

SIT Graduate Institute/SIT Study Abroad

SIT Digital Collections

Independent Study Project (ISP) Collection

SIT Study Abroad

Fall 2019

Cambios en el Cronograma de Temporadas Reproductivas de Pingüinos de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*): Relaciones entre Eventos Fenológicos y Variables Climáticas

Grace Neumiller
SIT Study Abroad

Follow this and additional works at: https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection



Part of the [Animal Studies Commons](#), [Bioinformatics Commons](#), [Climate Commons](#), [Environmental Indicators and Impact Assessment Commons](#), [Ornithology Commons](#), and the [Research Methods in Life Sciences Commons](#)

Recommended Citation

Neumiller, Grace, "Cambios en el Cronograma de Temporadas Reproductivas de Pingüinos de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*): Relaciones entre Eventos Fenológicos y Variables Climáticas" (2019). *Independent Study Project (ISP) Collection*. 3273.
https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/3273

This Unpublished Paper is brought to you for free and open access by the SIT Study Abroad at SIT Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Independent Study Project (ISP) Collection by an authorized administrator of SIT Digital Collections. For more information, please contact digitalcollections@sit.edu.



**Cambios en el Cronograma de Temporadas Reproductivas
de Pingüinos de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*):**

Relaciones entre Eventos Fenológicos y Variables Climáticas



El 3 de diciembre, 2019

**SIT Argentina: Gente, Ambiente, y Cambio Climático en Patagonia y Argentina
Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina**

El Resumen

Estudios a largo plazo han demostrado que hay fluctuaciones a lo largo de la fenología de la vida silvestre a causa de los cambios climáticos (Black, 2016). Los pingüinos de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) exhiben cambios en el cronograma de los eventos fenológicos de sus temporadas reproductivas a causa de variables oceanográficas y climáticas de su ambiente. A partir de fotos de cámaras trampa, este trabajo describe y analiza algunos eventos en la fenología de los pingüinos de Magallanes en Isla Martillo, Canal Beagle, Tierra del Fuego, Argentina: el inicio de la temporada reproductiva, el periodo de muda de pichones, y el periodo de muda de los adultos durante tres estaciones reproductivas consecutivas (2016-2017, 2017-2018, y 2018-2019). Después, relacionamos cambios en el cronograma de los eventos fenológicos con datos ambientales, como la cantidad de precipitación y nevadas durante cada estación reproductiva. En este trabajo, no se observa una tendencia clara entre las fechas del inicio de las estaciones reproductivas y la temperatura promedio del aire (°C) ni el nivel de precipitación (mm) durante el invierno antes de las estaciones reproductivas. Es llamativo que con menor precipitación total tenga el efecto opuesto en la duración del periodo de muda de los pichones y adultos durante la misma temporada; lo que podría suceder es que, en las temporadas con largos periodos de muda de los pichones, los adultos

estén compensando esto acortando su periodo de muda. Es probable que los pichones durante la temporada 2017-18 muden más tarde ya que durante el mes de diciembre, momento en el que usualmente comienzan a mudar, aún había nieve y las temperaturas promedio fueron muy bajas, y los pichones necesitados permanecer con el plumón más tiempo, permitiéndoles estar más abrigados. En este trabajo no hay un análisis estadístico para apoyar estas afirmaciones; así que, con una serie de tiempo de las estaciones reproductivas más larga, podría evaluar los datos estadísticamente para apoyar las tendencias observadas y permitir observar patrones, si los hubiera, más claramente. El trabajo de este proyecto es importante porque el análisis de fotos de cámaras trampa de los pingüinos de Magallanes no ha sido hecho en el pasado; además, es más complejo de utilizar en el pingüino de Magallanes y poder extraer información reproductiva de las imágenes, como la fecha de puesta de huevos o la fecha de eclosión de pichones, debido a que sus nidos están formados en la gran mayoría por cuevas profundas se ha demostrado, en este estudio, que se pueden estimar ciertos eventos fenológicos en especies de pingüinos que anidan en cuevas. Los pingüinos de Magallanes, como depredadores superiores y especies centinelas, son muy importantes para estudiar cuales son sus respuestas a eventos y cambios climáticos, traducidos como cambios en su fenología y comportamiento, y como pueden tener implicaciones y efectos en cascada para la salud de todo el ecosistema subantártico.

Los Reconocimientos

Me gustaría agradecer Dra. Gabriela Scioscia, mi consejera, por toda de su ayuda con diseñar el tema de mi proyecto, mostrarme como coleccionar datos y trabajar con los pingüinos de Magallanes en el campo en Isla Martillo, contestar mis preguntas sobre todo el proceso de hacer las investigaciones, y en general ser una consejera muy servicial, amigable, informada, y simpática. Ella puso mucho tiempo en ayudar mi compañera, Eni Awowale, y yo con nuestros proyectos de los pingüinos de Magallanes. Gracias a Eni también por ser mi pareja de las investigaciones del campo y por ofrecerme apoyo con mi proyecto, incluyendo permitirme de usar el mapa que creó de Isla Martillo en mi sección de métodos. Muchas gracias a la gente del laboratorio de Ecología y Conservación de la Vida Silvestre en el Centro Austral de Investigaciones Científicas del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CADIC-CONICET), y especialmente gracias Lic. Ulises Balza y Lic. Samanta Dodino por compartir su oficina conmigo para que pueda hacer mi análisis de las fotos de pingüinos en el CADIC. Gracias a Natalia Paso Viola por permitirme de usar su escritorio en el CADIC también. Me gustaría agradecer CADIC-CONICET por proveerme los datos de los variables ambientales, y en un plano más grande, el Servicio de Información Ambiental y Geográfica (SIAG) y el Ministerio de Ciencia y Tecnología e Innovación Productiva. Gracias a Maria Gowland, Natalia Paso Viola, y Lida Pimper por toda de su ayuda en buscar los temas de proyectos independientes y trabajar con investigadores para que los alumnos de SIT Study Abroad Argentina: Gente, Ambiente, y

el Cambio Climático en Patagonia y Antártida haya podido elegir proyectos que les interesaban mucha. Estoy muy agradecida por Maria Gowland en particular, por todo de su apoyo durante este proceso también. Gracias a mi familia anfitriona de Argentina por proveerme un espacio seguro para volver a todas las noches con cenas y tiempo pasado juntos ricos, y especialmente gracias a Natalia Prieto, mi mamá anfitriona, por todo de su apoyo, conversaciones buenas, y amor por todo de mi tiempo acá en Argentina. Más ampliamente, quería agradecer la organización de School for International Training por proveerme la oportunidad de hacer estas investigaciones únicas a la región de Tierra del Fuego y tener la experiencia de mi vida acá en Ushuaia.

La Introducción

La fenología estudia las etapas en los ciclos de vida de las plantas y los animales (Black, 2016). Estudiar la fenología nos permita entender las conexiones de las especies con factores bióticas y abióticas y sus relaciones entre las especies (Black, 2016). Lo que es más, los estudios fenológicos nos ayudan a entender como la vida silvestre responde a los cambios medioambientales locales y globales (Black, 2016). Estudios a largo plazo han demostrado que hay fluctuaciones a lo largo de la fenología de la vida silvestre a causa de los cambios climáticos (Black, 2016). Cambios en la fenología reproductiva pueden ser indicativos de cambios ambientales cuando las señales para el inicio del cuidado de pichones están estrechamente vinculadas a las condiciones del entorno (Emmerson et al., 2011). Sin embargo, las causas conocidas de los cambios fenológicos pueden variar mucho entre especies, lugares y dependen de cada etapa de la historia de vida (Parmesan, 2006).

Los factores ambientales que pueden influir la fenología son la temperatura ambiental, el fotoperiodo, y la precipitación, que afectan la abundancia o la disponibilidad de la comida, particularmente durante la temporada crítica de criar a su descendencia (Forrest y Miller-Rushing, 2010). Los procesos climáticos a gran escala, incluyendo el niño oscilación sur (ENSO) o el Modo Anular del Sur (SAM, que es más importante de latitudes altas; Forcada y Trathan, 2009), y en escala local como la temperatura superficial del mar (SST), se han demostrado que influyen la reproducción, distribución, fenología, y supervivencia de las aves marinas (Chambers et al., 2013).

En las especies aviarias, las restricciones fenológicas son particularmente exigentes a causa de la necesidad de alinear las provisiones de los pichones con una abundancia alta de comida (Durant et al., 2005). En este sentido, en respuesta al cambio climático, recientemente, algunos investigadores han identificado los cambios a gran escala en las fechas de puesta de huevos como más tempranas en algunas especies de aves, pero esto varía mucho dependiendo de la taxonomía y el lugar (Liebezeit et al., 2014; Black, 2016). También, el comportamiento reproductivo colonial de las aves marinas dicta una estrategia reproductiva constreñida, que influye a la fenología, porque la sincronización con otros miembros de la misma especie es necesario para asegurar la buena condición física de cada individuo (Krebs y Davies, 2009). La sincronía de cría entre los individuos en una población, aunque permite un número de beneficios para aves marinas anidando colonialmente, podría limitar a una población de responder exitosamente a la variabilidad climática (Reed et al., 2006), y de adaptarse al cambio climático a largo plazo (Lynch et al., 2012).

El ciclo anual fenológico de los pingüinos, similar al de otras aves marinas, incluye los siguientes periodos: el cortejo, la puesta de huevos, la incubación, cría de pichones, muda y emancipación de pichones, periodo de pre-muda de adultos (cuando realizan viajes de alimentación), la muda de los adultos, y el periodo no reproductivo (Black, 2016). El marco de tiempo y la longitud de cada etapa varía entre diferentes especies, pero está influenciada por varios factores a través de los taxones, incluyendo (1) el fotoperiodo, (2) el pico de productividad marina, y (3) la temperatura

ambiente y de la superficie del mar (Ancel et al., 2013).

Los pingüinos (familia *Spheniscidae*) pueden ser muy sensibles al cambio climático porque sus adaptaciones, como el tamaño pequeño y la morfología, limitan las profundidades y rangos de sus zonas de alimentación (Forcada y Trathan, 2009). Los pingüinos dependen de las condiciones oceanográficas y climáticas estables porque determinan la disponibilidad de la presa y la sustentabilidad de los hábitats de cría y muda (Forcada y Trathan, 2009). Por lo tanto, el cambio climático afecta a las poblaciones de los pingüinos por alterar las condiciones oceanográficas. En particular, condiciones ambientales alteradas afectan a las llegadas de las aves a sus sitios reproductivos, al peso corporal, y al estatus nutritivo antes de la reproducción y la muda. También afecta la fecha de puesta de huevos, el tamaño de huevos, el éxito reproductivo, eventos fenológicos, y en última instancia la supervivencia de los adultos (Forcada y Trathan, 2009). Poblaciones de pingüinos no podrían responder adecuadamente a la variabilidad climática o adaptar al cambio climático a largo plazo porque la migración lejos de la colonia de cría durante los meses no reproductiva podría impedir una evaluación oportuna de las condiciones ambientales en el sitio reproductiva y eso podría afectar la respuesta fenológica (Both & Visser, 2001; Both et al., 2006).

Para las aves marinas, y en particular para los pingüinos, que reproducen en zonas antárticas y subantárticas, las fechas más tempranas de inicio de la temporada reproductiva han sido observados en los años recientes (Chambers, 2013). Ha sido planteado como hipótesis que la fecha de inicio de la temporada reproductiva es el

parámetro que es la más influida por el cambio climático (Przybylo et al., 2000). Cambios en la fenología reproductiva (el horario de eventos reproductivos) son considerados ser la respuesta más sencilla de la ecología de una especie al cambio climático (IPCC, 2007) y pueden tener consecuencias demográficas importantes por desconectar las interacciones tróficas y procesos ecosistémicos (Forcada & Trathan, 2009). Los ecosistemas en el océano Austral se vean afectados fuertemente por el calentamiento global y el cambio climático (Saraux et al., 2011). En particular, las tormentas más frecuentes e intensas, condiciones húmedas y las nevadas constantes han aumentado el fracaso reproductivo del pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) (Boersma y Rebstock, 2014).

Para conservar a las aves marinas y protegerlas de estos cambios climáticos, coleccionar los datos a largo plazo es muy importante. Sin embargo, las observaciones directas pueden ser bastante complicadas de realizar y costosas en las regiones remotas (Hinke et al., 2018). Por lo tanto, las cámaras trampa son útiles para estimar la fenología reproductiva (es decir las fechas de los eventos reproductivos, como las fechas de: iniciación de las nidadas, eclosión de huevos, y cuidado de pichones) y el éxito reproductivo (número de pichones emancipados por nido) (Hinke et al., 2018). Es muy importante hacer las investigaciones en aves marinas porque pueden ser usadas como especies indicadoras para monitorear los cambios en ecosistemas marinos a causa de su dependencia por la disponibilidad y calidad de presas marinas (Southwell, 2015). También, las aves marinas son más fáciles de estudiar cuando están en sus sitios

reproductivos comparado con otras especies marinas (Piatt et al., 2007). Colectar los datos de una red de las cámaras facilitará la identificación de conductores ecológicos y permitirá la detección temprana del cambio climático y los impactos de las pesquerías (Southwell, 2015).

Las especies “centinelas” han sido propuestas como una manera de proveer información sobre componentes usualmente desapercibidos del ecosistema (Zacharias and Roff, 2001). Un centinela del ecosistema puede ser definido como una especie que responde a la variabilidad ecosistémica o a cambios ecosistémicos en una manera medible, interpretable, y oportuna. Un centinela ecosistémico puede indicar un cambio en la estructura o función del ecosistema que de lo contrario no se reconocería (Hazen et al., 2019). Los principales depredadores marinos (incluyendo ciertas especies de peces depredadores, aves marinas, tortugas marinas, y mamíferos marinos) han sido propuestos como centinelas del ecosistema en función de su naturaleza visible y su capacidad para indicar o responder a los cambios en la estructura del ecosistema y función que de otro modo sería difícil de observar directamente (Bossart 2006; Hazen et al., 2019). Además, el termino “centinela climático” se refiere a un centinela ecosistémico que responde específicamente a variabilidad o cambio climático (Mallard and Couderchet, 2019). Los pingüinos de Magallanes podrían ser especies centinelas porque son indicadores de cambios ecosistémicos que no se observaría de otra manera (Hazen et al., 2019). Si hubiera algunos eventos fenológicos de los pingüinos que cambian de año a año a causa de variables climáticos, podría arrojar luz en la

funcionalidad de los pingüinos de Magallanes como centinelas ecosistémicos.

El pingüino de Magallanes (Figura 1) se distribuye a lo largo de las costas de Chile y Argentina en los océanos Pacífico y Atlántico, incluyendo las Islas Malvinas (Scioscia, 2010). Las colonias reproductivas en Argentina se encuentran desde Península Valdés (42°04'S,63°21'O) hasta el Canal Beagle (54°54'S,67°23'O) (Gandini et al. 1996), y Tierra del Fuego es el límite austral de la distribución geográfica de los pingüinos



Figura 1: Un pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) en su nido de piedras y raíces de árbol cerca de la zona de turismo en Isla Martillo, Canal Beagle, Tierra del Fuego, Argentina.

de Magallanes (Scioscia et al., 2016). La temporada reproductiva se extiende desde principios de septiembre hasta fines de febrero (Boersma et al., 1990). Típicamente, los machos empiezan a reclamar y defender sus sitios de nidificación en los mediados a finales de septiembre. Las hembras reúnen con los machos en el nido por principios de octubre y producen una nidada de dos huevos que es incubada alternativamente por los dos

padres por aproximadamente 40 días. (Stokes y Boersma, 1998). Los pichones salen del cascarón y son alimentados por ambos padres por 60 a más de 90 días. Los pichones son atendidos por un padre continuamente hasta que tengan aproximadamente 30 días de edad, durante el cual permanecen en el nido. Los pichones mayores por lo general están en el nido, pero pueden desplazarse y quedar cerca del nido y no se van más que unas horas cuando ya están por emanciparse (Scioscia, com. pers.). Los pichones mudan desde fines de diciembre/principios de enero hasta el febrero. Después de los pichones mudan, los adultos vuelven de alimentarse a sus nidos para mudar antes de migrar de la colonia hacia el norte en abril (Stokes y Boersma, 1998).

En este contexto, los objetivos principales de este estudio son (1) describir y analizar algunos eventos en la fenología (el inicio de la temporada reproductiva, el periodo de muda de pichones, y el periodo de muda de los adultos) del pingüino de Magallanes en Isla Martillo durante tres estaciones reproductivas consecutivas (2016-2017, 2017-2018, y 2018-2019) a partir de fotos de cámaras trampa, y (2) examinar algunas variables ambientales locales como la temperatura ambiental (T_a) ($^{\circ}\text{C}$), precipitación total (lluvia) (mm), y altura de la nieve (cm) para ver si hay una relación entre los eventos fenológicos y estas variables ambientales. Probé la hipótesis que condiciones climáticas más esporádicas,

como temperatura promedio más baja, con mayor cantidad de precipitación y nevadas, resultarán en un retraso en el inicio de la temporada reproductiva y de los eventos de muda de pichones y adultos de los pingüinos de Magallanes en Isla Martillo.

Los Métodos y Materiales

El área del estudio del pingüino de Magallanes

Los datos del campo han sido colectados de cámaras trampa en zonas distintas de la Isla Martillo, Tierra del Fuego, Argentina ($54^{\circ}53'S$, $67^{\circ}34'O$). Esta isla, con forma de un martillo, es parte de un grupo de islas pequeñas ubicadas en la sección este de las aguas argentinas del Canal Beagle (Dodino et al., 2018) (Figura 2). La isla tiene 2000 m de longitud (en el eje noroeste-sureste) y 750 m en ancho (del norte al sur) (Dodino et al., 2018). En diferentes zonas de la colonia las cámaras trampa están ubicadas. En Isla Martillo, la colonia reproductiva de los pingüinos de Magallanes es de aproximadamente 4000 parejas reproductivas (Awowale, 2019). En la isla, hay zonas con distintos grados de erosión (Quiroga et al. en revisión) donde están ubicadas las cámaras trampa diferentes; la mayoría de los datos fue sacada de fotos de la zona de erosión media al sureste de la isla.

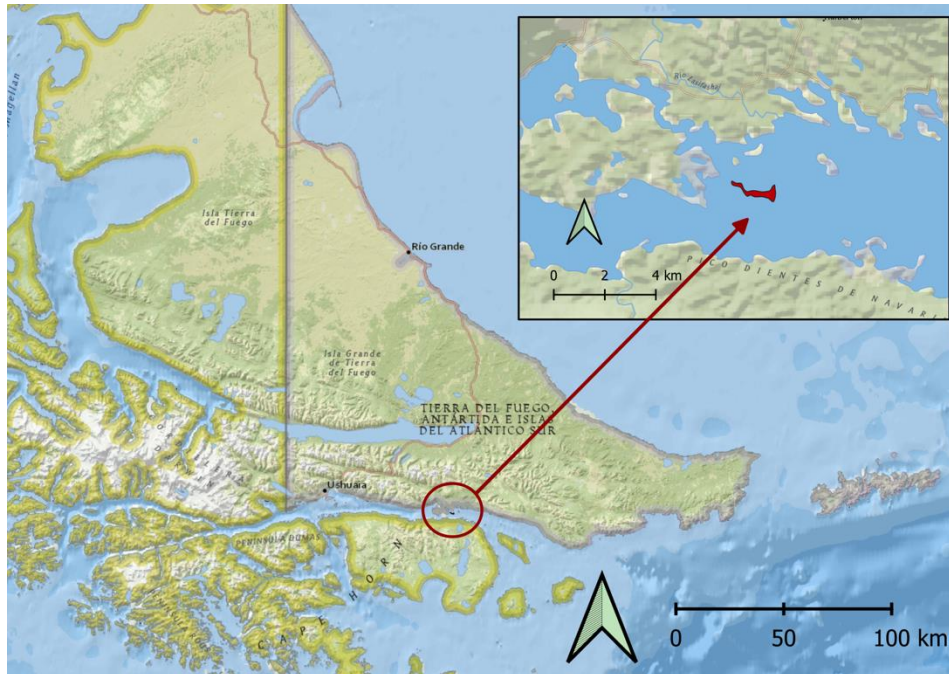


Figura 2: Un mapa de la ubicación de Isla Martillo en el Canal Beagle de Tierra del Fuego, Patagonia, Argentina (Awowale, 2019).

La colección de los datos de las cámaras trampa con lapso de tiempo: datos fenológicos

Para hacer mis investigaciones, analicé imágenes de las cámaras trampa (Figura 3) que ya han sido colocadas en Isla Martillo durante temporadas reproductivas de los pingüinos de Magallanes previas (2016-2017, 2017-2018, y 2018-2019). Las cámaras tienen controladores programables para regular la hora y frecuencia de las fotografías (Newbery & Southwell, 2009) y baterías de litio. Las cámaras fueron programadas con una frecuencia de disparo de una hora durante todo el periodo de luz de día. Examiné las imágenes de los sitios de nidificación de los pingüinos (Figura 4) de las cámaras trampa para buscar las fechas en que comienzan y terminan los eventos de la fenología de los mismos seleccionados. Me centré en tres eventos de la fenología: el inicio y estimado por la fecha del primer

pingüino visto a principios de septiembre); el inicio y final de la muda de los pichones (estimada a partir de las fechas en que se vieron al primer y último pichón mudando); y el periodo de muda de los adultos (estimado a partir de las fechas en que se vieron al primer y último adulto mudando) (Dodino et al., 2018).



Figura 3: Una cámara de lapso de tiempo de marco RECONYX en Isla Martillo, Canal Beagle, Argentina.

Datos fenológicos: El inicio de la temporada

Para registrar las fechas del inicio y final de la temporada reproductiva de los pingüinos de Magallanes al observé las imágenes desde principios de septiembre de una de las cámaras ubicadas en la isla (zona experimental) hasta encontrar el primer pingüino en una de las fotos. Entonces, se examiné todas las imágenes (una por cada hora por día) y se registró la información de la foto con mayor cantidad de individuos para cada día. De cada imagen se registró: el número de la cámara, la fecha y la hora de la imagen, la temperatura ambiental (°C), el número de la foto y algunas observaciones o notas sobre las imágenes en una planilla de Microsoft Excel (Tabla 1). Sigue eligiendo y marcando la foto con la mayoría de los pingüinos hasta que el número de pingüinos se mantuvo estable y se consideró que ya habían llegado todos los pingüinos. Después, observé las fotos de fines del abril y, registré la fecha del último pingüino visto antes de que los nidos queden vacíos durante los meses de invierno, para marcar el fin de la temporada reproductiva. Repetí este proceso para las temporadas reproductivas de 2016-2017, 2017-2018, y 2018-2019. Saqué la mayoría de mis datos de la cámara 2 en la zona experimental de Isla Martillo. En la estación reproductiva 2017-18, también pude sacar datos de las fotos de cámara 3 (zona erosionada), cámara 4 (zona de turismo), y cámara 5 (de la playa) además que de la cámara 2. En 2018-19, pude usar las fotos de cámaras 1b-2 (erosionada), 3 (zona nueva), y 4 (zona de turismo) en adición a la cámara 2. En muchos casos, no había fotos de las fechas requeridas de las cámaras a menos que las de cámara 2. Cuando pude sacar la fecha del

inicio del mismo año de muchas cámaras, elegí la fecha más temprano en que vi el primer pingüino como la fecha del inicio de la temporada.

Datos fenológicos: los periodos de muda de los adultos y pichones

Para encontrar las fechas del inicio y final del periodo de muda de los pichones, exploré las imágenes en el periodo comprendido entre fines de diciembre hasta fines de febrero para determinar las fechas exactas de tal periodo para cada una de las 3 estaciones reproductivas consecutivamente. Por cada foto, conté el número total de individuos presentes, el número de pichones presentes, y el número de pichones mudando (Figura 4). Para determinar las fechas en el comienzo y el fin del periodo de muda de los adultos, conté el número de adultos presentes y el número de adultos mudando por cada foto en que encontré un pingüino adulto mudando desde aproximadamente fines de febrero a principios de abril. Por todas las fotos entre los inicios y fines de los periodos de muda de los pichones y de los adultos, anoté la misma información para cada foto del inicio y fin de la temporada (fecha, hora, número de foto, zona de la isla, etc.).



Figura 4: Una foto de la cámara trampa ubicada en la Zona Experimental de Isla Martillo. Hay adultos y pichones de pingüinos de Magallanes presentes cerca de sus nidos, que son marcados con estacas verdes. La temperatura ambiental, la fase lunar, la fecha, y la hora están presentes abajo de la foto.

Zona	Cámara	Número de Foto	Fecha	Hora	Temp. (°C)	Tipo de nido	N° de ind/foto*	N° de pichones presentes	N° de pichones mudando	N° de adultos mudando
experimental	CAM2	12260014	12/26/17	11:00	7	general	15	3	1	0
experimental	CAM2	12270012	12/27/17	7:00	5	general	14	4	2	0
experimental	CAM2	12280042	12/28/17	17:00	12	general	21	8	5	0
experimental	CAM2	12290065	12/29/17	20:00	10	general	24	4	3	0
experimental	CAM2	12300087	12/30/17	22:00	3	general	17	7	4	0
experimental	CAM2	12310103	12/31/17	7:00	5	general	21	4	3	0
experimental	CAM2	1010122	1/1/18	17:00	6	general	17	9	7	0
experimental	CAM2	1020138	1/2/18	13:00	7	general	18	7	4	0
experimental	CAM2	1030152	1/3/18	7:00	2	general	18	6	6	0
experimental	CAM2	1040183	1/4/18	18:00	7	general	19	9	6	0
experimental	CAM2	1050194	1/5/18	9:00	5	general	19	10	8	0
experimental	CAM2	1060220	1/6/18	15:00	15	general	18	9	7	0
experimental	CAM2	1070240	1/7/18	15:00	7	general	25	8	8	0
experimental	CAM2	1080262	1/8/18	17:00	17	general	18	7	7	0
experimental	CAM2	1090276	1/9/18	11:00	20	general	20	9	9	0
experimental	CAM2	1100297	1/10/18	12:00	15	general	19	12	10	0
experimental	CAM2	1110321	1/11/18	16:00	16	general	27	10	9	0
experimental	CAM2	1120346	1/12/18	21:00	7	general	26	11	11	0
experimental	CAM2	1130357	1/13/18	12:00	5	general	25	13	10	0
experimental	CAM2	1140383	1/14/18	18:00	10	general	29	12	11	0
experimental	CAM2	1150405	1/15/18	20:00	10	general	30	12	12	0
experimental	CAM2	1160425	1/16/18	20:00	8	general	32	12	11	0
experimental	CAM2	1170446	1/17/18	21:00	5	general	32	13	11	0
experimental	CAM2	1180452	1/18/18	7:00	3	general	24	10	9	0
experimental	CAM2	1190472	1/19/18	7:00	6	general	31	10	9	0
experimental	CAM2	1200491	1/20/18	6:00	5	general	27	9	8	0
experimental	CAM2	1210521	1/21/18	16:00	11	general	20	9	8	0
experimental	CAM2	1220531	1/22/18	6:00	2	general	25	10	10	0
experimental	CAM2	1230565	1/23/18	20:00	6	general	29	8	8	0
experimental	CAM2	1240572	1/24/18	7:00	5	general	21	8	7	0
experimental	CAM2	1250594	1/25/18	9:00	10	general	19	6	7	0
experimental	CAM2	1260011	1/26/18	9:00	10	general	23	8	7	0
experimental	CAM2	1270030	1/27/18	8:00	5	general	30	9	8	0
experimental	CAM2	1280050	1/28/18	8:00	6	general	27	9	8	0
experimental	CAM2	1290069	1/29/18	7:00	5	general	26	9	8	0
experimental	CAM2	1300089	1/30/18	7:00	3	general	26	7	7	0
experimental	CAM2	1310110	1/31/18	8:00	5	general	12	5	5	0
experimental	CAM2	2010130	2/1/18	8:00	6	general	15	9	6	0
experimental	CAM2	2020151	2/2/18	9:00	10	general	27	2	2	0
experimental	CAM2	2030169	2/3/18	7:00	5	general	27	6	4	0
experimental	CAM2	2040196	2/4/18	14:00	5	general	18	2	2	0
experimental	CAM2	2050216	2/5/18	14:00	16	general	7	1	1	0
experimental	CAM2	2060240	2/6/18	18:00	12 ⁹	general	16	1	1	0
experimental	CAM2	2070263	2/7/18	21:00	6	general	23	1	1	0

Tabla 1 (Página 9): Un ejemplo de los datos sacados de las fotos de cámara de lapso de tiempo desde el inicio y el fin de la estación de muda de los pichones 2017-18 de la cámara 2 e la zona experimental. Algunas categorías no mostradas son orientación de la cámara, carpeta del disco duro, sin visual por nieve/movimiento/etc., sexo, comportamiento, huevos visto, numero de juveniles mudando, y observaciones. *Numero de individuos de pingüinos por foto.

Variables ambientales

Los factores ambientales que utilicé para evaluar el efecto de las condiciones ambientales locales eran la temperatura ambiental (T_a), velocidad del viento (km/h), precipitación total (lluvia) (mm), y altura de la nieve (cm) obtenidos del Servicio de Información Ambiental y Geográfica (SIAG) del Centro Austral de Investigaciones Científicas-Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CADIC-CONICET). Todos de estos datos fueron medidos en una latitud de $54^{\circ} 49' 21''$ S, longitud de $68^{\circ} 19' 25''$ O, y altitud de 24 m s.n.m. en Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina, a 90 km aproximadamente, del sitio de estudio en Isla Martillo ($54^{\circ}53'S$, $67^{\circ}34'O$). Calculé un valor promedio de todas de estas variables por los tres años consecutivos (2016-2017, 2017-2018, y 2018-2019) del invierno antes de la estación reproductiva (abril-septiembre), del verano durante la estación reproductiva (septiembre-abril el año siguiente), y de todo el año (abril-abril el año siguiente). Usé los valores promedios por mes para calcular estos promedios de las estaciones.

Las éticas del estudio

Los métodos que elegí son acertados y respetoso del medioambiente porque la mayoría de mi colección de los datos es por analizar las fotos de los nidos de los

pingüinos de Magallanes en Isla Martillo. Usar las cámaras trampas con lapso de tiempo para obtener los datos en una manera de no molestar los pingüinos en campo, porque la presencia de las cámaras en sus sitios de nidificación no les molesta tan mucho como las acciones de los investigadores en campo (Southwell, 2015). No molesté o disturbé a los pingüinos innecesariamente en el campo para saber la información que se puede encontrar fácilmente de las cámaras. Aunque hay mantenimiento requerida de implementar y cuidar por las cámaras trampas en el campo, esta les molesta a los pingüinos menos frecuentemente, por menos tiempo, y en menor medida que ir en el campo y tomar un registro de todos los pingüinos en zonas diferentes, cada día de la estación reproductiva y de los periodos de muda de los pichones y adultos. Lo que es más, yo no voy a hacer estos chequeos directamente, porque estoy usando las cámaras trampas que ya han estado en el campo por 4 años por los trabajos de los investigadores de CADIC. Ellos performan un papel más directo con la cuida de las cámaras; por lo tanto, no tengo que ir en el campo y molestar a los pingüinos para nada para hacer mis investigaciones.

Además, obtuve los datos sobre las variables ambientales del SIAG de CADIC. El uso de estos datos ambientales que ya han sido colectados usa menos recursos energía, y tiempo que tratar de recopilar los datos por mí mismo. También, la gente de CADIC usa instrumentos para colector los datos

ambientales, como anemómetros para saber la velocidad del viento, termómetros para medir la temperatura del aire, pluviómetros para medir la cantidad de precipitación, los calibres de nieve para medir la altura de nieve, y higrómetros para apreciar la existencia de vapor acuoso en el aire. Estos instrumentos son más o menos automáticos, así que son inherentemente más éticos que algo que requiere mucho trabajo humano.

Los Resultados

Durante febrero se registraron las temperaturas ambientales promedio más altas de las estaciones reproductivas 2016-17 y 2017-18 (Figura 5). Durante la estación reproductiva 2018-19 las temperaturas promedio más altas ocurrieron en el diciembre (Figura 5). En julio de 2016, junio de 2017, y junio y julio de 2018, se encontraron las temperaturas ambientales más bajas (Figura 4). En general, las temperaturas promedio ambientales empezaron a crecer en septiembre y octubre (Figura 5).

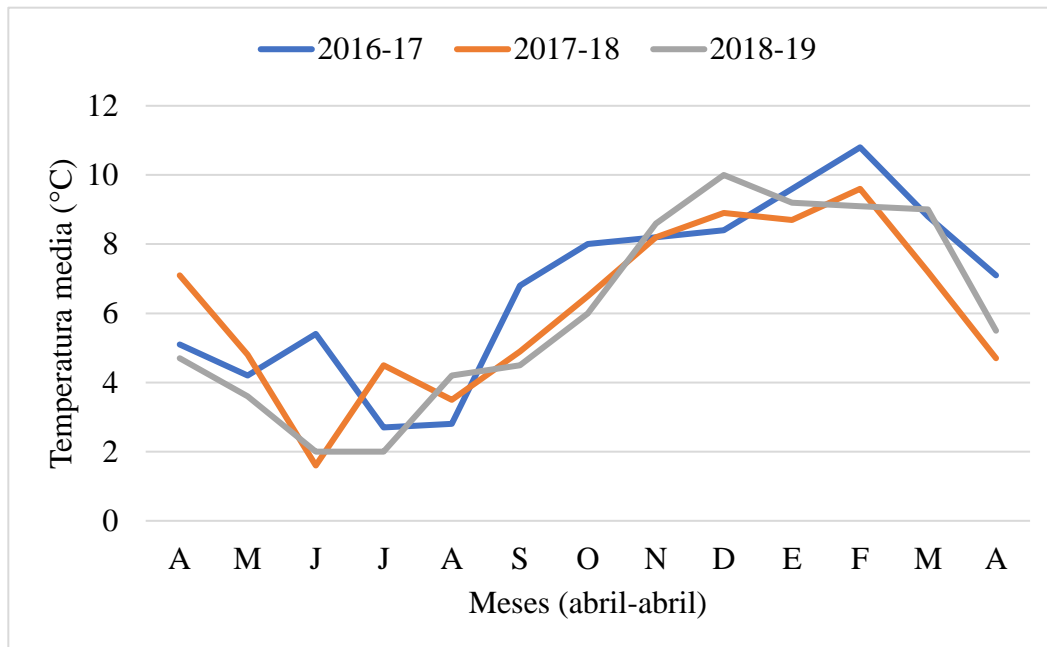


Figura 5: La temperatura promedio ambiental (°C) por mes cerca de Isla Martillo durante las estaciones reproductivas de los pingüinos de Magallanes de 2016-17, 2017-18, y 2018-19.

La precipitación total promedio más alta fue registrada durante abril del 2018-2019, siguiendo durante noviembre del 2017-2018 y diciembre de 2016-2018. El diciembre correspondió con la precipitación total promedio más alta de la estación reproductiva 2016-17, el noviembre

correspondió con la precipitación total promedio más alta de la estación reproductiva 2017-18, y el abril correspondió con la precipitación total promedio más alta de la estación reproductiva 2018-19 (Figura 6). Durante octubre de 2016, abril de 2017, y julio de 2018, ocurrió la menor cantidad de

precipitación total promedio (Figura 6). Se puede observar una gran variabilidad para todos los meses de las estaciones

reproductivas 2016-17, 2017-18, y 2018-19 (Figura 6).

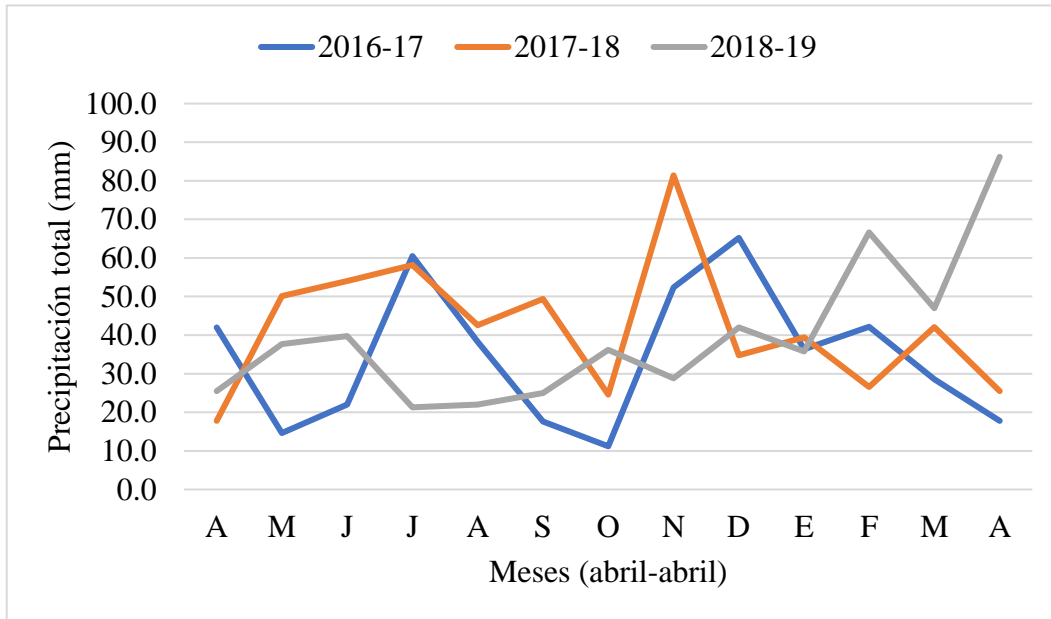


Figura 6: La precipitación total promedio (mm) cerca de Isla Martillo por mes durante las estaciones reproductivas de los pingüinos de Magallanes de 2016-17, 2017-18, y 2018-19.

Las cantidades más altas de la altura de nieve promedio (cm) se registraron en abril de 2016, julio de 2017, y junio de 2018, (Figura 7). Cuando las estaciones reproductivas habían terminadas cada verano, había una cantidad de nieve muy baja (Figura 7). Para cada temporada, la presencia

de nieve se registró hasta el septiembre del 2016, diciembre de 2017, y noviembre de 2018 (Figura 7). Del diciembre hasta el abril del próximo año, no había ninguna nevada en cada estación reproductiva (Figura 7).

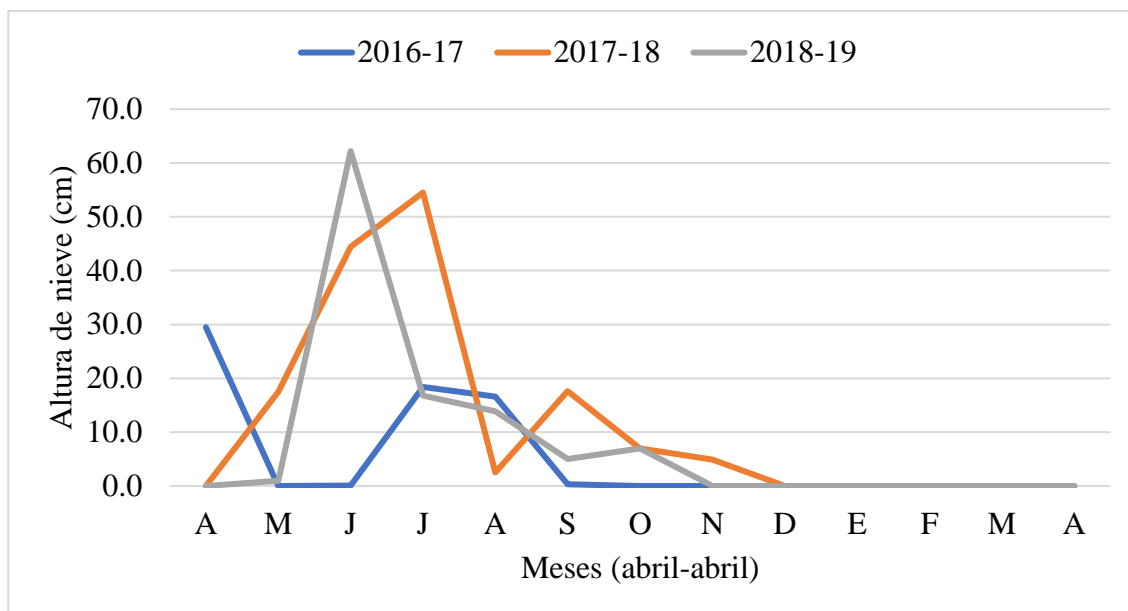


Figura 7: La altura de nieve promedio (cm) cerca de Isla Martillo por mes durante las estaciones reproductivas de los pingüinos de Magallanes de 2016-17, 2017-18, y 2018-19.

Durante febrero de la estación 2016-17, mayo de la estación 2017-18, y mayo de la estación 2018-19 la velocidad del viento promedio fue más baja (Figura 8). Durante noviembre de la estación 2016-17, diciembre de la estación 2017-18, y enero de la estación 2018-19 la velocidad del viento promedio fue

más alta (Figura 8). En general, el viento era más rápido durante los meses de octubre hasta enero de cada estación, y entonces la velocidad del viento empezó a declinar hasta mayo cuando empezó a crecer otra vez (Figura 8).

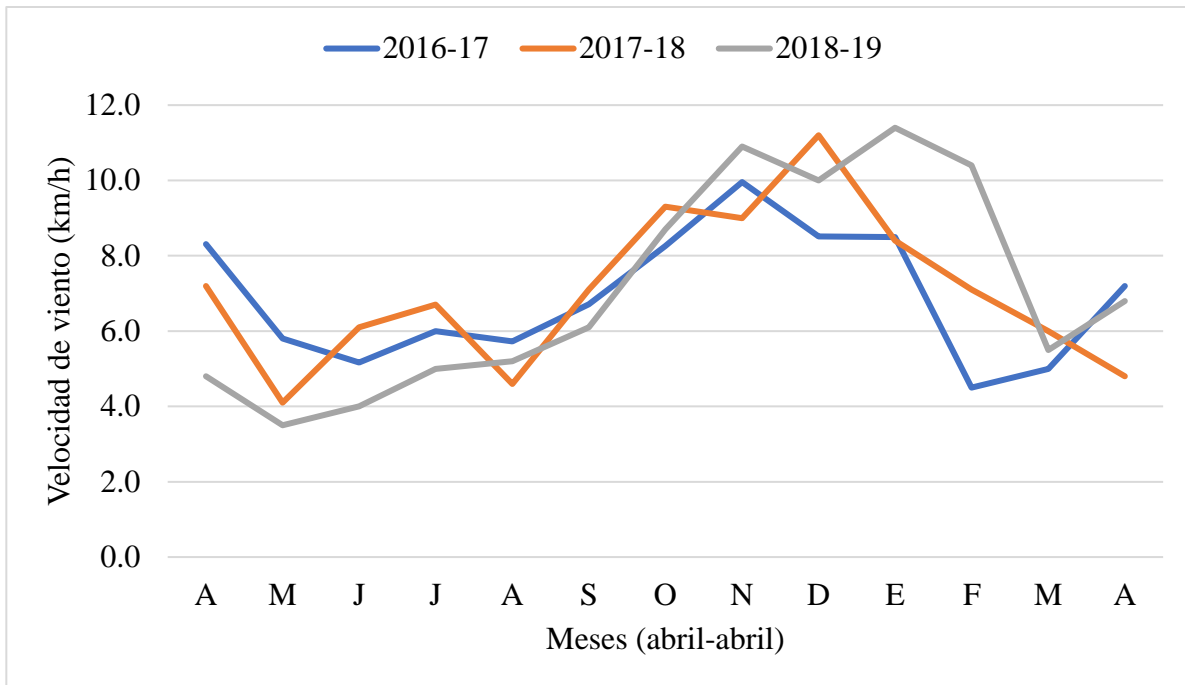


Figura 8: La velocidad de viento (km/h) promedio mensual cerca de Isla Martillo por mes durante las estaciones reproductivas de los pingüinos de Magallanes de 2016-17, 2017-18, y 2018-19.

La llegada más temprana de un pingüino de Magallanes en la Isla Martillo entre las estaciones reproductivas de 2016-17, 2017-18, y 2018-19 fue el 7 de septiembre (de 2017; Tabla 2). Eran 5 días entre la fecha de inicio de la temporada reproductiva más temprano (el 7 de septiembre, 2017) y la fecha de inicio de la temporada reproductiva más tarde (el 9 de septiembre, 2016; Tabla 2). No se encontró un patrón de las fechas tendiendo a ser más tempranas o tardías cada año siguiente.

La fecha más temprana encontrada del inicio de la muda de los pichones era el 16 de diciembre (de 2016; Tabla 2). La fecha más temprana registrada de la finalización de la muda de los pichones fue el 10 de febrero (de 2019; Tabla 2). La duración promedio del periodo de muda fue 54.3 (± 3.51) días. Cada estación reproductiva, la duración del periodo de muda de los pichones disminuyó,

de 58 días en 2016-17, a 54 días en 2017-18, hasta 51 días en 2018-19 (Tabla 2).

La fecha más temprana de inicio de la muda de los adultos fue el 10 de febrero (de 2018; Tabla 2). La fecha más temprana grabada de fin de la muda de los adultos fue el 27 de marzo (de 2017; Tabla 2). La duración promedio del periodo de muda fue 49.7 (± 10.7) días. En cada estación reproductiva, la duración del periodo de muda de los adultos creció, de 38 días en 2016-17, a 52 días en 2017-18, hasta 59 días en 2018-19 (Tabla 2).

Eventos Fenológicos	Estación Reproductiva								
	2016-17			2017-18			2018-19		
	Comienzo	Final	Duración	Comienzo	Final	Duración	Comienzo	Final	Duración
La Estación Reproductiva	12/9/16	13/4/17	214 días	7/9/17	6/4/18	212 días	11/9/18	6/4/19	208 días
Muda de los Pichones	16/12/16	11/2/17	58 días	26/12/17	17/2/18	54 días	22/12/18	10/2/19	51 días
Muda de los Adultos	18/2/17	27/3/17	38 días	10/2/18	2/4/18	52 días	13/2/19	12/4/19	59 días

Tabla 2: Las fechas del comienzo y final y las duraciones de 3 eventos fenológicos: el inicio de la estación reproductiva, el periodo de muda de los pichones, y el periodo de muda de los adultos de los Pingüinos de Magallanes en Isla Martillo. Estos datos son de 3 estaciones reproductivas consecutivas de los pingüinos (2016-17, 2017-18, y 2018-19).

La temperatura media (°C) del aire más alta del invierno ocurrió antes de la estación reproductiva 2016-17 (Tabla 3). También, la temperatura media (°C) del aire más alta del verano ocurrió durante la estación reproductiva 2016-17 (Tabla 3). El invierno con el nivel de precipitación más

alta ocurrió antes de la estación 2017-18, y el verano con la mayor cantidad de precipitación ocurrió durante la estación 2018-19 (Tabla 3).

Fases de la estación 2016-17	Variables ambientales		
	Temperatura media (°C)	Precipitación total (mm)	Altura de nieve (cm)
Invierno (abril-sept. 2016)	4.50 (±1.60)	32.5 (± 17.7)	10.8 (± 12.5)
Verano (sept. 2016-abril 2017)	8.46 (±1.27)	33.9 (± 17.6)	3.4 (± 7.39)
Todo el año (abril. 2016-abril 2017)	6.76 (± 2.55)	34.5 (± 17.7)	7.2 (± 11.3)
Fases de la estación 2017-18	Variables ambientales		
	Temperatura media (°C)	Precipitación total (mm)	Altura de nieve (cm)
Invierno (abril-sept. 2017)	4.4 (± 1.79)	45.4 (± 14.5)	27.3 (± 21.4)
Verano (sept. 2017-abril 2018)	7.3 (± 1.85)	40.5 (± 18.7)	4.2 (± 6.56)
Todo el año (abril. 2017-abril 2018)	6.2 (± 2.38)	42.0 (± 17.2)	13.5 (± 19.1)
Fases de la estación 2018-19	Variables ambientales		
	Temperatura media (°C)	Precipitación total (mm)	Altura de nieve (cm)
Invierno (abril-sept. 2018)	3.5 (± 1.18)	28.6 (± 8.09)	16.5 (± 23.4)
Verano (sept. 2018-abril 2019)	7.8 (± 2.08)	46.0 (± 20.7)	1.5 (± 2.83)

Todo el año (abril. 2018-abril 2019)	6.0 (\pm 2.85)	39.5 (\pm 18.6)	8.1 (\pm 17.2)
---	-------------------	--------------------	-------------------

Tabla 3: Los datos ambientales promedios (temperatura, velocidad del viento, precipitación total (lluvia), y altura de la nieve) calculados para el invierno antes de cada temporada reproductiva (abril-septiembre), el verano durante cada temporada reproductiva (septiembre-abril), y anual (abril-abril). Todos los valores son escritos en la forma de valores promedio (\pm desvío estándar).

La temperatura ambiental promedio ($^{\circ}$ C) y la precipitación total promedio (mm) del invierno antes de la estación reproductiva no se parecían a tener un efecto claro en las fechas cuando el primer pingüino de Magallanes llegó a la Isla Martillo (Figura 9). Las temperaturas medias de las estaciones 2016-17, 2017-18, y 2018-19 (4.5° C \pm 1.6,

4.4° C \pm 1.79, y 3.5° C \pm 1.18, respectivamente) (Tabla 3). Sin embargo, el primer pingüino llegó en el 12 septiembre en 2016, el 7 de septiembre en 2017, y el 10 de septiembre en 2018 a pesar de la falta de cambio en las temperaturas promedios del invierno antes de las estaciones.

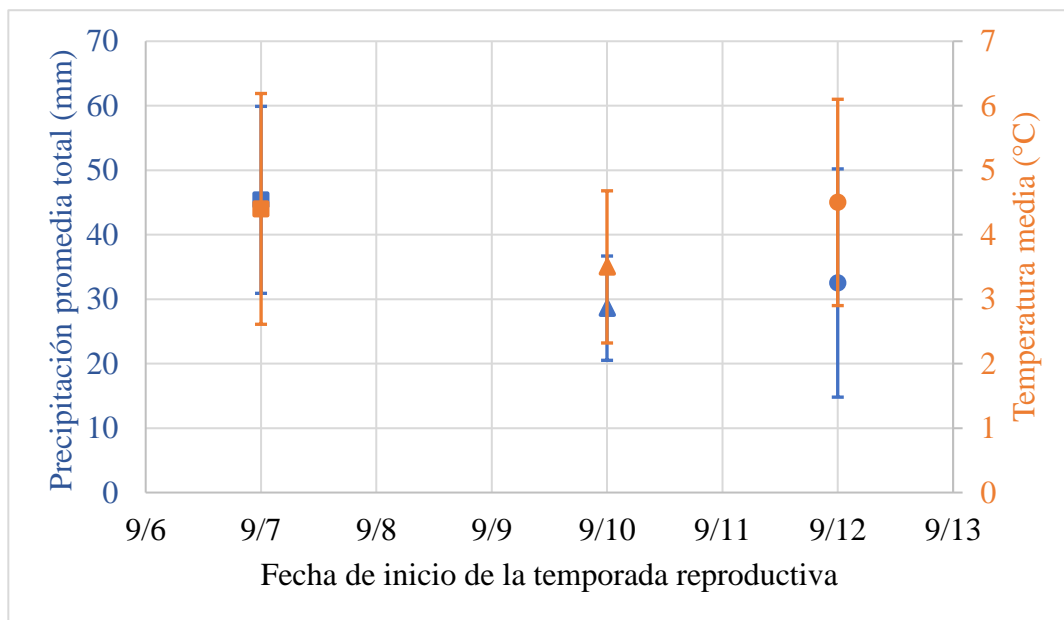


Figura 9: Las fechas de inicio de las temporadas reproductivas de los Pingüinos de Magallanes en tres estaciones reproductivas consecutivas y los valores promedios correspondientes de la precipitación total (mm) y temperatura media ($^{\circ}$ C) del invierno directamente antes de cada estación reproductiva. Precipitación está en el eje-y azul en la izquierda y temperatura está en el eje-y anaranjado a la derecha. Las temporadas reproductivas corresponden con los símbolos como sigue: \circ = 2016-17, \bullet = 2017-18, Δ = 2018-19.

La temperatura ambiental promedio (°C) y la precipitación total promedio (mm) del verano durante la estación reproductiva no parecen tener un efecto claro en la duración del periodo de muda de los pichones de pingüinos de Magallanes en Isla Martillo (Figura 10). En cambio, si se observa una tendencia que a menor precipitación durante la estación reproductiva la duración del periodo de muda es más largo, (Figura 10). Sin embargo, las barras de error de

desviación estándar se superponen y es difícil asegurar el cambio en precipitación esté afectando el cambio en la duración de la muda (Figura 10). Una cantidad de precipitación promedio de 33.9 mm corresponde con una duración de muda de 58 días (2016), 40.5 mm con 54 días (2017), y 46 mm con 51 días (2018), así que podría ser una tendencia de más lluvia relacionada con una duración de muda más corta (Figura 10).

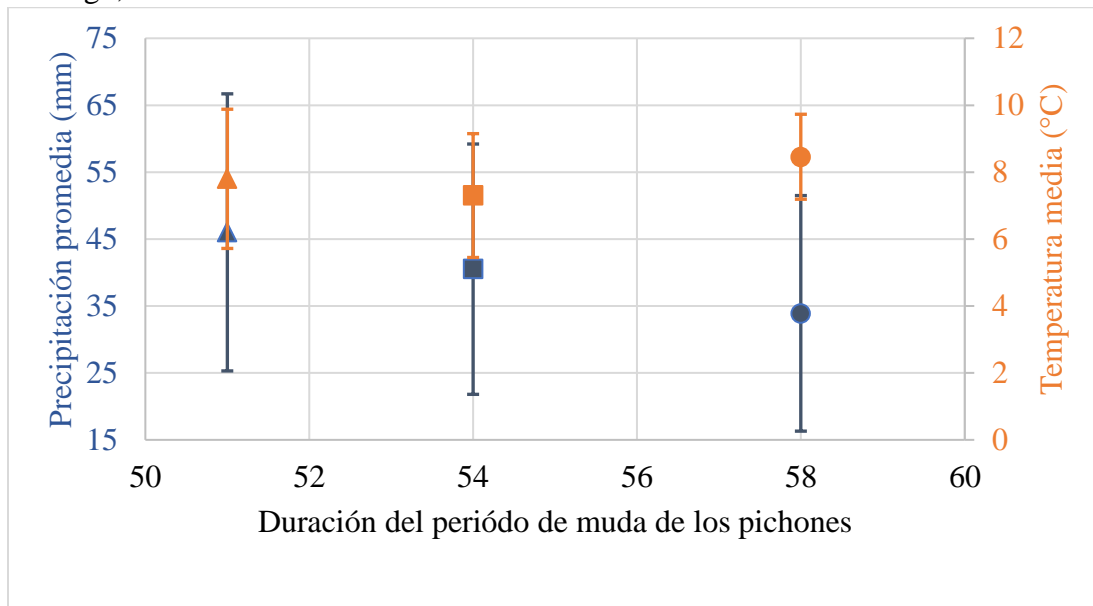


Figura 10: La duración del periodo de muda de pichones en 3 estaciones reproductivas consecutivas en relación a la precipitación total promedio (mm) y la temperatura media (°C) del verano durante cada estación reproductiva. Precipitación está en el eje-y azul en la izquierda y temperatura está en el eje-y anaranjado a la derecha. Las temporadas reproductivas corresponden con los símbolos como sigue: ○ = 2016-17, ● = 2017-18, △ = 2018-19. Los bigotes indican \pm el desvío estándar.

La temperatura ambiental promedio (°C) y la precipitación total promedio (mm) del verano durante la estación reproductiva no parece tener un efecto claro en la duración del periodo de muda de los adultos de pingüinos de Magallanes en Isla Martillo (Figura 11). No existe una conexión clara entre la temperatura media y la duración del periodo de muda de los adultos. En cambio, la menor cantidad de precipitación durante la

estación reproductiva (verano) parece relacionarse con una duración del periodo de muda de adultos más corta; sin embargo, las barras de error de desviación estándar se superponen y es difícil asegurar el cambio en precipitación causó el cambio en la duración de la muda (Figura 11). Así que podría ser una tendencia de más lluvia relacionada con una duración de muda más larga (Figura 11).

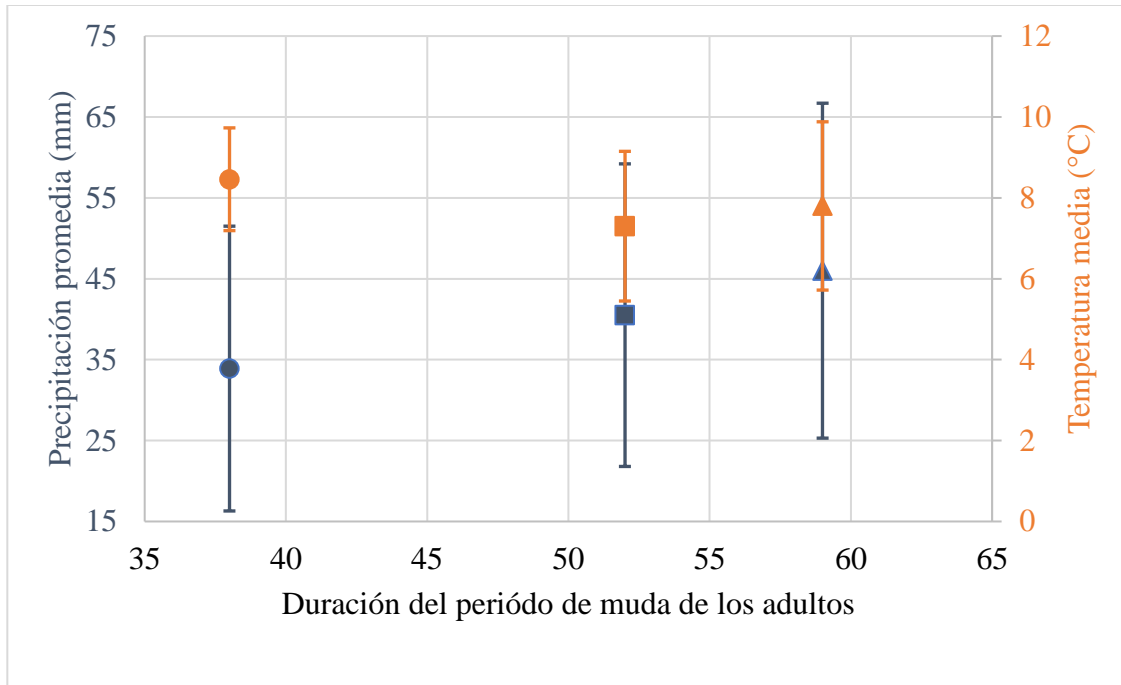


Figura 11: La duración del periodo de muda de los adultos de los Pingüinos de Magallanes en 3 estaciones reproductivas distintas y los valores promedios correspondientes de la precipitación total (mm) y temperatura media (°C) del verano durante cada estación reproductiva.

Precipitación está en el eje-y azul en la izquierda y temperatura está en el eje-y anaranjado a la derecha. Las temporadas reproductivas corresponden con los símbolos como sigue: ○ = 2016-17, ● = 2017-18, △ = 2018-19.

La Discusión

Los pingüinos pueden responder a cambios ambientales al ajustar el cronograma y momento de los periodos reproductivos y los eventos fenológicos específicos, como el inicio de la temporada y el comienzo, fin, y duración de los periodos de muda de los pichones y adultos. Entender las asociaciones entre la fenología y factores ambientales específicas es crítica para entender los mecanismos por los que las aves marinas responden al cambio climático y cambios ambientales más generales (Reed et al., 2009; Emmerson et al., 2011). Las condiciones ambientales pueden impactar sobre la fenología reproductiva de los pingüinos directamente por su influencia en las actividades de alimentación, la accesibilidad

a sitios reproductivos, y la disponibilidad de sitios de la nidificación (Emmerson et al., 2011). Por ajustar el horario de la cría cada año, los padres pueden asegurar la superposición óptima entre el periodo de energía-intensiva de la producción de la cría y el pico estacional en las condiciones ambientales favorables, así que aumentan sus oportunidades de criar los pichones (Reed et al., 2009). Aunque hay eventos en una escala grande que afectan a la fenología de los pingüinos de Magallanes en el océano austral (como el niño oscilación sur (ENSO) y el modo anular del sur (SAM)), elegí de usar variables climáticas más locales en mis analices porque los índices climáticos en escala grande tienen una influencia en la fenología de pingüinos por interactuar con condiciones ambientales locales, y como tal

los eventos grandes posiblemente no explican los detalles mecánicos importantes (Reed et al., 2009).

En este trabajo no se observa una tendencia clara entre las fechas del inicio de las estaciones reproductivas y la temperatura promedio del aire (°C) ni el nivel de precipitación (mm) durante el invierno antes de las estaciones reproductivas (Figura 9). Pero variaciones en las fechas del inicio de las temporadas reproductivas fueron notadas: el primer pingüino llegó en el 12 de septiembre en 2016, el 7 de septiembre en 2017, y el 11 de septiembre en 2018. La variabilidad interanual de llegadas de pingüinos podría ser un resultado de una combinación de condiciones ambientales locales variables y factores biológicos (Emmerson et al., 2011). Por ejemplo, los pingüinos de Adelia (*Pygoscelis adeliae*) en la Isla Béchervaise en Antártida llegaron más temprano a reproducir cuando las temperaturas máximas del aire fueron más bajas antes de sus llegadas (Emmerson et al., 2011). Sin embargo, en este trabajo examinamos las temperaturas promedios (no máximas); por lo tanto, posiblemente se debería evaluar si hay una correlación más clara con las temperaturas máximas o mínimas del aire de los últimos meses antes de la estación reproductiva (julio y agosto) de cada año y las fechas del inicio de la temporada reproductiva. Factores adicionales, como la habilidad del pingüino a lograr una condición adecuada antes de la estación reproductiva, tienen un efecto en las fechas del inicio de la misma, porque los padres que no pueden alcanzar esta condición reproductiva adecuada podrían permanecer en el mar y no intentar reproducir (Trathan et al., 1996), o podrían llegar en el sitio reproductivo en mal estado con una competencia inmune comprometida (Moreno

et al., 2001). Por consiguiente, hay otros efectos ambientales que deberían ser evaluados, como la temperatura superficial de mar y la temperatura máxima del aire, en los meses antes de la estación reproductiva, para probar si éstos podrían tener una correlación con los cambios vistos de las fechas del inicio de las temporadas reproductivas 2016-17, 2017-18, y 2018-19.

Con respecto al periodo de muda, podría existir una leve relación negativa entre el nivel de precipitación del verano durante las estaciones reproductivas y la duración del periodo de muda de los pichones. Se puede observar que cuando el nivel de precipitación aumentó, el número de días del periodo de muda de los pichones disminuyó, aunque las barras de error superponen y es difícil afirmar que la precipitación tenía un impacto en la duración del periodo (Figura 10). Sería necesario tener una serie temporal mas larga para poder analizar estadísticamente, tratar de confirmar el patrón observado, y buscar factores que puedan causar estas relaciones entre el nivel de precipitación y la duración de muda de los pichones, como una relación entre precipitación y la disponibilidad de alimento. En contraste a la duración del periodo de muda de los pichones, el periodo de muda de los adultos es más largo al aumentar las precipitaciones (Figura 11). Es llamativo que con menor precipitación total tenga el efecto opuesto en la duración del periodo de muda de los pichones y adultos durante la misma temporada. Posiblemente, lo que podría suceder es que, en las temporadas con largos periodos de muda de los pichones, los adultos estén compensando esto acortando su periodo de muda y finalizar la temporada mas temprano o similar a otras temporadas. De hecho, en relación con todos los días de la temporada reproductiva, la

porción del tiempo en que los pichones mudaron era 27.1%, 25.5%, y 24.5% de las estaciones 2016-17, 2017-18, y 2018-19, respectivamente (Tabla 3). Sin embargo, la porción del tiempo en que los adultos mudaron, siguiendo la misma cronología de las temporadas reproductivas, era 17.75%, 24.5%, y 28.36% de toda la temporada reproductiva (Tabla 3). Cuando los pichones tomaban más tiempo que el 25% de la estación reproductiva para mudar, los adultos tomaban menos que el 25% de la estación total (estaciones 2016-17 y 2018), mientras que cuando los pichones tomaban más que el 25% de la estación en total para mudar, los adultos tomaban más que el 25% de la temporada reproductiva para su periodo de muda (Tabla 3). Hay muchos factores biológicos y ambientales que podrían haber contribuido a esta relación entre de los periodos de muda de los pichones y adultos (Wolfaardt et al., 2009). Por ejemplo, el momento de la muda posiblemente podría verse limitado por la disponibilidad de recursos de alimentación (Paredes et al., 2002; Wolfaardt et al., 2009) ya que la misma es energéticamente costoso (Chambers et al., 2013). En el caso de los pingüinos azules (*Eudyptula minor*) en la Isla Phillip, los momentos de muda parecían ser previsible por las temperaturas oceánicas, con temperaturas del océano más altas en octubre (primavera) causando un comienzo de muda más temprano en el verano siguiente, que podría indicar los recursos de la presa relativamente más abundantes durante el periodo de pre-muda cuando se alimentan para ganar peso antes de la muda (Chambers et al., 2013). Esto ha sido observado en las colonias de pingüinos azules en Australia y Nueva Zelanda; así que sería interesante examinar si estas variables oceanográficas

podrían estar influenciando estos cambios observados en los periodos de muda de los pingüinos de Magallanes en Isla Martillo, Argentina.

En la estación reproductiva 2017-18, la nieve permaneció por más tiempo durante la estación reproductiva (hasta el diciembre) y los pichones comenzaron a mudar más tarde que en cualquier otro año (Tabla 2). Además, en esta temporada, la cantidad de nieve acumulada también fue mayor durante el invierno, el verano, y en todo el año que en todas las otras estaciones (Tabla 3). Es probable que los pichones durante la temporada 2017 muden más tarde ya que durante el mes de diciembre, momento en el que usualmente comienzan a mudar, aún había nieve y las temperaturas promedios fueron más bajas (ver Figura 4) que, por ejemplo, en el año 2018. Por lo tanto, los pichones necesitarían permanecer con el plumón más tiempo, permitiéndoles estar más abrigados. En contraste, en las otras estaciones, la cantidad de nieve fue menor durante la estación reproductiva y no hubo nieve en diciembre, entonces los pichones empezaron a mudar más temprano en estos años (Tablas 2 & 3). También, en la estación 2018-19, la temperatura ambiental fue más alta y la cantidad de precipitación fue más alta durante el verano y la duración del periodo de muda de los pichones era la más corta (Figura 10). Podría ser que los pichones mudaron más rápidamente cuando llovía más porque necesitaban obtener sus plumas impermeables y emanciparse de la isla más temprano para proteger su salud.

Aunque pude ver algunas tendencias entre las variables ambientales y las fechas y duraciones de la muda de pichones y adultos, hay más datos y métodos que se pueden explorar en el futuro con mayor

disponibilidad de tiempo. Por ejemplo, para poder ver más relaciones entre el inicio de la temporada y las variables ambientales, podría calcular la fecha mediana de la cantidad de individuos llegando a la isla. Podría hacer esto para explorar el promedio del número de pingüinos llegando por un periodo de tiempo fijo, buscar la distribución de pingüinos llegando, calcular la fecha del pico de las llegadas, y usar esta fecha para el comienzo cierto de cada estación reproductiva en vez de la fecha de llegada de solo el primer pingüino (Emmerson et al., 2011). Con este método, sacaría más información sobre el inicio cierto de la temporada reproductiva, porque usar la fecha de la llegada de un pingüino podría ser muy azaroso, en cambio tomar la mediana de las llegadas de muchos pingüinos podría ser una medida más robusta. También, necesito una serie de tiempo más larga, con más de tres estaciones reproductivas para analizar, para que pueda relacionar los datos fenológicos con eventos climáticos de gran escala, como anomalías en la temperatura superficial del mar. Además, con una serie de tiempo más larga, podría evaluar mis datos estadísticamente para apoyar las tendencias observadas y permitir observar patrones, si los hubiera, más claramente. Lo que es más, si redujera los periodos de los datos ambientales, (por ejemplo, usar los datos promedios de julio-agosto antes de cada estación reproductiva en vez de usar los 6 meses del invierno antes de cada estación), posiblemente podría ver una relación más clara con los datos fenológicos.

Sería interesante analizar las variaciones en los eventos fenológicos junto con variables oceanográficas, como la temperatura superficial del mar (SST), la productividad del océano, y el SAM (como dije anteriormente), porque estas variables

son usadas comúnmente para evaluar el efecto del cambio climático en las poblaciones de aves marinas (Saraux et al., 2011). Podría ver más patrones y tendencias en los datos si pudiera relacionarlos con estos datos ambientales, aunque vi algunas tendencias de los eventos fenológicos con la precipitación total y la cantidad de nieve. Con el uso de ArcGIS, podría usar los mapas de la temperatura de la superficie del mar para encontrar la temperatura promedio del mar cerca de Isla Martillo y entonces relacionar los SST con eventos fenológicos como el inicio de la temporada. Por otro lado, analizar las imágenes de más cámaras ubicadas en la isla, podría mejorar y darle más robustos a los datos fenológicos, ya que en este trabajo la mayoría del análisis de las fotos fue sacado de datos de una cámara ubicada en la zona experimental de Isla Martillo. El uso de sólo una cámara para sacar los datos posiblemente podría resultar en una falta de obtener las fechas exactas de los periodos de muda de los adultos y pichones, porque podría sacar conteos más precisos si pudiera calcular las fechas promedias de muda de múltiples lugares en la isla por cada estación.

En resumen, el trabajo de mi proyecto es muy importante porque el análisis de las fotos de las cámaras trampa de lapso de tiempo es una metodología nueva que nunca ha sido usado con los pingüinos de Magallanes en el pasado, en Isla Martillo ni en ningún otro lugar. Este método aunque es más complejo de utilizar en el pingüino de Magallanes y poder extraer información reproductiva de las imágenes, como la fecha de puesta de huevos o la fecha de eclosión de pichones, debido a que sus nidos están formados en la gran mayoría por cuevas profundas se ha demostrado, en este estudio, que se pueden estimar ciertos eventos

fenológicos en especies de pingüinos que anidan en cuevas. Este estudio es importante, además de aumentar el conocimiento y entender más sobre los cambios en la fenología de los pingüinos de Magallanes, porque estos datos proporcionan información sobre las respuestas de estas especies centinelas a los cambios climáticos. Las especies centinelas pueden indicar cuando y donde estos impactos de amplia escala ocurren, y pueden ayudar de identificar los umbrales físicos (o puntos de inflexión) cuando los procesos físicos traducen a las implicaciones en un plano grande para el ecosistema (Hazen et al., 2019). También, un entendimiento mejor de como los factores específicos a especie afectan la cronología y éxito reproductivo mejora nuestra habilidad de predecir como las poblaciones responderán al cambio climático (Reed et al., 2009). Por lo tanto, los pingüinos de Magallanes, como depredadores superiores, son muy importantes para estudiar cuales son sus respuestas a eventos y cambios climáticos, traducidos como cambios en su fenología y comportamiento, y como pueden tener implicaciones y efectos en cascada para la salud de todo el ecosistema. Necesitamos entender más sobre que causan y significan sus cambios fenológicos no sólo por su conservación, sino también por la conservación de todos los actores del ecosistema subantártico.

La Bibliografía

Ancel, A., Beaulieu, M., Gilbert, C. (2013). The different breeding strategies of penguins: a review. *Comptes Rendus Biologies*, 336:1–12.

Awowale, E. O. (2019). Population dynamics

of the Magellanic penguins. *School for International Training*, Ushuaia, Argentina: SIT Argentina: People, Environment, and Climate Change in Patagonia and Antarctica.

- Barbraud, C., & Weimerskirch, H. (2006). Antarctic birds breed later in response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(16), 6248-6251.
- Black, C. E. (2016). A comprehensive review of the phenology of Pygoscelis penguins. *Polar Biology*, 39(3), 405-432.
- Boersma, P.D., Rebstock, G.A., (2014). Climate change increases reproductive failure in Magellanic penguins. *Public Library of Science ONE*, 9:e85602.
- Boersma, P.D., Stokes, D.L., & Yorio, P.M. (1990) Reproductive variability and historical change of Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*) at Punta Tombo, Argentina. Pp. 15–43 in: DAVIS LS Y DARBY JT (eds) *Penguin biology*. Academic Press, San Diego.
- Bossart, G. D. (2006). Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Oceanography*, 19(2), 134-137.
- Both, C., Bouwhuis, S., Lessells, C. M., & Visser, M. E. (2006). Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature*, 441(7089), 81.

- Both, C., & Visser, M. E. (2001). Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature*, 411(6835), 296.
- Chambers, L. E., Dann, P., Cannell, B., & Woehler, E. J. (2014). Climate as a driver of phenological change in southern seabirds. *International journal of biometeorology*, 58(4), 603-612.
- Dodino, S., Hart, T., Harris, S., & Rey, A. R. (2018). Year-round colony attendance patterns for the Gentoo Penguin (*Pygoscelis papua*) at Martillo Island, Tierra del Fuego, Argentina. *The Wilson Journal of Ornithology*, 130(2), 493-501.
- Durant, J.M., Hjermmann, D.Ø., Anker-Nilssen, T., Beaugrand, G., Mysterud, A., Pettorelli, N., Stenseth, N.C. (2005). Timing and abundance as key mechanisms affecting trophic interactions in variable environments. *Ecology Letters*, 8:952–958.
- Forcada, J., & Trathan, P. N. (2009). Penguin responses to climate change in the Southern Ocean. *Global Change Biology*, 15(7), 1618-1630.
- Forrest J, Miller-Rushing A.J. (2010). Toward a synthetic understanding of the role of phenology in ecology and evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365:3101–3112.
- Gandini, P., Frere, E., & Boersma, P.D. (1996) Status and conservation of Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*) in Patagonia, Argentina. *Bird Conservation International* 6:307–316.
- Gaston, A.J. (2004). Seabirds: a natural history. Yale University Press, New Haven.
- Hinke, J. T., Barbosa, A., Emmerson, L. M., Hart, T., Juárez, M. A., Korczak-Abshire, M., ... & Southwell, C. (2018). Estimating nest-level phenology and reproductive success of colonial seabirds using time-lapse cameras. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(8), 1853-1863.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva, Switzerland: IPCC
- Liebezeit, J.R., Gurney, K.E.B., Budde, M., Zack, S., Ward, D. (2014). Phenological advancement in arctic bird species: relative importance of snowmelt and ecological factors. *Polar Biology*, 37:1309–1320.
- Lynch, H. J., Fagan, W. F., Naveen, R., Trivelpiece, S. G., & Trivelpiece, W. Z. (2012). Differential advancement of breeding phenology in response to climate may alter staggered breeding among sympatric pygoscelid penguins. *Marine Ecology Progress Series*, 454, 135-145.

- Krebs, J.R., Davies, N.B. (2009). Behavioural ecology: an evolutionary approach. Wiley, New York.
- Mallard, F., & Couderchet, L. (2019). Climate Sentinels Research Program: Developing Indicators of the Effects of Climate Change on Biodiversity in the Region of New Aquitaine (South West, France). In *Handbook of Climate Change and Biodiversity* (pp. 223-241). Springer, Cham.
- Moreno, J., Potti, J., Yorio, P., & Borboroglu, P. G. (2001, January). Sex differences in cell-mediated immunity in the Magellanic penguin *Spheniscus magellanicus*. In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 111-116). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Newbery, K. B., & Southwell, C. (2009). An automated camera system for remote monitoring in polar environments. *Cold Regions Science and Technology*, 55(1), 47-51.
- Paredes, R., Zavalaga, C. B., & Boness, D. J. (2002). Patterns of egg laying and breeding success in Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) at Punta San Juan, Peru. *The Auk*, 119(1), 244-250.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37:637–669.
- Piatt, J. F., Sydeman, W. J., & Wiese, F. (2007). Introduction: a modern role for seabirds as indicators. *Marine Ecology progress series*, 352, 199-204.
- Przybylo, R., Sheldon, B.C., Merila, J. (2000) Climatic effects on breeding and morphology: evidence for phenotypic plasticity. *Journal of Animal Ecology*, 69:395–403.
- Quiroga, D.R.A.; Coronato, A.; Scioscia, G.; Raya Rey, A.; Schiavini, A.; Santos González, J.; López, C.R.; Redondo Vega, J.M. Erosive Features promoted by a Magellanic penguin (*Spheniscus magellanicus*) colony on Matillo Island, Beagle Channel, Argentina. En revision en *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Reed, T. E., Wanless, S., Harris, M. P., Frederiksen, M., Kruuk, L. E., & Cunningham, E. J. (2006). Responding to environmental change: plastic responses vary little in a synchronous breeder. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1602), 2713-2719.
- Reed, T. E., Warzybok, P., Wilson, A. J., Bradley, R. W., Wanless, S., & Sydeman, W. J. (2009). Timing is everything: flexible phenology and shifting selection in a colonial seabird. *Journal of Animal Ecology*, 78(2), 376-387.

- Saraux, C., Le Bohec, C., Durant, J. M., Viblanc, V. A., Gauthier-Clerc, M., Beaune, D., ... & Le Maho, Y. (2011). Reliability of flipper-banded penguins as indicators of climate change. *Nature*, 469 (7329), 203.
- Scioscia, G. (2019, September 23). Aves Marinas, Centro Austral de Investigaciones Científicas, Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.
- Scioscia, G., Raya Rey, A. N., Favero, M., & Schiavini, A. C. M. (2010). Factores que afectan el éxito reproductivo y la calidad de la nidada del pingüino patagónico (*Spheniscus Magellanicus*) en el Canal Beagle, Tierra del Fuego, Argentina.
- Scioscia, G., Rey, A. R., & Schiavini, A. (2016). Breeding biology of Magellanic Penguins (*Spheniscus magellanicus*) at the Beagle Channel: interannual variation and its relationship with foraging behaviour. *Journal of Ornithology*, 157(3), 773-785.
- Southwell, C., & Emmerson, L. (2015). Remotely-operating camera network expands Antarctic seabird observations of key breeding parameters for ecosystem monitoring and management. *Journal for Nature Conservation*, 23, 1-8.
- Stokes, D. L., & Boersma, P. D. (1998). Nest-site characteristics and reproductive success in Magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus*). *The Auk*, 34-49.
- Trathan, P. N., Croxall, J. P., & Murphy, E. J. (1996). Dynamics of Antarctic penguin populations in relation to inter-annual variability in sea ice distribution. *Polar biology*, 16(5), 321-330.
- Wolfaardt, A. C., Underhill, L. G., & Visagie, J. (2009). Breeding and moult phenology of African penguins *Spheniscus demersus* at Dassen Island. *African Journal of Marine Science*, 31(2), 119-132.
- Zacharias, M. A., & Roff, J. C. (2001). Use of focal species in marine conservation and management: a review and critique. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 11(1), 59-76.

Los Appendices

Fases de la estación 2016-17	Variables ambientales promedias	
	HR (%)	Viento (km/h)
Invierno (<i>abril-sept. 2016</i>)	76.9 (\pm 5.0)	6.3 (\pm 1.1)
Verano (<i>sept. 2016-abril 2017</i>)	73.2 (\pm 3.48)	7.3 (\pm 1.86)
Todo el año (<i>abril. 2016-abril 2017</i>)	75.1 (\pm 4.14)	6.9 (\pm 1.69)

Fases de la estación 2017-18	Variables ambientales promedias	
	HR (%)	Viento (km/h)
Invierno (<i>abril-sept. 2017</i>)	75.7 (\pm 4.40)	6.0 (\pm 1.31)
Verano (<i>sept. 2017-abril 2018</i>)	67.5 (\pm 4.06)	7.9 (\pm 2.02)
Todo el año (<i>abril. 2017-abril 2018</i>)	71.1 (\pm 6.05)	7.0 (\pm 2.03)

Fases de la estación 2018-19	Variables ambientales promedias	
	HR (%)	Viento (km/h)
Invierno (<i>abril-sept. 2018</i>)	69.8 (\pm 2.00)	4.8 (\pm 0.90)
Verano (<i>sept. 2018-abril 2019</i>)	*	8.7 (\pm 2.31)
Todo el año (<i>abril. 2018-abril 2019</i>)	*	7.1 (\pm 2.80)

Tabla 4: Los datos ambientales promedios (humedad relativa y velocidad del viento) calculados por el invierno antes de cada temporada reproductiva (abril-septiembre), el verano durante cada temporada reproductiva (septiembre-abril), y un año total (abril-abril). Todos los valores son escritos en la forma de valore promedio (\pm desvío estándar). *Los promedios de humedad relativa (HR) no pudieron ser calculados porque los datos de 2019 de HR no están disponibles de CADIC-COCINET en este momento.