

RECRÍA *EX SITU* DEL MACÁ TOBIANO (*Podiceps gallardoi*) Y EL MACÁ PLATEADO (*Podiceps occipitalis*) COMO ESTRATEGIA FUNDAMENTAL PARA UNA ESPECIE CRÍTICAMENTE AMENAZADA

Gabriela T. Gabarain^{1,2,3*} , Laura Fasola^{1,3,4} , Patrick I. Buchanan^{1,3}  & Ignacio Roesler^{1,3,4,5} 

¹Proyecto Macá Tobiano / Programa Patagonia, Departamento de Conservación, Aves Argentinas. Matheu 1246, CABA (C1249 AAB), Argentina

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universidad de Buenos Aires. Instituto de Ecología Genética y Evolución de Buenos Aires (IEGEBA). Intendente Güiraldes 1260, Ciudad Universitaria, CABA (C1428EGA), Argentina

³Fundación Macá Tobiano. Calle 64 #620, La Plata (1900)

⁴Grupo de Conservación y Biodiversidad, Dpto. Análisis de Sistemas Complejos, Fundación Bariloche, CONICET. Av. Bustillo 9500, Bariloche (8400), Río Negro, Argentina

⁵EDGE of Existence Programme Affiliated (Zoological Society of London)

Dirección postal actual de Laura Fasola: Grupo de Conservación y Biodiversidad, Dpto. Análisis de Sistemas Complejos, Fundación Bariloche, CONICET. Av. Bustillo 9500, Bariloche (8400), Río Negro, Argentina

*ga.gabarain@gmail.com

RESUMEN: La pérdida de hábitat, el cambio climático y las especies exóticas invasoras han provocado la pérdida del 80% de la población del críticamente amenazado Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*). El Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*, preocupación menor) es una especie estrechamente relacionada que puede utilizarse como sustituto biológico. Como complemento a las acciones de conservación *in situ* desarrolladas durante más de una década, propusimos la recría *ex situ*, dado que el 97.4% de las nidadas abandona el segundo huevo. Dada la escasa información sobre la cría en cautiverio de macaes, evaluamos variables que podrían afectar la eclosión y la supervivencia de los pichones: la etapa de incubación al momento de la colecta, la duración del transporte, el protocolo de incubación (temperatura y humedad), la pérdida de peso diaria del huevo y la frecuencia de atención (alimentación y natación). Recolectamos e incubamos artificialmente huevos de Macá Tobiano y Macá Plateado durante cuatro temporadas. Logramos un 73% de eclosión. La mayor supervivencia de pichones de Macá Tobiano fue de 144 horas, y criamos de forma exitosa un individuo de Macá Plateado, el cual fue liberado después de 67 días. La duración del transporte, la pérdida de peso diaria del huevo, y el protocolo de incubación no afectaron el éxito de la eclosión. Los huevos colectados en las últimas etapas de incubación mostraron una mayor tasa de eclosión. Observamos mayor supervivencia con el protocolo de incubación de alta temperatura y humedad. Los pichones nacidos de huevos con > 1% de pérdida de peso diaria del huevo mostraron una mayor supervivencia. Lo mismo ocurrió con los pichones con cuidado más asiduo. Pudimos definir un protocolo de incubación apropiado. En el futuro, nos enfocaremos en determinar la frecuencia apropiada de cuidado y dieta. El bajo éxito reproductivo del Macá Tobiano en los últimos años urge la necesidad de acciones dirigidas a aumentar el reclutamiento anual de la población.

PALABRAS CLAVE: *biología reproductiva, cría en cautiverio, manejo ex situ, Macá Tobiano, Macá Plateado, Podiceps gallardoi, Podiceps occipitalis*

Los macaes (Podicipediformes) son uno de los grupos taxonómicos de aves de mayor preocupación para la conservación, ya que tres de las 23 especies

que lo conforman han sido declaradas extintas en las últimas tres décadas y otras cinco se encuentran actualmente amenazadas (BirdLife International 2023).

Además, la alteración del hábitat, la contaminación, la introducción de especies exóticas y el cambio climático provocan el rápido declive de las poblaciones de varias especies (Winkler et al. 2020). El Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) es un reproductor endémico de la provincia de Santa Cruz, Argentina, donde nidifica en lagunas de altura sobre mesetas basálticas en el oeste de la provincia. Durante el invierno, los Macaes Tobiños migran a los estuarios de la costa atlántica de los ríos Coyle, Gallegos y Chico–Santa Cruz (Imberti et al. 2020). A comienzos de la década de 1980, la población del Macá Tobiano fue estimada en 3000–5000 individuos (Fjeldsø 1986, Beltrán et al. 1992). Censos realizados entre 2010 y 2011 mostraron que en 25 años la población sufrió una disminución del 80% y un incremento de sus amenazas (especies exóticas invasoras y pérdida de sitios reproductivos debido al cambio climático), quedando solo c. 800 individuos (Roesler et al. 2012). En consecuencia, la especie fue categorizada globalmente como En Peligro Crítico en 2012 (BirdLife International 2023). En Argentina, también es considerada en peligro crítico (MAYDS y AA 2017). Las causas del declive incluyen la depredación de adultos y juveniles por el Visón Americano (*Neovison vison*), la destrucción de colonias por la Gaviota Cocinera (*Larus dominicanus*), y la competencia con la Trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), introducida en algunas lagunas (Roesler et al. 2012, Lancelotti et al. 2017, Fasola & Roesler 2018). Además, factores relacionados con el clima, como la disminución de las precipitaciones invernales (nevadas) y el aumento de la velocidad del viento, provocan el secado de las lagunas (Lancelotti et al. 2020), afectando la viabilidad de las colonias reproductivas.

Globalmente, el Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*) está categorizado como Preocupación Menor debido a que esta especie presenta un rango de distribución extremadamente amplio y un tamaño poblacional grande. Sin embargo, la tendencia poblacional general es decreciente, y la tendencia de algunas de sus poblaciones es desconocida (BirdLife International 2023). En Argentina, es considerada no amenazada (MAYDS y AA 2017). Es una especie estrechamente relacionada al Macá Tobiano, con hábitos de vida similares y que habita los mismos ambientes en la Patagonia austral (Fjeldsø 1983). Por esta razón, las amenazas que enfrenta la especie podrían ser similares. Además, los Macaes Tobiños y Plateados frecuentemente forman colonias mixtas, por lo que cualquier información generada a partir de una especie podría ayudar a comprender a la otra.

El manejo *ex situ* ha sido utilizado para beneficiar

los esfuerzos de conservación de especies amenazadas. Se han prevenido extinciones de especies y, para un número creciente de ellas, las restauraciones o introducciones de conservación han seguido a periodos de manejo *ex situ* (IUCN/SSC 2014). La incubación artificial de huevos extraídos del ambiente natural, la cría a mano de pichones y la posterior devolución de las aves a su hábitat nativo han sido incorporadas a la estrategia general de recuperación de especies en peligro, como el Cernícalo de Mauricio (*Falco punctatus*, Jones et al. 1995), el Fodi de Mauricio (*Foudia rubra*, Cristinacce et al. 2008), el Cóndor Californiano (*Gymnogyps californianus*, Kuehler & Whitman 1988) y el Cuervo Hawaiano (*Corvus hawaiiensis*, Kuehler et al. 1994). No obstante, las experiencias de recría *ex situ* en macaes son anecdóticas. Entre 1924 y 1933, el biólogo alemán Oskar Heinroth intentó en varias ocasiones criar individuos de *Podiceps cristatus*, pero nunca logró que los pichones sobrevivieran más de cuatro días (Hick 1966). Siguiendo su ejemplo, Hick (1966) incubó artificialmente huevos de la misma especie en 1962 y obtuvo pichones que también murieron al cuarto día de vida. Sin embargo, en 1963 logró criar dos individuos hasta volantones, aunque no se especifica la edad de supervivencia. También trabajando con *Podiceps cristatus*, Kop (1972) obtuvo dos individuos a partir de cinco huevos recolectados en el campo e incubados artificialmente, que vivieron 11 días, y tres individuos que vivieron 61, 72 y 73 días. Herman incubó artificialmente tres huevos de *Aechmophorus occidentalis* en 1974 y recolectó tres pichones en el campo. Los seis pichones fueron criados satisfactoriamente hasta al menos cuatro meses de edad; dos fueron liberados a los 14-15 meses de edad (MacVean 1988). Ratti crió exitosamente siete individuos de *Aechmophorus clarkii* a partir de huevos recolectados en el campo hasta las 9-12 semanas de edad en 1977 (MacVean 1988). Nuechterlein (1981) incubó dos huevos abandonados de Macá Tobiano tras el nacimiento del primer pichón y logró que uno eclosionara, sobreviviendo hasta los cuatro días de edad. En 1986, en el marco de un plan para conservar al hoy extinto *Podilymbus gigas* (Macá de Atitlán), MacVean (1988) crió exitosamente cinco individuos de Macá Pico Grueso (*Podilymbus podiceps*) a partir de 20 huevos recolectados en el campo e incubados artificialmente, obteniendo pichones de dos, 20 y 60 días de edad, y de 14-16 meses. En este último caso, la estrategia mostró un potencial extremadamente alto, pero, lamentablemente, no fue continuada y la especie se extinguió (Hunter 1988). Algunos de estos trabajos no brindan una descripción detallada de la metodología empleada. Otros son altamente detalla-

dos, pero no resultan adecuados para trabajar con especies de hábitats muy diferentes a los del Macá Tobiano. En cualquier caso, constituyen la base para la creación de protocolos experimentales de trabajo para otras especies de macaes.

Desde 2011, el 'Proyecto Macá Tobiano' (Aves Argentinas/BirdLife International) viene realizando esfuerzos *in situ* para conservar la población del Macá Tobiano a corto plazo (Roesler et al. 2018). Este proyecto incluye acciones para proteger las colonias mediante los 'guardianes de colonia' (*i.e.*, técnicos especializados que acampan en las colonias para vigilar y proteger los nidos de los depredadores; ver Roesler et al. 2016). Además, existe un componente de control de especies exóticas invasoras orientado a prevenir la depredación de adultos, maximizar el reclutamiento estacional y restaurar sitios reproductivos (Roesler et al. 2018). Estos esfuerzos han sido exitosos en detener el declive poblacional; sin embargo, debido al bajo éxito reproductivo de las temporadas recientes, la población está volviendo a disminuir (Roesler et al. 2025).

Como complemento de las acciones *in situ*, propusimos una estrategia a largo plazo de recría *ex situ* de individuos a partir de huevos 'ecológicamente perdidos' (*i.e.*, huevos que no eclosionan en la naturaleza). Esto es posible debido a la estrategia única del Macá Tobiano en comparación con otros macaes (Fjeldså 1986), ya que el 97.4% de las parejas reproductivas cría un solo pichón y abandona el segundo huevo tras la eclosión del primero (Roesler 2016). La recría *ex situ* del segundo huevo y la liberación de estos individuos podría duplicar el reclutamiento por temporada. Además, varias colonias son destruidas por vientos fuertes, por lo que sería posible recuperar todos los huevos antes de que esto ocurra. Asimismo, dado el estado precario de otras especies de macaes, el desarrollo de técnicas de recría *ex situ* podría resultar útil en futuros esfuerzos de recuperación poblacional.

Nuestro objetivo es generar conocimiento teórico y práctico para el desarrollo de un programa de recría *ex situ* del Macá Tobiano, con el fin de aumentar el número de juveniles que sobreviven hasta la migración (*i.e.*, incrementar el reclutamiento por temporada) mediante la recuperación de huevos ecológicamente perdidos. Debido al bajo éxito reproductivo de la especie en los últimos años, utilizamos al Macá Plateado como especie sustituta cuando no hubo disponibilidad de huevos de Macá Tobiano. Nuestros objetivos de investigación fueron desarrollar un método para la obtención de pichones a partir de huevos recolectados en las lagunas, abarcando la recolección, el transporte, la incubación y la eclosión. Adicionalmente, crear un

protocolo para la recría *ex situ* de los pichones hasta que sean juveniles, incluyendo variables ambientales, de manejo y de alimentación.

Para evaluar el efecto sobre la eclosión, comparamos el período de incubación considerando el momento de recolección de los huevos, la duración del transporte entre las lagunas y las instalaciones de recría *ex situ*, cinco protocolos de incubación (con diferencias en temperatura y humedad) y la pérdida diaria de peso del huevo durante la incubación artificial. Para evaluar los factores que influyen en el tiempo de supervivencia de los pichones, analizamos los cinco protocolos de incubación, las variaciones en la pérdida diaria de peso del huevo durante la incubación, las opciones de alimento y la frecuencia de alimentación y nado de los pichones. Aquí presentamos los resultados de las experiencias iniciales en la cría del Macá Tobiano y del Macá Plateado, junto con una evaluación de las variables que afectan el éxito de eclosión y la supervivencia de los pichones.

MÉTODOS

Área de estudio

Entre 2015 y 2020 trabajamos en el área reproductiva del Macá Tobiano en el oeste de la provincia de Santa Cruz, Patagonia, Argentina, particularmente en las mesetas del lago Buenos Aires y del lago Strobel (Fig. 1). Pudimos trabajar en cuatro temporadas reproductivas (diciembre-abril), dado que en algunos años no se registró la presencia de colonias reproductivas. La primera estación de cría se ubicó en la Estancia Laguna Verde Fishing Lodge (48°30'S, 71°14'O), en el área central de la meseta del lago Strobel, donde nos instalamos en un contenedor con un amplio rango térmico. Allí criamos macaes durante tres temporadas (2015–2016, 2016–2017, 2017–2018). En nuestra última temporada (2019–2020), desarrollamos una estación de recría *ex situ* completamente equipada en la Estación Biológica Juan Mazar Barnett (EBJMB – Aves Argentinas; 47°14'S, 71°11'E). Este sitio fue acondicionado con aislamiento térmico en el techo y las paredes, lo que permitió mantener una temperatura ambiente estable entre 15 y 20°C. Esto representó una mejora significativa para el funcionamiento de las incubadoras. Recolectamos huevos de Macá Tobiano y Macá Plateado en cinco lagunas: Rodríguez 9, Rodríguez 19, LA4 (meseta del lago Buenos Aires, Fig. 1B) y las lagunas Ocho y Nueve (meseta del lago Strobel, Fig. 1C).

Recolección y transporte de huevos

Como parte de las actividades del Proyecto Macá

Tobiano, monitoreamos en cada temporada reproductiva las lagunas donde pueden formarse colonias, buscando nidos. Cuando localizamos una colonia, una persona es asignada como 'guardián' y permanece en el sitio para protegerla y registrar la fecha de puesta de los huevos (*i.e.*, cuando los huevos son visibles en el nido), marcando el inicio de la incubación. Para la recría *ex situ*, intentamos recolectar los huevos luego de más de 15 días de incubación natural, pero si existía riesgo de perderlos debido a una tormenta de viento, los recolectábamos antes.

Para recolectar los huevos utilizamos un bote inflable a remo para dos personas (Roesler 2016). Una persona remaba mientras la otra retiraba los huevos del nido (Fig. 2A). Recolectamos uno de los dos huevos de cada nido. El acercamiento a la colonia siempre se realizó contra el viento y nunca llevó más de 10 min. Todas las colonias fueron monitoreadas antes y después de la recolección para detectar posibles efectos adversos de nuestra intervención, y el éxito reproductivo no varió. Transportamos los huevos en cajas térmicamente aisladas con una fuente de calor (bolsas de agua caliente a 55-60°C), separadas de los huevos

mediante algodón. Con este rango de temperatura del agua, mantuvimos la temperatura interna de la caja entre 25 y 30°C durante todo el traslado. Luego, los huevos fueron clasificados según el tiempo de transporte (desde la laguna hasta el centro de recría) y el estadio de incubación al momento de la recolección. Definimos tres grupos según la duración del transporte: <1 h, 1-3 h y >3 h. También definimos tres grupos de estadios de incubación (1-7 días, 8-14 días, 15-21 días) en base al período típico de incubación del Macá Tobiano (20-21 días; Roesler 2016), y asumimos el mismo período para el Macá Plateado. En algunos casos, la asignación de las fechas de puesta se basó en información obtenida por observación directa de los 'guardianes de colonia', cuando la colonia fue detectada antes de la puesta. En otros, se estimó a partir de las fechas de monitoreo de las lagunas (*i.e.*, la laguna fue visitada y no había colonia, y posteriormente, durante otro monitoreo, se encontró una colonia) y del número de días de incubación artificial de los huevos hasta la eclosión. En este último caso, consideramos la fecha de puesta como 21 días antes del día de eclosión, aunque el transporte y la incubación artificial

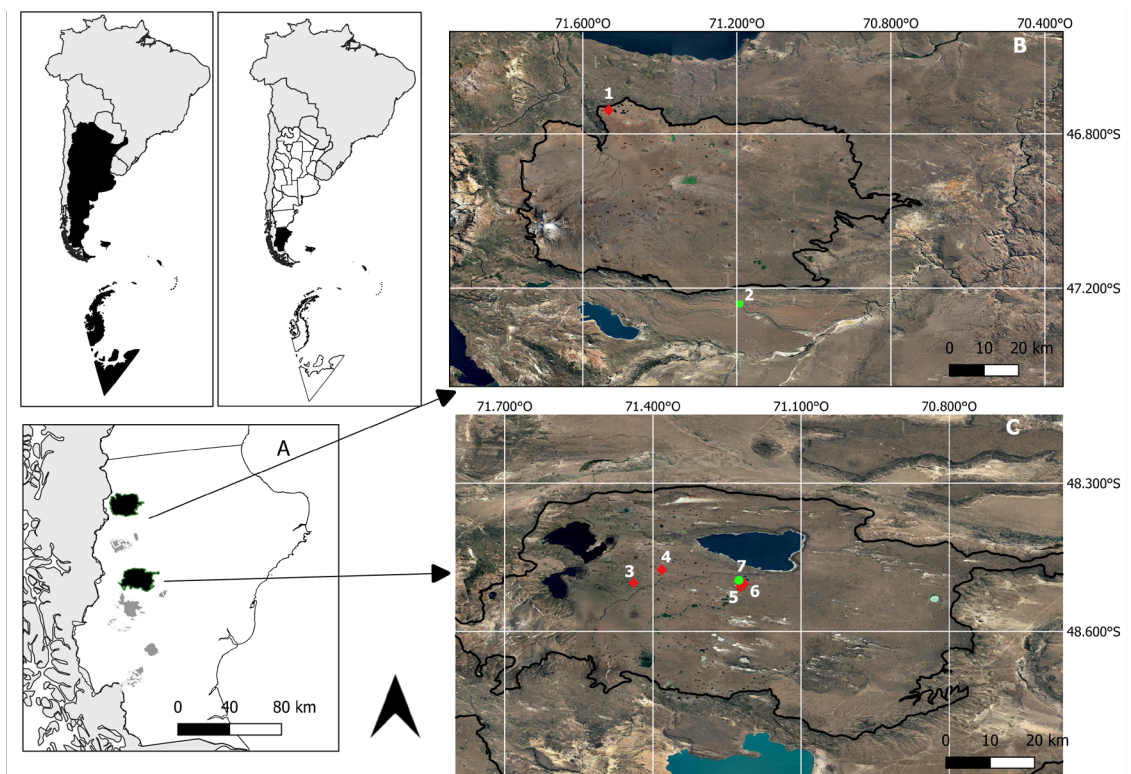


Figura 1. Área de estudio en la provincia de Santa Cruz, Argentina: A) Área de estudio mostrando las mesetas importantes: en negro, mesetas cubiertas en este estudio; en gris, otras mesetas importantes para el Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*). B) En la Meseta del Lago Buenos Aires, ubicación de las lagunas (rombos rojos) donde recolectamos huevos y de los sitios de recría *ex situ* (puntos verdes): 1 = LA4, 2 = Estación Biológica Juan Mazar Barnett. C) En la Meseta del Lago Strobel, ubicación de las lagunas (rombos rojos) donde recolectamos huevos y de los sitios de recría *ex situ* (puntos verdes): 3 = Rodríguez 19, 4 = Rodríguez 9, 5 = Nueve, 6 = Ocho, 7 = Laguna Verde.

pueden prolongar el tiempo hasta la eclosión.

Incubación artificial de huevos

Una vez en las instalaciones de cría, marcamos los huevos con un número de identificación utilizando un lápiz sobre la cáscara, los pesamos, y los colocamos horizontalmente en una incubadora (Fig. 2B). Luego de 12 h, verificamos mediante ovoscopia (*i.e.*, iluminación de huevos con una fuente de luz para observar su interior) la viabilidad de los huevos y los medimos (largo y ancho). Esperamos 12 h para permitir que los huevos se estabilizaran tras el transporte. Si se encontraba algún huevo no viable, se descartaba; sin embargo, este no fue el caso.

Probamos cinco protocolos de temperatura/humedad aplicados a los diferentes lotes de huevos obtenidos por temporada. Debido a la variabilidad en el número de nidos entre temporadas, no fue posible mantener un diseño experimental balanceado. Comenzamos con un protocolo estándar de incubación utilizado en especies domésticas de aves, que funciona bien en muchas especies no domésticas (Gage & Duerr 2007): alta temperatura-alta humedad ($37.1\text{--}37.5^{\circ}\text{C}/65\text{--}70\%$; $n = 12$) en la temporada 2015/2016. Debido al bajo tiempo de supervivencia de los pichones de Macá Tobiano, planteamos la hipótesis de que una temperatura de incubación más baja podría aumentar el tiempo de incubación y producir pichones

más fuertes. Por lo tanto, en la temporada siguiente (2016/2017) probamos simultáneamente dos protocolos: uno de baja temperatura-alta humedad ($34.5\text{--}34.8^{\circ}\text{C}/65\text{--}70\%$; $n = 7$) y otro de temperatura intermedia-alta humedad ($36.5\text{--}36.8^{\circ}\text{C}/65\text{--}70\%$; $n = 4$), pero los pichones eclosionaron inmaduros y débiles (*i.e.*, con el ombligo abierto, el plumón dorsal incompleto y los ojos cerrados). Luego, dado el ambiente árido en que habita el Macá Tobiano, quisimos evaluar una disminución de la humedad. Así, también durante la temporada 2016/2017 utilizamos un protocolo de baja temperatura-baja humedad ($34.5\text{--}34.8^{\circ}\text{C}/35\text{--}40\%$; $n = 4$), con resultados no favorables. Finalmente, en la temporada 2017/2018 probamos un protocolo de alta temperatura-baja humedad ($37.1\text{--}37.5^{\circ}\text{C}/35\text{--}40\%$; $n = 12$). Dado que, de manera subjetiva, obtuvimos los pichones más fuertes en el primer intento, decidimos volver al protocolo de alta temperatura-alta humedad en la temporada 2019/2020 ($n = 5$). Tuvimos problemas técnicos con el protocolo de temperatura intermedia-alta humedad: la nacedora (incubadora con menor temperatura) se rompió y los huevos sufrieron una caída abrupta de temperatura (casi 2°C).

Diariamente, pesamos los huevos (precisión de la balanza 0.01 g) para calcular la pérdida diaria de peso (Fig. 2C). Definimos tres intervalos de pérdida de peso del huevo: intervalo 1 ($0.6\text{--}0.9\%$), intervalo 2 ($1.0\text{--}1.3\%$) e intervalo 3 ($1.4\text{--}1.7\%$). Cada tres días, realizamos ovoscopías de los huevos para observar



Figura 2. Metodología de trabajo utilizada para el Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) y el Macá Plateado (*P. occipitalis*): A) Recolección de huevos, B) Incubación, C) Pesaje de huevos, D) Alimentación manual de pichones, E) Sesión de natación, F) Alimentación independiente de pichones en piletas más grandes.

el desarrollo embrionario. Durante los últimos 2-3 días, una vez que los embriones picaron la cámara de aire, los transferimos a una nacedora. La nacedora se mantuvo siempre 0.5°C más fría que la incubadora en cada protocolo.

Cría de pichones

Tras la eclosión, cada pichón permaneció en la nacedora durante dos horas para secar el plumón antes de ser trasladado a una caja de cría (*i.e.*, un contenedor con una fuente de calor inferior). Esta se mantuvo a 36-37°C, similar a la temperatura del dorso de los macaes (Roesler 2016). Diariamente, los pichones fueron pesados (0.01 g), alimentados (Fig. 2D) y colocados en una pileta (Fig. 2E) para beber y defecar.

Creamos cuatro escenarios de cuidado diurno y nocturno, basados en el intervalo entre comidas, y uno sin alimentación nocturna, aplicados según el número de pichones obtenidos por temporada. La diferencia entre tratamientos radicó en la frecuencia de alimentación nocturna. Los pichones fueron alimentados cada hora durante el día (06:00–22:00 h) y cada una, dos o cuatro horas durante la noche (escenarios de una, dos y cuatro horas, respectivamente). Además, utilizamos un tratamiento que no incluyó alimentación nocturna (escenario sin alimentación). Dado que los macaes necesitan estar en el agua para defecar y ejercitarse (Gage & Duerr 2007), la alimentación siempre estuvo acompañada por una sesión de nado. En el ‘escenario sin alimentación’, los pichones pasaron por la pileta una vez durante la noche para estimular la defecación, siguiendo a MacVean (1988). Los primeros escenarios también se basaron en el trabajo de MacVean (1988). Luego, los protocolos fueron adaptados de acuerdo con los resultados o percepciones obtenidas a lo largo de las temporadas. Durante las primeras dos semanas, los pichones fueron alimentados con pinzas. Posteriormente, comenzaron a capturar presas vivas (anfípodos) en la pileta, lo que es consistente con su comportamiento alimentario natural. Durante la primera semana, los pichones fueron colocados en el agua solo el tiempo suficiente para estimular la defecación (15-30 s). Luego de la primera semana, el tiempo de permanencia en el agua se incrementó gradualmente. Los pichones fueron retirados de la pileta cuando mostraron signos de estrés (*i.e.*, vocalizaciones, inquietud). Tras cuatro semanas, el único pichón vivo permaneció todo el día en el agua y solo fue retirado de la pileta durante la noche. La pileta fue suplementada con presas vivas (anfípodos) recolectadas en las lagunas. Luego de siete semanas, tras la primera transición de plumaje,

permaneció siempre en la pileta. Durante la primera semana utilizamos una batea plástica pequeña (40 cm × 25 cm × 10 cm). En la segunda semana, usamos una batea plástica de 70 cm × 40 cm × 20 cm. Luego de tres semanas, colocamos al pichón en una pileta más grande (1,30 m × 0,95 m × 0,40 m, Fig. 2F). El agua utilizada para llenar las piletas provenía de ríos locales a través del sistema de canales de las estancias. Dado que es una especie gregaria, colocamos espejos en la pileta y en la caja de cría para simular la presencia de otros individuos. Para definir la edad mínima de liberación, consideramos que debía ser mayor a un mes, ya que los juveniles suelen independizarse de sus padres aproximadamente a esa edad (Roesler 2016). También consideramos que hubieran completado la primera transición de plumaje, que ocurre entre las seis y siete semanas de vida. Utilizamos tres opciones de alimento, aplicadas según los pichones obtenidos y la disponibilidad de alimento por temporada: alimento balanceado hipoalérgico para gatos y truchas (2015/2016), anfípodos recolectados en las lagunas (2015/2016–2016/2017–2017/2018–2019/2020) y larvas de quironómidos rehidratadas con agua (2019/2020). También ofrecimos plumas a todos los pichones (Roesler 2016, Storer 1961). Realizamos una necropsia a todos los pichones muertos para determinar la causa de la muerte.

Análisis de datos

Consideramos como variables respuesta el éxito de eclosión (*i.e.*, si el huevo eclosionó) y el tiempo de supervivencia (en horas) de los pichones hasta los 15 días de vida (360 h) o hasta su muerte. Consideramos la supervivencia hasta los 15 días porque, a esa edad, los pichones son menos dependientes del cuidado externo (*e.g.*, forrajean por sí mismos y permanecen más tiempo en el agua). Para evaluar los efectos del estadio de incubación al momento de la recolección, la duración del transporte y el protocolo de incubación sobre el éxito de eclosión, ajustamos modelos lineales generalizados con distribución binomial y función de enlace logit. Probamos modelos univariados con las tres variables predictoras, así como la interacción entre los días de incubación natural y el tiempo de traslado. Para este análisis utilizamos únicamente huevos de Macá Tobiano. La selección de modelos se realizó mediante el Criterio de Información de Akaike Corregido (AICc). Los supuestos fueron evaluados utilizando el paquete estadístico *DHARMa* (Harting 2024). Para comparar la pérdida diaria de peso entre huevos eclosionados y no eclosionados, realizamos una prueba U de Mann–Whitney. Evaluamos los

efectos del protocolo de incubación, la pérdida diaria de peso del huevo y la frecuencia de cuidado de los pichones sobre el tiempo de supervivencia temprana mediante análisis de supervivencia de Kaplan–Meier y utilizamos la prueba de log-rank para las comparaciones entre grupos. Comparamos la supervivencia de pichones con alimentación nocturna versus aquellos sin alimentación nocturna mediante una prueba U de Mann–Whitney. Consideramos dentro del grupo sin alimentación nocturna a los pichones que recibieron solo una alimentación nocturna, ya que pensamos que un intervalo de cuatro horas es muy largo, en concordancia con las observaciones en lagunas (Roesler 2016). Todos los análisis se realizaron en R 4.1.0 (R Core Team 2021).

RESULTADOS

Recolectamos un total de 45 huevos en nueve eventos de colecta, que comprendieron 42 huevos de Macá Tobiano y tres huevos de Macá Plateado. Un huevo de Macá Tobiano se rompió durante la medición y fue descartado. No detectamos huevos inviables mediante ovoscopia. La longitud media de los huevos de Macá Tobiano fue de 4.58 ± 0.18 cm (rango = 4.20–5.10 cm; $n = 41$); el ancho medio de los huevos de Macá Tobiano fue de 3.08 ± 0.07 cm (rango = 2.90–3.20 cm; $n = 41$). La longitud media de los huevos de Macá Plateado fue de 4.33 ± 0.32 cm (rango = 4.10–4.70 cm; $n = 3$); el ancho medio de los huevos de Macá Plateado fue de 2.90 ± 0.10 cm (rango = 2.80–3.00 cm; $n = 3$).

Éxito de eclosión

De los 44 huevos, siete (Macá Tobiano) fueron recolectados durante el primer período de incubación

(1–7 días), 17 (Macá Tobiano) fueron recolectados durante el segundo período de incubación (8–14 días) y 15 (12 Macá Tobiano / 3 Macá Plateado) fueron recolectados durante el tercer período de incubación (15–21 días). Cinco huevos de Macá Tobiano no pudieron ser clasificados porque no eclosionaron; por lo tanto, no pudimos retroceder para estimar el día de puesta (sin evidencia a partir de observaciones de la colonia). El peso medio de los huevos de Macá Tobiano para el primer período de incubación fue de 23.70 ± 1.80 g (rango = 20.41–26.44 g; $n = 7$), para el segundo período de incubación fue de 21.98 ± 1.54 g (rango = 18.87–24.42 g; $n = 17$) y para el tercer período de incubación fue de 21.40 ± 1.51 g (rango = 19.24–24.37 g; $n = 12$). El peso medio de los huevos de Macá Plateado, todos obtenidos en el tercer período de incubación, fue de 18.26 ± 1.77 g (rango = 17.00–20.28 g; $n = 3$). La tasa de eclosión para todos los huevos fue del 73% (32/44) - 57% (4/7) para los huevos recolectados en el primer tercio de incubación, 82% (14/17) en el segundo y 93% (14/15) en el tercero (Fig. 3). Documentamos tiempos de transporte que variaron entre 16 min y nueve h. Para analizar el efecto del protocolo de incubación sobre la eclosión, descartamos los huevos incubados con el protocolo de temperatura media–alta humedad ($n = 4$). La asignación de huevos entre los otros cuatro protocolos fue la siguiente: siete huevos (baja temperatura–alta humedad), cuatro huevos (baja temperatura–baja humedad), 17 huevos (alta temperatura–alta humedad) y 12 huevos (alta temperatura–baja humedad).

A fin de evaluar el efecto de las variables sobre el éxito de eclosión, y utilizando el AICc con una corrección para tamaños de muestra pequeños para la selección de modelos, el modelo univaria-

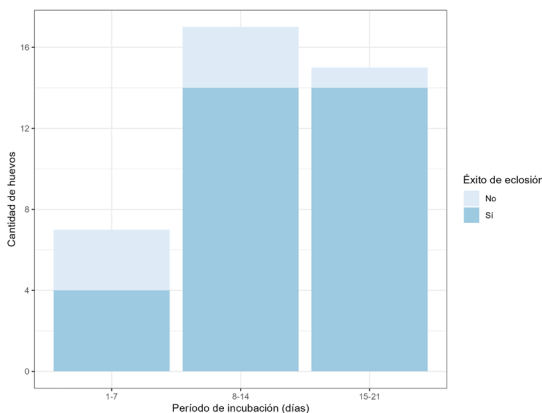


Figura 3. Éxito de eclosión de huevos de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) y Macá Plateado (*P. occipitalis*) en función del período de incubación durante el cual fue recolectado el huevo.

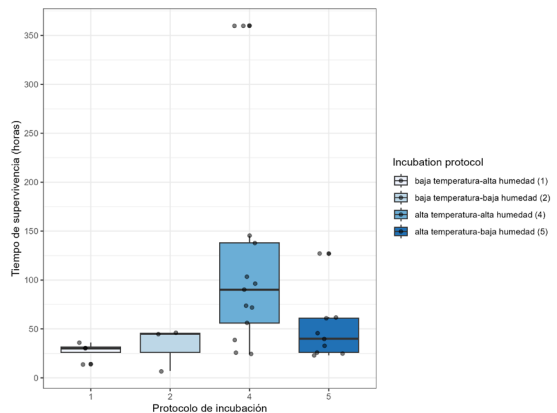


Figura 4. Gráfico realizado a partir de datos crudos que muestra el tiempo de supervivencia de pichones de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) y Macá Plateado (*P. occipitalis*) según el protocolo de incubación.

do con la variable predictora días de incubación natural al momento de la recolección (numérica) fue seleccionado como el mejor modelo (peso relativo = 0.69, Tabla 1). Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas ($Z = 0.688$, $p < 0.491$). La pérdida media diaria de peso del huevo durante la incubación fue de 1.05 ± 0.35 % (rango = 0.31-1.61%; $n = 44$). No detectamos diferencias significativas en la pérdida de peso entre huevos eclosionados y no eclosionados ($U = 266$, $df = 1$, $p = 0.673$).

Supervivencia en la etapa inicial

De los 44 huevos, 32 eclosionaron (*i.e.*, 73%; 29 Macá Tobiano, 3 Macá Plateado). El peso promedio al nacer para el Macá Tobiano fue de 14.91 ± 0.85 g (rango = 12.96–16.29 g; $n = 29$) y de 12.28 ± 1.40 g (rango = 11.33–13.88 g; $n = 3$) para el Macá Plateado. El tiempo medio de supervivencia fue de 54.90 ± 35.94 h (rango = 7.00–145.00 h; $n = 29$) para el Macá Tobiano y de 274.33 ± 148.38 h (rango = 103.00–360.00 h; $n = 3$) para el Macá Plateado. Dos individuos de Macá Plateado vivieron más de 15 días; uno murió al día ~15 (362 h) y otro fue liberado exitosamente después de 67 días (1608 h).

El tiempo medio de supervivencia según el protocolo de incubación fue de 27.50 ± 9.43 h (rango = 14.00–36.00 h; $n = 4$) para el protocolo de baja temperatura–alta humedad; 32.67 ± 22.23 h (rango = 7.00–46.00 h; $n = 3$) para el protocolo de baja temperatura–baja humedad; 121.77 ± 112.18 h (rango = 24.00–360.00 h; $n = 13$) para el protocolo de alta temperatura–alta humedad; y 49.22 ± 32.64 h (rango = 23.00–127.00 h; $n = 9$) para el protocolo de alta temperatura–baja humedad (Fig. 4). El análisis de supervivencia de Kaplan-Meier determinó que existieron diferencias estadísticamente significativas en la supervivencia entre los distintos protocolos ($\chi^2 = 14.3$, $df = 3$, $p = 0.003$; Fig. 5). Las comparaciones *post hoc* utilizando la corrección de Bonferroni detectaron una mayor supervivencia de los pichones incubados con el protocolo de alta temperatura–alta humedad en comparación con el protocolo de baja temperatura–alta humedad ($\chi^2 = 9.3$, $df = 1$, $p = 0.013$). La mayoría de los pichones criados bajo los protocolos de incubación de baja temperatura–alta humedad (75%) y baja temperatura–baja humedad (100%) nunca comenzaron a alimentarse, mientras que pocos pichones en los protocolos de alta temperatura–alta humedad (15%) y alta temperatura–baja humedad (22%) nunca comenzaron a alimentarse (Fig. 6).

El tiempo medio de supervivencia según la pér-

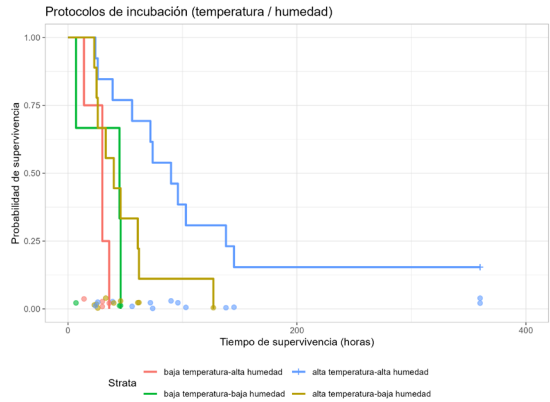


Figura 5. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier que comparan la probabilidad de supervivencia de pichones eclosionados a partir de huevos incubados con diferentes protocolos de temperatura y humedad. Las líneas de censura representan pichones que no murieron antes de los 15 días de edad.

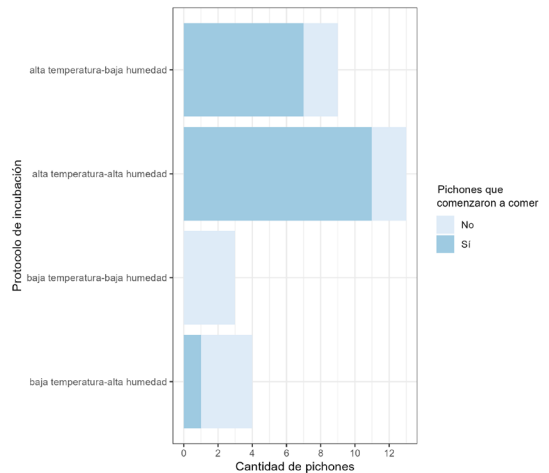


Figura 6. Proporción de pichones de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) y Macá Plateado (*P. occipitalis*) que nunca comenzaron a alimentarse según los distintos protocolos de temperatura y humedad.

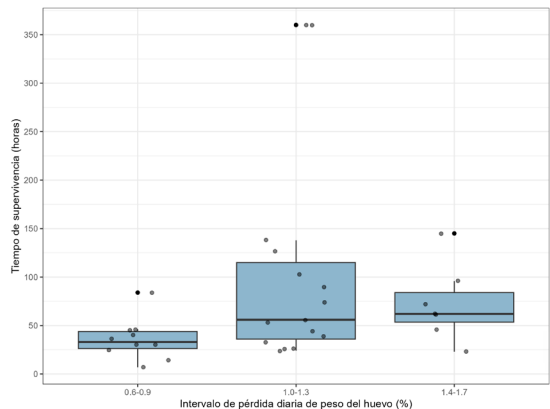


Figura 7. Gráfico realizado a partir de datos crudos que muestra el tiempo de supervivencia de pichones de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) y Macá Plateado (*P. occipitalis*) según el intervalo de pérdida diaria de peso del huevo.

Tabla 1. Valores del análisis de selección de múltiples modelos (AICc) del efecto del estadio de incubación al momento de la recolección, la duración del transporte y el protocolo de incubación sobre el éxito de eclosión, incluyendo los modelos global y nulo. Variables: Días_col: días de incubación natural al momento de la recolección, Días_trans: duración del transporte de los huevos desde los lagos hasta las instalaciones de recría, incubación: protocolo de incubación.

Intercep.	Días_col	Transp_dur	Incubación	Días_trans	df	logLik	AICc	Delta	Peso
0.549	0.068				2	-19.081	42.5	0	0.689
3.636	-0.177	-0.008		0.001	4	-17.432	44.2	1.73	0.291
1.115		-0.002			2	-23.295	50.9	8.42	0.01
0.882					1	-24.786	51.7	9.16	0.007
0.288			+		4	-22.153	53.6	11.04	0.003

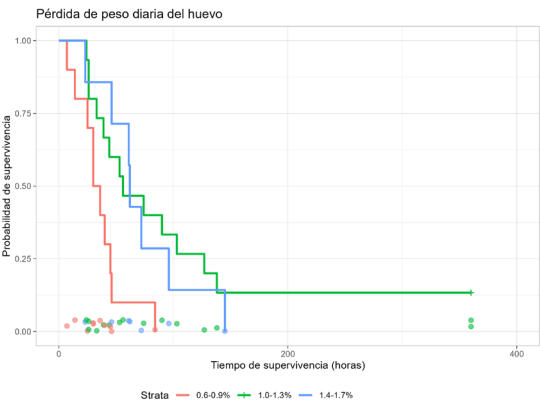


Figura 8. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier que comparan la probabilidad de supervivencia de pichones de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) y Macá Plateado (*P. occipitalis*) eclosionados a partir de huevos con diferente pérdida de peso del huevo. Las líneas de censura representan pichones que no murieron antes de los 15 días de edad.

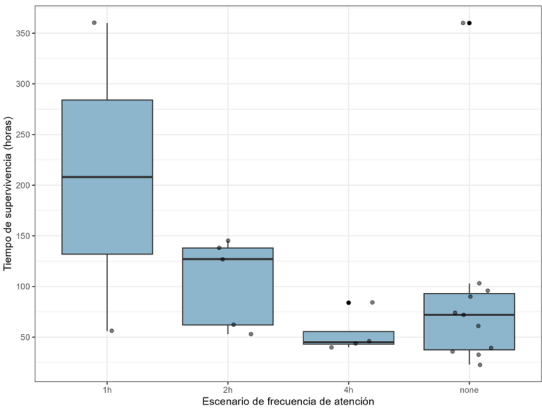


Figura 9. Gráfico realizado a partir de datos crudos que muestra el tiempo de supervivencia de pichones de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) y Macá Plateado (*P. occipitalis*) según el escenario de frecuencia de cuidado de pichones.

dida diaria de peso del huevo fue de 35.70 ± 21.13 h (rango = 07.00–84.00 h; $n = 10$) para el intervalo 1, 103.53 ± 110.26 h (rango = 24.00–360.00 h; $n = 15$) para el intervalo 2 y 72.14 ± 39.16 h (rango = 23.00–145.00 h; $n = 7$) para el intervalo 3 (Fig. 7). El análisis de supervivencia de Kaplan-Meier determinó que existieron diferencias estadísticamente significativas en la supervivencia entre los grupos ($\chi^2 = 8.9$, $df = 2$, $p = 0.012$; Fig. 8). Las comparaciones post hoc utilizando la corrección de Bonferroni detectaron una menor supervivencia de los pichones del grupo 1 en comparación con el grupo 2 ($\chi^2 = 6.5$, $df = 1$, $p = 0.032$).

El tiempo medio de supervivencia según la frecuencia de cuidado de los pichones fue: 208.00 ± 214.96 h (rango = 56.00–360.00 h; $n = 2$) para el escenario una h; 105.00 ± 43.95 h (rango = 53.00–145.00 h; $n = 5$) para el escenario dos h; 53.50 ± 20.49 h (rango = 40.00–84.00 h; $n = 4$) para el escenario cuatro h; y 89.73 ± 93.69 h (rango = 23.00–360.00 h; $n = 11$) para el escenario ninguno (Fig. 9). No hubo diferencias significativas en los tiempos de supervivencia registrados entre

los distintos escenarios de cuidado nocturno ($H = 3.76$, $df = 3$, $p = 0.288$). En la comparación entre pichones con o sin alimentación nocturna, el tiempo medio de supervivencia fue de 134.43 ± 107.31 h (rango = 53.00–360.00 h; $n = 7$) en el grupo con alimentación nocturna y de 80.07 ± 81.46 h (rango = 23.00–360.00 h; $n = 15$) en el grupo sin alimentación nocturna. No detectamos diferencias significativas en el tiempo de supervivencia entre ambos grupos ($p = 0.21$).

Asumimos que la mayoría de los pichones murieron por falla multiorgánica debido a daño por compresión causado por acumulación de gas en el estómago. Uno de los pichones tuvo el estómago perforado por una pluma y uno, que murió a las 362 horas, lo hizo debido a una impactación de la molleja.

DISCUSIÓN

Trabajar en la conservación de especies amenazadas suele limitar el número de estudios de caso, lo que hace imposible desarrollar diseños experimentales

balanceados. Esto, a su vez, dificulta obtener conclusiones estadísticas precisas. Sin embargo, los resultados de este trabajo muestran tendencias claras que sugieren la dirección correcta a seguir en la búsqueda de un protocolo de recría *ex situ* para el Macá Tobiano.

Aunque no detectamos diferencias significativas, encontramos que la tasa de eclosión en huevos recolectados en estadios avanzados fue notablemente mayor que la de aquellos recolectados en estadios tempranos (93% vs. 57%). Esto concuerda con la bibliografía, que indica que algunas especies de aves criadas en cautiverio presentan un mayor éxito de eclosión *ex situ* si han tenido un período de incubación natural (MacVean 1988, Gage & Duerr 2007). Esto sugiere que recolectar los huevos en una etapa más avanzada de la incubación sería preferible, pero debido a la baja probabilidad de éxito de algunas colonias de Macá Tobiano (*e.g.*, colonias expuestas a fuertes tormentas de viento, lagunas con bajos niveles de agua y altas tasas de evaporación), pasar más tiempo en la laguna incrementa la probabilidad de perder ambos huevos. Por el momento, hemos logrado la eclosión de huevos incubados en la naturaleza durante solo cinco días. Finalmente, cabe destacar que nuestras recolecciones de huevos no influyeron en el éxito reproductivo de ninguna de las colonias manipuladas (*i.e.*, los padres criaron un pichón por nido).

Un resultado extremadamente valioso de cara al futuro es que el método de transporte utilizado demostró ser eficiente. No hubo diferencias en el éxito de eclosión entre viajes de mayor o menor duración, lo que amplía el rango potencial de lagunas desde los cuales recolectar huevos.

Durante la incubación, la pérdida de alrededor del 10-20% de la masa inicial del huevo es esencial para mantener el contenido relativo de agua y formar la cámara de aire (Ar & Rahn 1980, Davis et al. 1984). Los huevos que pierden demasiada o muy poca agua tienen una menor probabilidad de eclosionar (Hoyt 1979, Davis et al. 1988) y esto puede afectar la viabilidad de los pichones (Gage & Duerr 2007). No detectamos diferencias significativas en la pérdida de peso entre huevos eclosionados y no eclosionados; sin embargo, observamos que los pichones que eclosionaron de huevos con pérdidas diarias de peso inferiores al 1% presentaron menores tasas de supervivencia. Este resultado sugiere que los huevos de Macá Tobiano podrían perder un 21% o más de su peso inicial.

Una variable importante para el desarrollo adecuado de los pichones son los parámetros de incubación (temperatura y humedad), ya que influyen en el

desarrollo embrionario y en la condición corporal de los pichones (Barri 2008, DuRant et al. 2010). No encontramos diferencias en el éxito de eclosión entre los protocolos de incubación propuestos con temperaturas y humedades altas y bajas. Sin embargo, observamos diferencias significativas en la supervivencia de los pichones en relación con el protocolo de incubación. Los pichones eclosionados utilizando un protocolo de alta temperatura y alta humedad presentaron mayores tasas de supervivencia en comparación con aquellos incubados a baja temperatura y alta humedad. No obstante, lo más importante a destacar es que ninguno de los pichones que eclosionó de huevos incubados a bajas temperaturas comenzó a alimentarse.

Aunque no obtuvimos resultados concluyentes, observamos una tendencia a una mayor supervivencia en pichones alimentados más asiduamente. Los macaes son susceptibles a la acumulación de gas en el estómago, con la consiguiente compresión de órganos que conduce a la muerte del individuo por falla multiorgánica (Gage & Duerr 2007). Esta afección fue la causa de muerte de la mayoría de los pichones en este estudio. Estos resultados sugieren la necesidad de una alimentación casi constante para mantener la motilidad gastrointestinal (Barrett et al. 2010) y prevenir la acumulación de gas (Gabarain 2021). Esta tasa de alimentación extraordinariamente alta y constante es consistente con observaciones comportamentales de individuos en la naturaleza (Roesler 2016).

Los requerimientos nutricionales de los macaes aún no han sido establecidos. Como aves precociales, requieren alimentarse de presas pequeñas, incluyendo insectos vivos, para estimular el comportamiento de autoalimentación (Padilla 2014). La dieta de los pichones de Macá Tobiano, estimada a partir de la firma isotópica de dos individuos hallados muertos en una laguna, está compuesta por una mezcla de ítems alimentarios, de los cuales el 78% corresponde a larvas de quironómidos, y el 22% restante a una combinación de anfípodos, copépodos y *Daphnia* sp. (Lancelotti 2009). Además, se ha observado que los padres suelen suministrar plumas a los pichones poco después de la eclosión (Roesler 2016), un comportamiento también observado en todas las especies de macaes del género *Podiceps* (Fjeldså 2005). En este estudio, la administración de los distintos alimentos no estuvo estandarizada y se basó principalmente en los recursos disponibles en las lagunas. Por esta razón, excluimos esta variable de los análisis. En síntesis, describimos las primeras experiencias de recría *ex situ* de Macá Tobiano y Macá Plateado, en las cuales logramos criar y liberar exitosamente un único

individuo de Macá Plateado. Al momento de la liberación, el individuo ya exhibía comportamientos naturales típicos de la especie (*i.e.*, pesca, buceo, acicalamiento). Lo liberamos en una laguna utilizado para la pesca de grandes truchas, lo que asegura la disponibilidad de alimento para los macaes. Además, esta laguna es utilizada frecuentemente por algunos macaes como sitio de invernada. El día de la liberación, había más de 700 Macaes Plateados en la laguna. Marcamos al individuo con un anillo naranja en la pata derecha, pero lamentablemente aún no hemos podido volver a observarlo. El gran número de Macaes Plateados en las mesetas dificulta esta tarea. Actualmente, estamos colaborando con universidades y otros socios en el desarrollo de un transmisor adecuado para macaes, pero se trata de un desafío importante. El transmisor debe pesar solo un par de gramos y contar con una batería preparada para soportar periodos prolongados en agua fría, dulce y salada, entre otros requisitos.

Aunque los resultados son preliminares, principalmente debido al bajo número de eventos analizados, observamos tendencias en las distintas variables consideradas que podrían indicar cómo deberían diseñarse futuros experimentos. Cabe destacar que, al trabajar con una especie con una población reducida (menos de 400 parejas reproductivas) y con una variabilidad extrema en los intentos reproductivos y su éxito entre temporadas (temporadas sin formación de colonias), no es posible garantizar un número adecuado de casos para realizar análisis sofisticados (especialmente en términos de tratamiento estadístico). También resulta muy ambicioso proponer un diseño experimental definido. Es válido considerar la realización de algunas pruebas experimentales con el Macá Plateado, que podrían ayudar a refinar procedimientos y métodos. Sin embargo, esto puede tener limitaciones debido al grado de especialización del Macá Tobiano al ambiente de meseta; la información obtenida con el Macá Plateado podría no ser directamente aplicable al Macá Tobiano. Dada la situación crítica del Macá Tobiano, cualquier acción de conservación requiere una adaptabilidad extrema. La necesidad urgente de obtener resultados (en el corto plazo) exige que los protocolos se adapten no solo en función de resultados estadísticamente significativos, sino también a partir de información empírica e incluso datos anecdóticos. Esta urgencia hace aún más difícil obtener tamaños de muestra grandes. Sería extremadamente útil contar con una cantidad de datos que permita realizar análisis multifactoriales para evaluar cómo interactúan las distintas variables, actualmente analizadas de forma independiente, y

cómo afectan tanto el éxito de eclosión como la supervivencia de los pichones. Comprender los efectos de estas interacciones podría ayudar a maximizar el éxito de supervivencia de esta especie amenazada.

Próximos pasos y manejo

Hasta el momento, hemos aprendido cómo retirar huevos de los nidos y resolver la logística para transportarlos de manera segura a las instalaciones de cría, pero es importante determinar el tiempo mínimo de incubación natural necesario para proceder con seguridad a la incubación artificial, dada la posibilidad de recuperar todos los huevos de colonias en riesgo de destrucción en cualquier momento desde la puesta. Hemos avanzado en el proceso de incubación, logrando la eclosión de pichones con un grado razonable de madurez (Gabarain 2021). Sin embargo, aún debe determinarse el rango seguro de pérdida de masa del huevo para la especie, lo cual es esencial para la eclosión de pichones saludables (Gage & Duerr 2007). El siguiente paso es buscar alternativas para evitar las dos principales causas de muerte de los pichones (*i.e.*, inanición y acumulación de gas en el estómago). Los pichones podrían requerir algún tipo de estimulación temprana para alentarlos a comenzar a alimentarse. Por otro lado, una alimentación más frecuente (quizás cada 30 min) podría prevenir la acumulación de gas al estimular la motilidad gastrointestinal. Del mismo modo, encontrar un alimento altamente digestible y balanceado que reduzca la acumulación de gas en el estómago y facilite la logística de alimentación sería clave.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Laguna Verde Lodge por brindarnos un lugar y la infraestructura para establecer las instalaciones de cría, y a todo su personal por ayudarnos durante nuestra estadía allí. Asimismo, agradecemos a las estancias que nos permitieron acceder a las lagunas y nos brindaron apoyo logístico: “Laguna Verde”, “Lago Strobel” y “la Vizcaína”. Agradecemos a todos los voluntarios y voluntarias que colaboraron con las actividades de cría: Rocío Lapido, Florencia Donari, Tamara Zalewski, Paola Irustia, Julie Dewilde, Paula Villa, Jéssica Tumori, Daniela Scalise, Denise Billiet, María Ospina, Lucía Martín, Sarah Chisholm y Belén Tartaglia. Este trabajo también fue posible gracias al esfuerzo de todo el equipo del Programa Patagonia. Este proyecto forma parte del Proyecto Macá Tobiano (Programa Patagonia) de Aves Argentinas / BirdLife International y CONICET y contó con el apoyo de EDGE-ZSL, ICFC (Canadá), BirdLife Preventing

Extinction Programme, Sec. Ambiente de Santa Cruz, Ambiente Sur, Auckland Zoo, Pan American Energy, Toyota Argentina/Toyota International y muchas otras instituciones. La Administración de Parques Nacionales y la Dirección de Fauna del Consejo Agrario Provincial (Santa Cruz) apoyaron nuestro trabajo. Contamos con los permisos del Consejo Agrario Provincial (Resolución- Dirección de Fauna N° 013|24).

REFERENCIAS

- Ar A, Rahn H (1980) Water in the avian egg: overall budget of incubation. *American Zoologist* 20(2):373-384. <https://doi.org/10.1093/icb/20.2.373>
- Barrett K, Barman S, Boitano S, Brooks H (eds) (2010) Ganong: Fisiología Médica. 23ª ed. Editorial McGraw-Hill Interamericana, Spain
- Barri A (2008) Effects of incubation temperature and transportation stress on yolk utilization, small intestine development, and post-hatch performance of high-yield broiler chicks. Tesis de Doctorado. Virginia Polytechnic Institute, State University, Virginia, United States
- Beltrán J, Bertonatti C, Johnson A, Serret A, Sutton P (1992) Actualizaciones sobre la distribución, biología y estado de conservación del Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*). *El Hornero* 13(3):193-199. <https://doi.org/10.56178/eh.v13i3.1062>
- BirdLife International (2023) IUCN Red List for birds. Disponible en: <http://www.birdlife.org>. (15/04/2023)
- Cristinacce A, Ladkoo A, Switzer R, Jordan L, Venatasamy V, de Ravel Koenig F, Jones K, Bell D (2008) Captive breeding and rearing of critically endangered Mauritius fodies *Foudia rubra* for reintroduction. *Zoo Biology* 27(4):255-268. <https://doi.org/10.1002/zoo.20182>
- Davis TA, Platter-Reiger MF, Ackerman RA (1984) Incubation water loss by pied-billed grebe eggs: adaptation to a hot, wet nest. *Physiological Zoology* 57(4):384-391. <https://doi.org/10.1086/physzool.57.4.30163340>
- Davis TA, Shen SS, Ackerman RA (1988) Embryonic osmoregulation: consequences of high and low water loss during incubation of the chicken egg. *Journal of experimental Zoology* 245(2):144-156. <https://doi.org/10.1002/jez.1402450205>
- DuRant SE, Hepp GR, Moore IT, Hopkins BC, Hopkins WA (2010) Slight differences in incubation temperature affect early growth and stress endocrinology of wood duck (*Aix sponsa*) ducklings. *Journal of Experimental Biology* 213(1):45-51. <https://doi.org/10.1242/jeb.034488>
- Fasola L, Roesler I (2018) A familiar face with a novel behavior raises challenges for conservation: American mink in arid Patagonia and a critically endangered bird. *Biological Conservation* 218(2):217-222. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.031>
- Gage LJ, Duerr R (eds.) (2007) Hand-Rearing Birds. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, United States
- Fjeldså J (1983) Ecological character displacement and character release in grebes Podicipedidae. *Ibis* 125(4):463-481. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1983.tb03142.x>
- Fjeldså J (1986) Feeding ecology and possible life history tactics of the Hooded Grebe *Podiceps gallardoi*. *Ardea* 74(1):40-58
- Fjeldså J (2005) The Grebes. Oxford University Press, New York, United States. Pp. 268
- Gabarain GT (2021) Re-cría ex situ del Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*): estrategia de manejo de una especie en peligro crítico de extinción. Tesis de licenciatura, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina
- Hartig F (2024) DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.4.7 [URL: <http://florian-hartig.github.io/DHARMA/>]
- Hick (1966) Hatching and rearing of two Great Crested Grebes (*Podiceps cristatus*) at Cologne Zoo. *International Zoo Yearbook* 6(1):212-213. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1090.1966.tb01764.x>
- Hoyt DF (1979) Osmoregulation by avian embryos: the allantois functions like a toad's bladder. *Physiological Zoology* 52(3):354-362. <https://doi.org/10.1086/physzool.52.3.30155756>
- Hunter LA (1988) Status of the endemic Atitlan Grebe of Guatemala: is it extinct? *The Condor* 90(4):906-912. <https://doi.org/10.2307/1368847>
- Imberti S, Casañas H, Roesler I (2020) Hooded Grebe (*Podiceps gallardoi*), version 1.0. Birds of the World. Schulenberg TS (eds.). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York, United States. <https://doi.org/10.2173/bow.hoogre1.01>
- IUCN/SSC (2014) Guidelines on the use of ex situ management for species conservation. Version 2.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission. [URL: www.iucn.org/about/work/programmes/species/publications/iucn_guidelines_and_policy_statements/]
- Jones CG, Heck W, Lewis RE, Mungroo Y, Slade G, Cade TOM (1995) The restoration of the Mauritius kestrel *Falco punctatus* population. *Ibis* 137(1):173-180. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1995.tb08439.x>
- Kop P (1972) Pellet-ejection by hand-reared Great Crested Grebes. *British Birds* 65:319-321
- Kuehler CM, Witman PN (1988) Artificial incubation of California Condor *Gymnogyps californianus* eggs removed from the wild. *Zoo Biology* 7(2):123-132. <https://doi.org/10.1002/zoo.1430070205>
- Kuehler C, Kuhn M, McIlraith B, Campbell G (1994) Artificial incubation and hand-rearing of 'Alala (*Corvus hawaiiensis*) eggs removed from the wild. *Zoo Biology* 13(3):257-266. <https://doi.org/10.1002/zoo.1430130307>

- Lancelotti JL (2009) Caracterización limnológica de lagunas de la Provincia de Santa Cruz y efectos de la introducción de Trucha Arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) sobre las comunidades receptoras. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche, San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina
- Lancelotti J, Marinone MC, Roesler I (2017) Rainbow trout effects on zooplankton in the reproductive area of the critically endangered hooded grebe. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 27(1):128-136. <https://doi.org/10.1002/aqc.2629>
- Lancelotti JL, Pessacg NL, Roesler IC, Pascual MA (2020) Climate variability and trends in the reproductive habitat of the critically endangered hooded grebe. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 30(3):554-564. <https://doi.org/10.1002/aqc.3240>
- MacVean SR (1988) Artificial incubation, captive-rearing and maintenance of Pied-Billed Grebes in Guatemala. PhD thesis, Colorado State University, Colorado, United States
- MAYDS y AA (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable y Aves Argentina) (2017) Categorización de las aves de la Argentina (2015). Informe del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y de Aves Argentinas, electronic edition. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Pp. 34-36. [URL: <https://avesargentinas.org.ar/sites/default/files/Categorizacion-de-aves-de-la-Argentina.pdf>]
- Nuechterlein GL, Johnson A (1981) The downy young of the Hooded Grebe. *Living Bird* 19:69-71
- Padilla LR (2014) Gaviiformes, Podicipediformes, and Procellariiformes (Loons, Grebes, Petrels and Albatrosses). Miller RE, Fowler ME (eds.) (2014). *Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine* 8:89-95
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [URL: <https://www.R-project.org/>]
- Roesler I, Imberti S, Casañas H, Mahler B, Reboreda JC (2012) Hooded Grebe *Podiceps gallardoi* population decreased by eighty per cent in the last twenty-five years. *Bird Conservation International* 22(4):371-382. <https://doi.org/10.1017/S0959270912000512>
- Roesler IC (2016) Conservación del Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*): factores que afectan la viabilidad de sus poblaciones. PhD thesis, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. [URL: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5958_Roesler.pd-f]
- Roesler CI, Fasola L, Casañas H, Hernández PM, de Miguel A, Giusti ME, Reboreda JC (2016) Colony guardian programme improves the recruitment of the critically endangered hooded grebe *Podiceps gallardoi* in Austral Patagonia, Argentina. *Conservation Evidence* 13(8):62-66
- Roesler I, Fasola L, Buchanan P (2018) Sympathy for the grebes: Hooded Grebe conservation programme update (2011-2017). *Neotropical Birding* 23:14-22
- Roesler I, Lancelotti JL, Gabarain GT, Buchanan PI, Hernández PM, Fasola L (2025) Hooded Grebe (*Podiceps gallardoi*), version 2.0. In TS Schulenberg (ed.) *Birds of the World*. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology. Available at <https://birdsoftheworld.org/bow/species/hooogre1/cur/introduction> (Visitado 29 Julio 2025)
- Storer RW (1961) Observations of pellet-casting by horned and pied-billed grebes. *The Auk* 78(1):90-92
- Winkler DW, Billerman SM, Lovette IJ (2020) Grebes (Podicipedidae), version 1.0. In *Birds of the World*. Billerman SM, Keeney BK, Rodewald PG, Schulenberg TS (eds.). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York, United States. <https://doi.org/10.2173/bow.podici1.01>