y abril, I= independizado, NI= no independizado.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
A-I	1	2	10	5	2	9	15
A-NI	0	19	3	2	12	6	3
B-I	0	0	0	0	0	0	0
B-NI	7	0	19	13	10	9	21

Tabla 2. **Tabla de contingencia.**

Periodo calculado de eclosión por independencia de polluelos.

	Independizados	No independizados	Total
A	44	45	89
B	0	79	79
Total	44	124	168

Efectos ambientales

Se determinó la existencia de una correlación positiva y significativa entre todos los datos adquiridos por ambas estaciones meteorológicas ($P < 0,05$), lo cual se puede observar en la Fig. 8. Al obtener el coeficiente de correlación de Spearman para cada variable de estudio se obtuvo una asociación directa significativa, con coeficientes de correlación $r > 0,8$ y $r > 0,5$ para temperatura y velocidad del viento, respectivamente (Fig. 9).

Figura 8. **Análisis de correlación de Spearman entre estación meteorológica INIA y Reserva Pingüino Rey para periodo entre 2018 y 2021.**

*** indica $P < 0,001$.

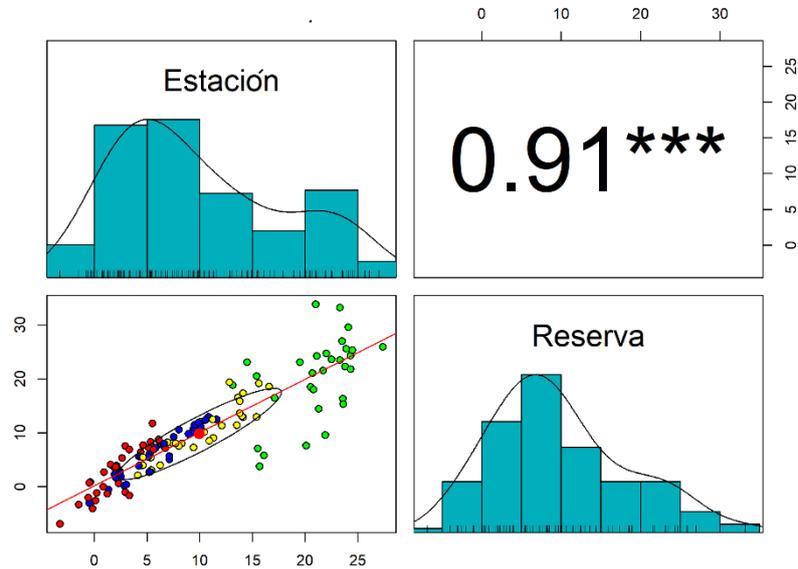
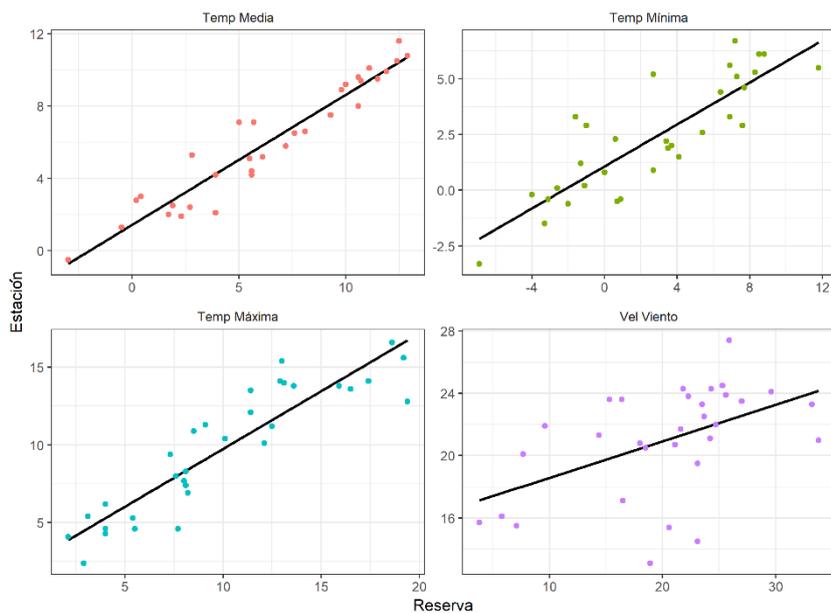


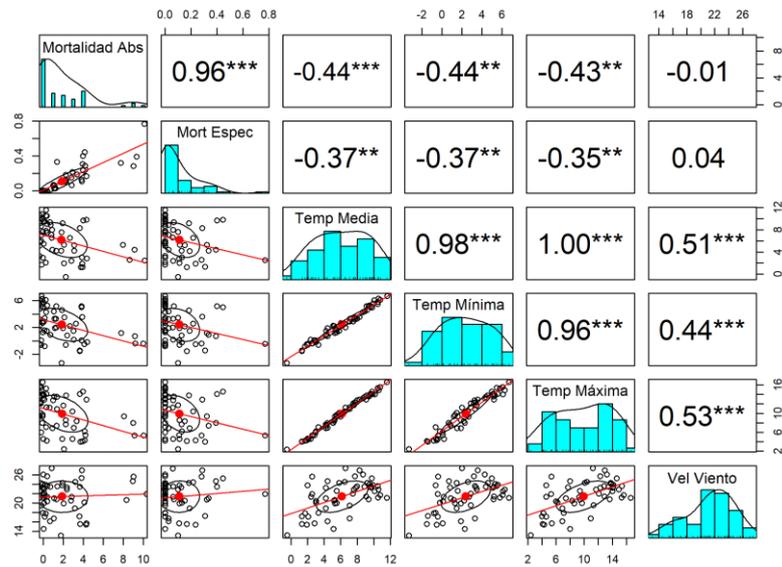
Figura 9. **Análisis de correlación de Spearman entre estación meteorológica INIA y Reserva Pingüino Rey según variable estudiada para periodo entre 2018 y 2021.**

$r_{T1/2} = 0,94$; $r_{Tmin} = 0,82$;
 $r_{Tmax} = 0,92$;
 $r_{Vviento} = 0,54$.



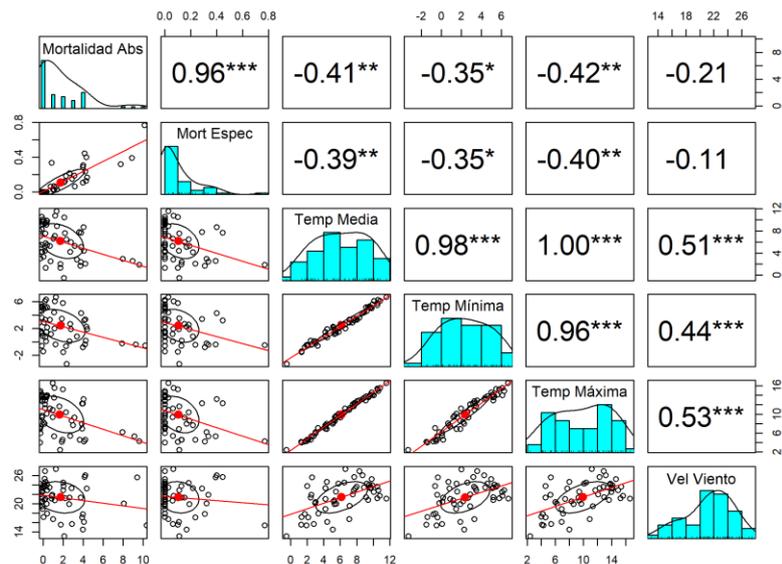
El análisis de correlación entre las variables respuesta (dx y qx), indicó una asociación directa y significativa ($P < 0,05$). Las variables ambientales temperatura media, mínima y máxima mensual mostraron una asociación significativa y negativa con la mortalidad y mortalidad específica ($P < 0,05$), mientras que con la velocidad del viento no se observó significancia ($P > 0,05$). (Fig. 10).

Figura 10. **Matriz de correlación** entre mortalidad (dx), mortalidad específica (qx) y variables ambientales (T° y V viento) para periodo entre 2018 y 2021. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.



Respecto a la correlación observada de los datos meteorológicos con la mortalidad y mortalidad específica del mes siguiente, se observa en la Fig. 11 que hubo una asociación negativa y significativa con las tres variables correspondientes a temperatura ($P < 0,05$), mientras que la velocidad del viento no mostró significancia ($P > 0,05$).

Figura 11. **Matriz de correlación** entre mortalidad (dx), mortalidad específica (qx) y variables ambientales registradas durante el mes anterior (T° y V viento) a la ocurrencia de mortalidad, para periodo entre 2018 y 2021. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.



DISCUSIÓN

Sobrevivencia y tasa de natalidad

El objetivo de este estudio fue analizar los parámetros poblacionales de la colonia de pingüino rey en Bahía Inútil, Tierra del Fuego, Chile.

La sobrevivencia mayor a uno en individuos adultos (Fig.1) puede estar dada por la migración de individuos desde otras colonias (Clucas *et al.*, 2018). Sin embargo, no se cuenta con información actualizada al respecto que permita vincular a estos individuos con zonas reproductivas o movimientos migratorios específicos (Kusch y Marín, 2012).

La disminución en la sobrevivencia entre 2019 y 2020 (Fig. 1) puede ser efecto de la migración hacia otras zonas reproductivas o por un aumento en la mortalidad durante el periodo en que los pingüinos se encuentran en el mar (Weimerskirch *et al.*, 1992). Esta especie presenta una alta capacidad de dispersión (Clucas *et al.*, 2018), la que tiene efecto sobre su estructura poblacional (Cristofari *et al.*, 2018). Sin embargo, esto se opone a lo planteado por Weimerskirch y colaboradores, (1992), que sugieren que la migración de adultos reproductores es poco probable debido a su alta tasa de fidelidad con el sitio de reproducción (Saraux *et al.*, 2011).

La experiencia de los reproductores es fundamental para la sobrevivencia en esta especie, sobre todo en los primeros años de formación de la colonia, en que se encuentran expuestos a altas tasas de depredación (Saraux *et al.*, 2011). Por lo que, el aumento en la tasa bruta de natalidad a partir del 2020 (Fig. 2) podría indicar que los adultos adquirieron más experiencia, y se tradujo en un aumento del éxito reproductivo y sobrevivencia (Olsson, 1996; Nicolaus *et al.*, 2007).

A su vez, la capacidad de congregación que posee esta especie reduce la presión de depredación sobre sus individuos y genera efectos importantes sobre el tamaño poblacional y éxito reproductivo (Descamps *et al.*, 2005). Por lo tanto, un aumento en la tasa bruta de natalidad (Fig. 2) puede deberse a la adaptación de los individuos a las condiciones de la colonia. Sin embargo, las causas detrás de la fluctuación en los parámetros poblacionales son complejas de determinar con los datos obtenidos con este estudio.

Mortalidad de polluelos

La concentración de la mortalidad de polluelos durante los meses de invierno (Fig. 3 y 4) coincide con lo mencionado por Jouventin y Dobson, (2018), en que este

periodo ha mostrado ser crítico, debido al ayuno prolongado, a la exposición a climas extremos y a las amenazas de depredación. Sin embargo, no puede descartarse la ocurrencia de otros eventos.

Por ejemplo, no se sabe con exactitud los efectos que las guarderías puedan tener sobre la transmisión de enfermedades infecciosas y parasitarias, a pesar de las ventajas adaptativas en la protección de individuos (Le Bohec, Gauthier-Clerc y Le Maho, 2005). Además, la presencia de polluelos más vulnerables, ya sea por enfermedad o por pérdida de condición corporal, puede generar un aumento en los ataques de depredadores (Le Bohec *et al.*, 2005; Martín *et al.*, 2006).

En un estudio reciente, Pütz y colaboradores, (2021), mencionan la plasticidad en el forrajeo que ha mostrado esta colonia en particular, que le ha permitido variar su dieta, y disminuir la duración y extensión de sus viajes, lo que a su vez ha permitido que los polluelos cuenten con una mayor frecuencia de alimentación. Asimismo destacan los hallazgos en necropsias, que indicarían una mayor mortalidad debido a enfermedades infecciosas y ataques de depredadores, que producto de inanición. Por lo tanto, las causas de mortalidad en específico son difíciles de determinar.

Otro punto a considerar, es que el registro de mortalidad de polluelos durante el periodo de eclosión puede haber sido inexacto, ya que la falta de identificación individual y la gran cantidad de individuos presentes en la colonia dificulta la precisión de este. Al respecto, Foley y colaboradores, (2018), indican que las metodologías de estudio son una de las razones de falla en la estimación de los parámetros poblacionales del pingüino rey, dado que para una mejor comprensión de los factores demográficos se requiere marcaje y captura, lo cual no se realizó en este estudio (Le Bohec *et al.*, 2007). Por esta razón, es posible que la mortalidad de polluelos se haya subestimado durante los primeros meses del año (Fig. 3).

Viabilidad de polluelos

Aquellos polluelos nacidos entre enero y febrero mostraron una mayor probabilidad de independizarse al término del ciclo reproductivo (Tabla 1). Las fluctuaciones estacionales sobre la disponibilidad del alimento podrían estar asociadas a esto, ya que dificultan la provisión de alimento para las crías y con ello el abastecimiento de reservas energéticas para enfrentar el ayuno de invierno (Olsson, 2006). A su vez, un desarrollo tardío y más cercano al invierno, influye sobre el tamaño de las crías, exponiéndolas a la depredación (Descamps *et al.*, 2005). Sin embargo, esto se opone a la plasticidad en el forrajeo que han mostrado los individuos de esta colonia

en particular, que realizan viajes más cortos y por ende se ha observado que alimentan con mayor frecuencia a sus polluelos (Pütz *et al.*, 2021).

Por otro lado, se observó un aumento en el número de polluelos independizados a partir de la implementación del manejo no letal del zorro chilla en 2020 (Tabla 1). Aunque se desconoce la extensión del impacto de esta especie sobre las poblaciones de pingüinos, Van Dooren, (2011), plantea que el ataque de zorros ha contribuido a la extinción de algunos mamíferos, por lo que no se pueden descartar sus efectos negativos sobre poblaciones de otras especies, incluyendo a las aves marinas.

Sumado a esto, la prohibición de entrada de turistas a la reserva, por las restricciones sanitarias impuestas por el virus SARS-CoV-2 pudo influir en la independencia de los polluelos. A pesar de que se ha visto habituación de los pingüinos al turismo controlado, se indica que la acumulación de eventos perturbadores en el tiempo puede tener consecuencias importantes sobre el éxito reproductivo e incluso generar mortalidad de los pingüinos (Dee Boersma, 2008; Ellenberg, 2017).

A su vez, cabe señalar que el aumento en el número de polluelos independizados al final de cada temporada reproductiva no mostró una tendencia significativa en los años de estudio, lo cual puede ser producto de la limitada cantidad de datos, o que no haya existido una tendencia entre los años 2015 al 2021 (Fig. 5, 6 y 7).

Por último, es relevante señalar que a pesar de que las actividades antrópicas han mostrado ser altamente perjudiciales para las poblaciones silvestres de pingüinos, existe evidencia de que sitios protegidos como las reservas han permitido la estabilización e incluso incremento de algunas poblaciones de pingüinos (Paredes *et al.*, 2003). Al respecto, cobra relevancia balancear los costos y beneficios que representa para el éxito reproductivo de la colonia, realizar algún tipo de intervención en la reserva.

Efectos ambientales

A modo general, al analizar los datos registrados entre estaciones meteorológicas, se obtuvo una correlación alta y significativa que indica que existe una baja probabilidad de que la relación entre ambas se deba al azar. En particular, las variables asociadas a temperatura mostraron una correlación alta, mientras que la velocidad del viento mostró correlacionarse de manera moderada. A partir de los resultados, se consideró pertinente utilizar los registros extraídos desde Estancia Zenia para realizar el análisis de correlación de Spearman, para el estudio de la influencia de las variables ambientales sobre la mortalidad de los polluelos (Fig. 8 y 9).

Los resultados mostraron que una disminución en la temperatura media, mínima y máxima mensual, estaría asociada a un aumento en la mortalidad absoluta y específica de los polluelos, mientras que estas no se verían afectadas por la velocidad del viento (Fig. 10 y 11). La correlación con las variables asociadas a temperatura mostró ser alta, significativa y consistente, lo cual coincide parcialmente con lo mencionado por Otley y colaboradores, (2007), que plantean que las condiciones climáticas como la temperatura se relacionan con el éxito reproductivo y la tasa de crecimiento de los polluelos en distintas especies de aves marinas. Sin embargo, también se menciona al viento como un factor determinante en el éxito reproductivo de las colonias, el cual no mostró una asociación significativa a partir de los datos obtenidos por Estancia Zenia (Weimerskirch *et al.*, 1992; Otley *et al.*, 2007). En este caso, cobra relevancia que la reserva cuente con una base de datos consistente, ya que es posible que en esta variable en particular, se pudiesen obtener resultados diferentes según la ubicación de la estación meteorológica.

La variabilidad climática ha mostrado ser crucial en el éxito reproductivo y sobrevivencia de polluelos. Sin embargo, las tendencias poblacionales que se generan a partir de distintos escenarios climáticos implican distintas compensaciones complejas de explicar (Saraux *et al.*, 2011), que a su vez, interactúan con distintos factores que afectan simultáneamente a la colonia y la mortalidad de sus polluelos, como la exposición a la depredación, enfermedades infecciosas y actividades antrópicas. Es por esto, que la relevancia de este tipo de estudios, radica en continuar a largo plazo con el seguimiento y registro de información de la colonia para contar con mayor precisión en la detección de respuestas a los distintos cambios ambientales (Mason *et al.*, 2019).

Limitaciones y recomendaciones

Las temporadas reproductivas extensas y asincrónicas son limitantes para los estudios completamente observacionales. Una fracción de la población del pingüino rey siempre se encontrará en el mar, por lo tanto, no se puede asumir que todos los individuos están presentes al momento de las observaciones. Asimismo, la formación de guarderías entorpece el conteo de los polluelos durante el invierno (Rounsevell y Copson, 1982; Foley *et al.*, 2018).

Por otra parte, los cambios en los protocolos de conteo, la variación en el personal a cargo de estos y la ubicación remota de la reserva ha dificultado la periodicidad y exactitud de los registros. Por ello, se recomienda considerar el marcaje para el seguimiento de los pingüinos, sobre todo en la temporada en que se encuentran en el mar. Además, esto permitirá disminuir errores en el conteo durante los periodos

con baja visibilidad de la colonia. En este caso, las limitaciones de marcaje estuvieron dadas por dificultades en el financiamiento, escasez de personal y restricciones sanitarias impuestas por el virus SARS-CoV-2. Asimismo, se tomó en consideración las consecuencias negativas que tiene el marcaje sobre el éxito reproductivo de esta colonia en particular, que cuenta con una baja cantidad de individuos (Le Bohec *et al.*, 2007; (Beaulieu *et al.*, 2010).

Dado el efecto negativo que pueden tener las especies invasoras como el zorro chilla o el visón sobre esta población en particular, sería recomendable que a futuro se realicen más estudios que logren cuantificar el impacto que generan estas especies sobre el pingüino rey en Bahía Inútil (Van Dooren, 2011), para implementar manejos más eficientes que contribuyan a la disminución de la mortalidad en los polluelos.

La continuación del levantamiento de información realizado en este estudio, permitirá tener una mayor comprensión de las características poblaciones de esta colonia y contribuir a la gestión de la Reserva Natural Pingüino Rey. Es relevante continuar con el protocolo de registro de datos dentro de la reserva, ya que a pesar de que los datos obtenidos por la estación meteorológica de INIA mostraron una correlación significativa con los datos de la reserva, no se puede asumir que no se vayan a producir variaciones en el tiempo debido a las características geográficas de la zona. Cabe destacar que, la realización de estudios con el fin de estimar los efectos de las intervenciones naturales y antrópicas sobre los individuos de la colonia y sus parámetros poblacionales, puede facilitar la labor de conservación que tiene la reserva.

CONCLUSIÓN

Las particularidades geográficas y conductuales que presenta esta colonia cobran relevancia frente al escenario actual de cambio climático en que se debe seguir estudiando de qué manera especies como el pingüino rey son capaces de adaptarse a distintas condiciones para mantener poblaciones viables y en crecimiento. Este estudio permitió evaluar las características particulares que ha mostrado esta colonia desde su establecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Ancel, A., Beaulieu, M., & Gilbert, C. (2013). The different breeding strategies of penguins: A review. *Comptes Rendus - Biologies*, 336(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2013.02.002>
- Amorim, F., Rebelo, H., & Rodrigues, L. (2012). Factor influencing bat activity and mortality at a wind farm in the mediterranean region. *Acta Chiropterologica*, 14(2),

439–457. <http://dx.doi.org/10.3161/150811012X661756>

- Bahamondes, N. S. (2004). Las Aves En La Cultura Selk ' Nam : Estudio Del Registro Arqueofaunístico De Cuatro Sitios De Bahía Inútil (Tierra Del Fuego). *Magallania*, 32, 163–189.
- Beaulieu, M., Thierry, A. M., Handrich, Y., Massemin, S., Le Maho, Y., & Ancel, A. (2010). Adverse effect of instrumentation in incubating Adélie penguin (*Pygoscelis adeliae*). *Polar Biology*, 33(4), 485–492. <http://dx.doi.org/10.1007/s00300-009-0725-z>
- BirdLife International. (2020). *Aptenodytes patagonicus*, King Penguin. *The IUCN Red List of Threatened Species 2020*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22697748A184637776.en>
- Charrassin, J. B., & Bost, C. A. (2001). Utilisation of the oceanic habitat by king penguins over the annual cycle. *Marine Ecology Progress Series*, 221(June 2014), 285–297. <https://doi.org/10.3354/meps221285>
- Cherel, Y., Parenteau, C., Bustamante, P., & Bost, C. (2018). Stable isotopes document the winter foraging ecology of king penguins and highlight connectivity between subantarctic and Antarctic ecosystems. *Ecology and Evolution*, 8(5), 2752–2765. <https://doi.org/10.1002/ece3.3883>
- Cristofari, R., Liu, X., Bonadonna, F., Cherel, Y., Pistorius, P., Le Maho, Y., Raybaud, V., Stenseth, N. C., Le Bohec, C., & Trucchi, E. (2018). Climate-driven range shifts of the king penguin in a fragmented ecosystem. *Nature Climate Change*, 8(3), 245–251. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0084-2>
- Clucas, G., Younger, J., Kao, D., Emmerson, L., Southwell, C., Wienecke, B., (...), & Hart, T. (2018). Comparative population genomics reveals key barriers to dispersal in Southern Ocean penguins. *Molecular Ecology*, 27(23). <http://dx.doi.org/10.1111/mec.14896>
- Dee Boersma, P. (2008). Penguins as marine sentinels. *BioScience*, 58(7), 597–607. <https://doi.org/10.1641/B580707>
- Delord, K., Barbraud, C., & Weimerskirch, H. (2004). Long-term trends in the population size of king penguins at Crozet archipelago: Environmental variability and density dependence? *Polar Biology*, 27(12), 793–800. <https://doi.org/10.1007/s00300-004-0651-z>
- Descamps, S., Gauthier-Clerc, M., Le Bohec, C., Gendner, J.P., Le Maho, Y. (2005).

- Impact of predation on king penguin *Aptenodytes patagonicus* in Crozet Archipelago. *Polar Biology*, 28, 303–310. <http://dx.doi.org/10.1007/s00300-004-0684-3>
- Ellenberg, U. (2017). Impacts of Penguin Tourism. In *Ecotourism's Promise and Peril* (pp. 117–132). https://doi.org/10.1007/978-3-319-58331-0_6
- Foley, C. M., Hart, T., & Lynch, H. J. (2018). King Penguin populations increase on South Georgia but explanations remain elusive. *Polar Biology*, 41(6), 1111–1122. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2271-z>
- Gallina, S., & López, C. (Eds). (2011). Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Santiago de Querétaro, INECOL: Instituto de Ecología, A. C.
- Gowaty, P., Anderson, W., Bluhm, C., Drickamer, L., Kim, Y., & Moore, A. (2007). The hypothesis of reproductive compensation and its assumptions about mate preferences and offspring viability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(38), 15023–15027. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706622104>
- Jaksić, F., Iriarte, J., Jiménez, J., & Martínez, D. (2002). Invaders without frontiers: Cross-border invasions of exotic mammals. *Biological Invasions*, 4(1–2), 157–173. <https://doi.org/10.1023/A:1020576709964>
- Jouventin, P., & Dobson, F. S. (2018). The Evolutionary Biology of Penguins. In *Why Penguins Communicate*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811178-9.00001-9>
- Kusch, A., & Marín, M. (2012). Sobre la distribución del pingüino rey *Aptenodytes*. *Anales Instituto Patagonia*, 40(1), 157–163. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2012000100020>
- Le Bohec, C., Gauthier-Clerc, M., Grémillet, D., Pradel, R., Béchet, A., Gendner, J. P., & Le Maho, Y. (2007). Population dynamics in a long-lived seabird: I. Impact of breeding activity on survival and breeding probability in unbanded king penguins. *Journal of Animal Ecology*, 76(6), 1149–1160. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01268.x>
- Le Bohec, C., Gauthier-Clerc, M., Le Maho, Y. (2005). The adaptive significance of crèches in the King Penguin. *Animal Behaviour*, 70(3), 527–538. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anbehav.2004.11.012>
- Martín, J., De Neve, L., Polo, V., Fargallo, J. A., & Soler, M. (2006). Health-dependent vulnerability to predation affects escape responses of unguarded chinstrap penguin chicks. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 60(6), 778–784.

<https://doi.org/10.1007/s00265-006-0221-1>

- Mason, L., Green, R., Howard, C., Stephens, P., Willis, S., Aunins, A., (...), Gregory, R. (2019). Population responses of bird populations to climate change on two continents vary with species' ecological traits but not with direction of change in climate suitability. *Climatic Change*, 157(3-4), 337–354. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02549-9>
- Moss, R., Watson, A., & Rothery, P. (1984). Inherent changes in the body size, viability and behaviour of a fluctuating red grouse (*Lagopus lagopus scoticus*) population. *Journal of Animal Ecology*, 53, 171–189. <http://dx.doi.org/10.2307/4350>
- Muñoz-Pedrerros, A., Yáñez, J., Norambuena, H., & Zúñiga, A. (2018). Diet, dietary selectivity and density of South American grey fox, *Lycalopex griseus*, in Central Chile. *Integrative Zoology*, 13(1), 46–57. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12260>
- Nicolaus, M., Le Bohec, C., Nolan, P. M., Gauthier-Clerc, M., Le Maho, Y., Komdeur, J., & Jouventin, P. (2007). Ornamental colors reveal age in the king penguin. *Polar Biology*, 31(1), 53–61. <https://doi.org/10.1007/s00300-007-0332-9>
- Olsson, O. (1996). Seasonal Effects of Timing and Reproduction in the King Penguin: A Unique Breeding Cycle. *Journal of Avian Biology*, 27(1), 7. <https://doi.org/10.2307/3676955>
- Otley, H., Clausen, A., Christie, D., Huin, N., & Pütz, K. (2007). Breeding patterns of King Penguins on the Falkland Islands. *Emu*, 107(2), 156–164. <https://doi.org/10.1071/MU06027>
- Paredes, R., Zavalaga, C., Battistini, G., Majluf, P., & McGill, P. (2003). Status of the Humboldt Penguin in Peru, 1999-2000. *Waterbirds*, 26(2), 129–138. [http://dx.doi.org/10.1675/1524-4695\(2003\)026\[0129:SOTHPI\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1675/1524-4695(2003)026[0129:SOTHPI]2.0.CO;2)
- Pütz, K., Gherardi-Fuentes, C., García-Borboroglu, P., Godoy, C., Flagg, M., Pedrana, J., (...), Lüthi, B. (2021). Exceptional foraging plasticity in King Penguins (*Aptenodytes patagonicus*) from a recently established breeding site in Tierra del Fuego, Chile. *Global Ecology and Conservation*, 28(1), e01669. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01669>
- Reserva Natural Pingüino Rey. (2021). *Nuestra historia*. <https://www.pinguinorey.cl/descubre-nuestra-reserva/#conoce-icon>
- Rounsevell, D. E., & Copson, G. R. (1982). Growth Rate and Recovery of a King Penguin,

Aptenodytes patagonicus, Population after Exploitation. *Australian Wildlife Research*, 9(3), 519–525. <https://doi.org/10.1071/WR9820519>

Saraux, C., Viblanc, V., Hanuise, N., Le Maho, Y., & Le Bohec, C. (2011). Effects of individual pre-fledging traits and environmental conditions on return patterns in juvenile king penguins. *Public Library of Science One*, 6(6), e20407. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0020407>

Schiavini, A., Frere, E., Yorio, P., & Parera, A. (1999). Las aves marinas de la isla de los estados, Tierra del Fuego, Argentina: Revisión histórica, estado poblacional y problemas de conservación. *Anales Instituto Patagonia*, 27, 25–40.

Van Dooren, T. (2011). Invasive species in penguin worlds: An ethical taxonomy of killing for conservation. *Conservation and Society*, 9(4), 286–298. <https://doi.org/10.4103/0972-4923.92140>

Weimerskirch, H., Prudor, A., & Schull, Q. (2018). Flights of drones over sub-Antarctic seabirds show species- and status-specific behavioural and physiological responses. *Polar Biology*, 41(2), 259–266. <https://doi.org/10.1007/s00300-017-2187-z>

Weimerskirch, H., Stahl, J. C., & Jouventin, P. (1992). The breeding biology and population dynamics of King Penguins *Aptenodytes patagonica* on the Crozet Islands. *Ibis*, 134(2), 107–117. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1992.tb08387.x>

Worldclim. (2020). *Bioclimatic variables*. <https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>