



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

**Re-cría *ex situ* del Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*): estrategia de manejo  
de una especie en peligro crítico de extinción**

Tesis presentada para optar al Título de Magister de la Universidad de Buenos Aires en  
Conservación de la Biodiversidad.

Vet. Gabriela Tamara Gabarain

Director de tesis: Carlos Ignacio Roesler

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2021

## **Resumen. Re-cría *ex situ* del Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*): estrategia de manejo de una especie en peligro crítico de extinción**

El Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) es un ave endémica de la provincia de Santa Cruz, Patagonia, Argentina. La especie está categorizada “En Peligro Crítico” a nivel mundial, como consecuencia de una reducción poblacional del 80% en 25 años y un aumento en las amenazas. Hoy se conocen menos de 800 individuos. Grandes esfuerzos se están realizando para conservarla. Una de las estrategias potenciales de conservación a largo plazo es la re-cría de individuos a partir de huevos “ecológicamente perdidos”. En el 97,4% de los casos los macaes interrumpen la incubación del segundo huevo luego de la eclosión del primero y crían sólo un pichón por temporada. En el mundo, la cría en cautiverio crece en importancia como estrategia de conservación de poblaciones silvestres en peligro de extinción. Las experiencias de cría *ex situ* en macaes son anecdóticas y poco sistemáticas, por lo que la replicación resulta difícil. Para lograr un protocolo efectivo de re-cría en cautiverio es necesario ajustar los parámetros de incubación y crianza para cada especie.

El objetivo general del proyecto fue generar conocimiento teórico y práctico para el desarrollo de un programa de re-cría que permita incrementar el número de juveniles que llegan al momento de la migración, mediante la recuperación de huevos ecológicamente perdidos. Este objetivo estuvo enmarcado en el plan de manejo y acciones de conservación de la especie desarrolladas a lo largo de los últimos diez años.

El trabajo está dividido en tres partes: La primera describe la biología reproductiva de la especie a partir de la recopilación de información publicada desde su descubrimiento. La segunda comprende el manejo realizado desde la colecta de huevos en las lagunas hasta la eclosión y la tercera explica el tratamiento realizado en los pichones desde su nacimiento hasta el tiempo máximo de supervivencia.

Durante 4 temporadas reproductivas colecté huevos de Macá Tobiano y de Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*), especie cercana filogenéticamente y con hábitos de vida similares, en las lagunas de mesetas altura del oeste de Santa Cruz. Incubé los huevos de forma artificial hasta la eclosión. Para evaluar el efecto sobre la eclosión realicé comparaciones sobre la etapa de incubación a momento de colecta, la duración del transporte, el protocolo de incubación (temperatura y humedad) y la pérdida de peso diaria de los huevos. Para evaluar efectos en la supervivencia de los pichones probé distintos protocolos de incubación (temperatura y humedad), la pérdida de peso diaria de los huevos durante la incubación, alternativas de alimentos y frecuencia de atención de los pichones (alimentación y paso por el agua). La tasa de eclosión lograda fue del 73%. La supervivencia máxima alcanzada para pichones fue de 144 horas para el Macá Tobiano y de 67 días para el Macá Plateado (edad de liberación).

A lo largo del proyecto he adquirido una gran experiencia e información sobre los métodos y condiciones necesarias en las distintas etapas del proceso. Es necesario continuar con los estudios de las variables involucradas para obtener resultados concluyentes; sin embargo, la crianza y liberación de un individuo de Macá Plateado sugiere que el proceso es viable y que, mediante la realización de nuevas pruebas, podría adecuarse a las necesidades particulares del Macá Tobiano.

Palabras clave: Macá Tobiano, *Podiceps gallardoi*, conservación, *ex situ*, cría en cautiverio, biología reproductiva.

## **Abstract. Hand rearing of Hooded Grebe (*Podiceps gallardoi*): management strategy for a critically endangered species**

The Hooded Grebe (*Podiceps gallardoi*) is an endemic bird of Santa Cruz province, Patagonia, Argentina. It is categorized as globally “Critically Endangered”, since in the last 25 years the population suffered an 80% reduction and an increase in its threats. Nowadays, less than 800 individuals survived. Great efforts have been made to preserve this species. One of the potential long-term conservation strategies is the hand rearing of individuals from “ecologically lost” eggs. This is due to 97,4% of the breeding pairs interrupting the incubation of the second egg after hatching of the first one, thus rearing only one chick per season. Worldwide, captive breeding is growing in importance as a conservation tool for wild populations of threatened species. *Ex situ* breeding experiences in grebes are anecdotal and unsystematic. Therefore, replication is difficult. To achieve an effective hand rearing protocol, it is necessary to adjust the incubation and rearing parameters for each species.

The overall objective of this project was to generate theoretical and practical knowledge for the development of a hand-rearing protocol that allows increasing the number of juveniles at the time of migration, through the recovery of ecologically lost eggs. This objective was framed within a ten years management and conservation program.

This thesis is divided into three parts. The first part describes the species’ reproductive biology throughout a bibliographic analysis. The second part focused on management actions from egg recollection in the lakes until hatching, and the third part focused on the treatment carried out on from chicks’ hatching to the maximum survival time.

During four reproductive seasons, I collected eggs of Hooded and Silvery Grebe (*Podiceps occipitalis*), a phylogenetically close species with similar life habits, in the high plateau lagoons of western Santa Cruz. I incubated the eggs artificially until hatching. To evaluate the effect on hatching, I made comparisons on incubation stage at collection,

transportation duration, incubation protocol (temperature and humidity) and daily egg-weight loss. To evaluate effects on the survival time of the chicks, I analyzed different incubation protocols (temperature and humidity), daily egg-weight loss during incubation, food alternatives and frequency of care of the chicks (feeding and passage through water). The hatching rate achieved was 73%. The maximum survival achieved for chicks was 144 hours for Hooded Grebe and 67 days for Silvery Grebe (release age).

Throughout the project, I have acquired a great deal of experience and information for the methods and conditions necessary at different stages of the process. It is necessary to continue with the studies of the variables involved to obtain conclusive results; however, the raising and release of an individual from Silvery Grebe suggests that the process is viable and making new tests it could be adapted to the particular needs of the Hooded Grebe.

Key words: Hooded Grebe, *Podiceps gallardoi*, conservation, *ex situ*, captive breeding, reproductive biology

## Agradecimientos

A mi director y co-coordinador del Programa Patagonia, Kini Roesler, por su guía en esta tesis y por explicarme y enseñarme muchísimas cosas nuevas para mí, aprendí mucho de él; pero sobre todo por la confianza y libertad de trabajo en toda esta experiencia. Y a Lali Fasola, co-coordinadora del Programa Patagonia, por sus valiosos aportes en la revisión de esta tesis que le dieron la última (gran) vuelta de tuerca para lograr la mejor versión posible.

A mi familia por bancarme las ausencias, muchas veces en momentos complicados, mi abuela que me extraña pero sabe que esto me hace feliz, mi tío que me transmitió la pasión por las aves, mi hermano que es mi compañero en la vida, mi papá que me apoya desde el alma y mi mamá, la persona más incondicional de mi vida, a quién el agradecimiento eterno le queda corto.

A Hernán por llevarme a la meseta y presentarme al tobiano, a Patrick y a Pablo por sus charlas en la “Don Ferret” que me impulsaron a elegir este rumbo y a Carlitos por hacerme reír tanto.

A la gente de Laguna Verde por su ayuda incalculable, pero sobre todo por adoptarme como una más de la casa. Y a Pao que me cuidó como nadie sobre todo en esos momentos que estar lejos de la familia pesa mucho.

A todos los voluntarios/ as que pasaron por la re-cría, nada hubiera sido posible sin su ayuda. A Paulita que llegó un marzo a “aguantar los trapos”, al Chanchi una genia total y a Dani y Deni grandes amigas que me dejé este camino.

A mis amigos, por creer en mí y retarme en los momentos necesarios ¡ja!

A mis compañeros del proyecto, por el apoyo y ayuda logística pero sobre todo espiritual. La verdad es que ¡somos una gran familia disfuncionalmente funcional!

¡¡A Botija!! mi hijo plateado, esa liberación fue clave para darnos fuerza.

A Aves Argentinas, por la confianza, el acompañamiento y por haber sido siempre mi segunda casa.

A Andrés Baissero, Denise Billiet, Mathias Deming, Pablo Hernández, Gonzalo Ignazi, Lucía Martín, Ugo Mellone y Darío Podestá, por prestarme sus fotazas para la tesis.

¡A todos y todas los que no estoy nombrando! Recuerdo a cada persona que me acompañó en este proceso con especial cariño, los vínculos que se forman en la meseta tiene una magia especial que sólo nosotros podemos entender.

Para terminar al Proyecto Macá Tobiano por darme un estilo de vida y sobre todo...

¡AL TOBIANO POR EXISTIR!

*A mi sobrina, Camila, que llegó con una tesis bajo el brazo...*



Familia de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) (Foto: P. Hernández)

## Índice

Resumen.....	II
Abstract.....	IV
Agradecimientos.....	VI
Índice.....	VIII
Introducción general.....	1
Estrategias <i>ex situ</i> para recuperar poblaciones amenazadas.....	1
Los Macaes: Orden Podicipediforme.....	2
Antecedentes en cría de macaes.....	3
Objetivos y estructura de tesis.....	4
Metodología general.....	6
Área y temporalidad del estudio.....	6
Metodología.....	9
Capítulo 1. Biología reproductiva y comportamiento parental del Macá Tobiano ( <i>Podiceps gallardoi</i> ).....	12
Introducción.....	12
Métodos.....	13
Resultados.....	13
Conclusiones.....	18
Capítulo 2. Re-cría <i>ex situ</i> de Macá Tobiano ( <i>Podiceps</i>	



<i>gallardoi</i> ): Efecto de la colecta, transporte y parámetros de incubación en el éxito de eclosión.....	20
Introducción.....	20
Métodos.....	22
Resultados.....	28
Conclusiones.....	31
Capítulo 3. Re-cría ex situ de Macá Tobiano ( <i>Podiceps gallardoi</i> ): Efecto de los parámetros de incubación, alimentación y frecuencia de atención en la supervivencia de pichones.....	34
Introducción.....	34
Métodos.....	35
Resultados.....	39
Conclusiones.....	42
Conclusiones Generales.....	48
Bibliografía citada.....	54
Anexo 1. Medidas de peso y tamaño de huevos colectados por temporada.....	61
Anexo 2. Peso de pichones al nacimiento.....	62
Anexo 3. Supervivencia de los pichones en el estudio.....	63
Anexo 4. Historia de caso: "Botija".....	64

# Introducción General

## Estrategias *ex situ* para recuperar poblaciones amenazadas

La gestión *ex situ* se ha utilizado para proporcionar un beneficio a la conservación de especies amenazadas. Se evitó la extinción de especies y ha habido restauraciones o introducciones tras períodos de gestión *ex situ* para un número creciente de especies (IUCN/SSC 2014). El Cóndor de California (*Gymnogyps californianus*) estuvo al borde de la extinción cuando se decidió capturar a los últimos 17 ejemplares vivos, con el objetivo de incorporarlos al manejo reproductivo en cautiverio (de la Cruz & Peters 2007). Hoy en día existen 337 ejemplares en vida silvestre (California Condor Recovery Programme 2019). Algo similar ocurrió con el Hurón de Pies Negros (*Mustela nigripes*), que llegó a ser catalogado como extinto en estado silvestre a fines de los 80's. Antes de su extinción total en la naturaleza, se consiguió capturar 18 individuos para comenzar un programa de cría (Vargas et al. 1999) liderado por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (United States Fish and Wildlife Service) que logró criar y reintroducir 3900 individuos desde 1991 en 24 sitios (Belant et al. 2015). También el programa de conservación *ex situ* del Lince Ibérico (*Lynx pardinus*) fue una herramienta clave en el programa de recuperación, como complemento de las acciones en su hábitat natural, que logró aumentar la población de 100 ejemplares en 2002 a casi 700 en 2018 (WWF 2019).

En el mundo, la cría en cautiverio crece en importancia como una acción utilizada en poblaciones silvestres en peligro de extinción (MacVean 1988) como estrategia a largo plazo y complemento de acciones *in situ*.

## Los macaes: Orden Podicipediformes

Los macaes o zambullidores son aves acuáticas especializadas distribuidas por todo el mundo, con excepción de Antártida. Viven en una amplia variedad de cuerpos de agua que van desde grandes lagos hasta pantanos. Sus miembros posteriores están situados bien atrás del cuerpo ya que los utilizan para la propulsión durante el buceo, lo cual genera que sean prácticamente incapaces de caminar en tierra (O'Donnel y Fjeldså 1997, Gage & Duerr 2007, Winkler et al. 2020). Es por esta especialización al medio acuático que pasan toda su vida en el agua construyendo sus nidos flotantes y buceando para buscar comida. Se alimentan principalmente de peces e invertebrados acuáticos variando la dieta según se trate de especies grandes o chicas. Los macaes se zambullen para capturar sus presas de la columna de agua o extraerlas de la vegetación acuática, ocasionalmente tomando algunas de la superficie del agua o de la vegetación que sobresale (Fjeldså 2004, Winkler et al. 2020). Actualmente, cerca de un tercio (30%) de las especies de macaes enfrentan algún nivel de riesgo de conservación (1 Casi Amenazado, 2 Vulnerable, 1 En Peligro, 2 En Peligro Crítico) (Winkler et al. 2020). Esto los ubica como uno de los órdenes con mayores problemas de conservación (Roesler 2016).

El Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) es una de las 23 especies actuales del orden Podicipediformes (BirdLife International 2020). Es endémico de la provincia de Santa Cruz y, como consecuencia de su distribución restringida y poco accesible, fue descrito recién en 1974 (Rumboll 1974). Nidifica en lagunas de altura en mesetas basálticas del oeste de esa provincia y, durante el invierno, migra hacia la costa atlántica permaneciendo en la ría del río Coyle y en los estuarios del río Gallegos y del Chico-Santa Cruz (Imberti et al. 2020). A principios de los 80's la población fue estimada en 3000-5000 individuos (Fjeldså 1986, Beltrán et al. 1992). Censos realizados entre 2010 y 2011 mostraron que en 25 años la población sufrió una reducción del 80%, período en el cual sus amenazas aumentaron, y se

conocen actualmente *c.* 800 individuos (Roesler et al. 2012). Esto llevó a que fuera recategorizada como “En Peligro Crítico”, categoría en la que se mantiene hasta el presente (BirdLife International 2020). Grandes esfuerzos se están realizando *in situ* para la conservación de la especie en lo inmediato (Roesler et al. 2018). Como complemento a estas acciones, una de las estrategias potenciales de conservación a largo plazo es la re-cría de individuos a partir de huevos “ecológicamente perdidos”, dado que en el 98% de los casos los macaes crían sólo un pichón por temporada y abandonan la segunda postura en el nido (Roesler 2016). Asimismo, dado el precario estado de otras especies de macaes, el desarrollo de técnicas de cría *ex situ* podría ser utilizada en futuros esfuerzos de fortalecimiento de poblaciones.

### **Antecedentes en cría de macaes**

Existen pocos antecedentes de cría *ex situ* de macaes. Entre 1924 y 1933 el biólogo alemán Oskar Heinroth intentó varias veces criar individuos de *Podiceps cristatus* pero nunca logró que los pichones superaran los 4 días de vida (Hick 1966). Siguiendo sus pasos, Hick (1966) incubó de manera artificial huevos de la misma especie en 1962 y obtuvo pichones que también murieron al cuarto día de vida. Sin embargo, en 1963 logró criar a 2 individuos hasta juveniles cuya edad de supervivencia no está especificada. También trabajando con *P. cristatus*, Kop (1972), a partir de 5 huevos colectados a campo e incubados artificialmente, obtuvo 2 individuos de 11 días de sobrevivencia y tres de 61, 72 y 73 días. Herman incubó artificialmente 3 huevos de *Aechmophorus occidentalis* en 1974 y colectó 3 pichones en el campo. Los 6 pichones fueron criados satisfactoriamente hasta, al menos, los 4 meses de edad; dos fueron liberados a la edad de 14-15 meses (MacVean 1988). Ratti crió exitosamente 7 *Aechmophorus clarkii* en 1977 a partir de huevos colectados en el campo hasta las 9-12 semanas de edad (MacVean 1988). En 1986, en el marco de un plan para conservar al *Podilymbus gigas* actualmente extinto, MacVean (1988) crió exitosamente 5 individuos de

*Podilymbus podiceps*, especie cercana a la anterior, a partir de 20 huevos recolectados a campo e incubados artificialmente, y obtuvo sobrevividas de 2, 20, 60 días y 14-16 meses. En cuanto al Macá Tobiano, Nuechterlein (1981) incubó 2 huevos abandonados luego del nacimiento del primer pichón, logró la eclosión de uno de ellos, y obtuvo un individuo de 4 días de supervivencia.

Las experiencias de cría *ex situ* en macaes son anecdóticas y poco sistemáticas por lo que la extrapolación de datos resulta difícil. Es por esto que, para lograr un protocolo efectivo de re-cría en cautiverio, es necesario ajustar los parámetros de incubación y crianza para la especie.

## **Objetivos y estructura de tesis**

El objetivo general de esta tesis es generar conocimiento teórico y práctico para el desarrollo de un programa de re-cría de Macá Tobiano, a fin de incrementar el número de juveniles que llegan al momento de la migración, a través de la recuperación de huevos ecológicamente perdidos. Este objetivo está enmarcado en el plan de manejo y acciones de conservación de la especie desarrolladas a lo largo de los últimos diez años.

Los objetivos particulares son: 1) recopilar información sobre aspectos de la biología reproductiva, comportamiento parental y datos relevantes que den orientación a los protocolos de re-cría *ex situ*, 2) generar un protocolo de cría que permita obtener pichones viables a partir de huevos recolectados en colonias reproductivas, incluyendo: colecta, transporte, incubación y nacimiento, 3) generar un protocolo para la crianza de pichones nacidos *ex situ* hasta juveniles, lo que incluye variables ambientales, sanitarias, comportamentales y de alimentación.

La hipótesis general de la tesis es que la re-cría exitosa del Macá Tobiano está relacionada con el protocolo de incubación, la frecuencia de alimentación y el tipo de alimento utilizado. Para esto partí de experiencias similares en otros macaes, recopilé la

información disponible sobre la biología reproductiva de la especie y probé distintos protocolos de incubación y crianza.

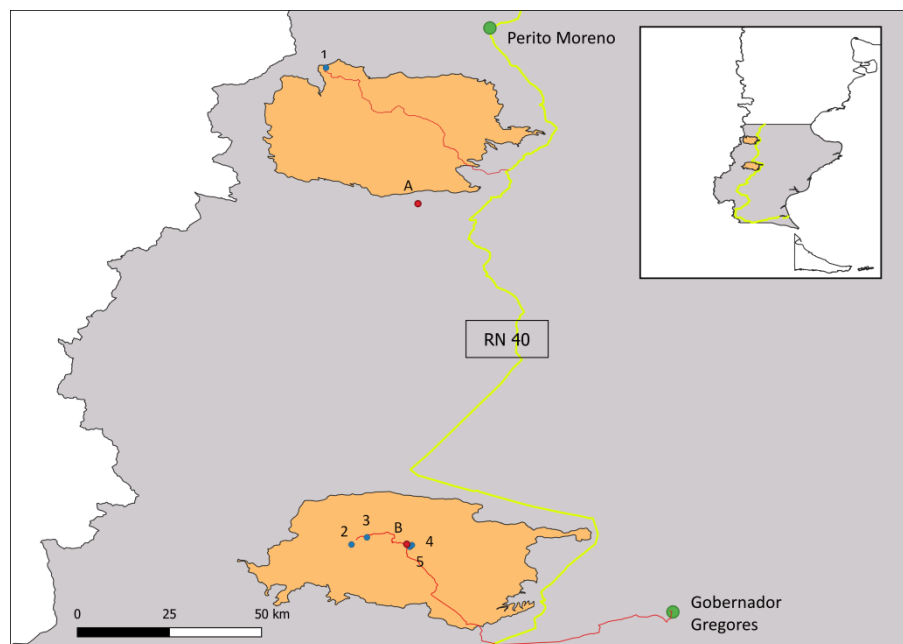
Esta tesis está estructurada en una sección inicial donde describo la metodología general, un cuerpo de tres capítulos y las conclusiones generales:

1. A continuación de la 'Introducción General' (presente sección) presento una sección inicial de 'Metodología General', donde describo el área de estudio y las distintas etapas del proyecto.
2. En el 'Capítulo 1' expongo la información recopilada sobre la biología reproductiva del Macá Tobiano que me sirvió de guía para idear los lineamientos primarios de los protocolos de cría.
3. En el 'Capítulo 2' describo el manejo realizado desde la colecta de huevos en las lagunas hasta la eclosión.
4. En el 'Capítulo 3' explico el tratamiento realizado en los pichones desde su nacimiento hasta el tiempo máximo de supervivencia.
5. Por último presento las 'Conclusiones Generales'.

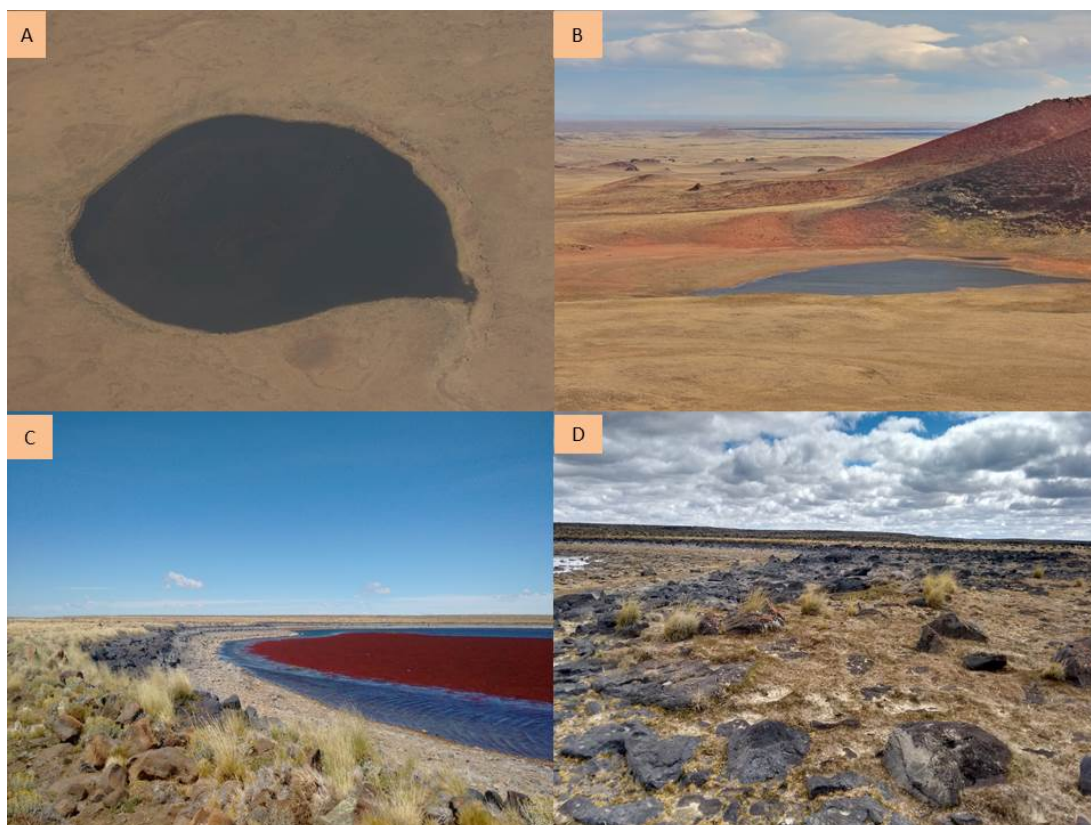
# Metodología General

## Área y temporalidad del estudio

Todo el trabajo lo desarrollé en la zona de cría del Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*), al oeste de la provincia de Santa Cruz, Patagonia argentina (Figura 1) durante 5 temporadas reproductivas. En particular, el trabajo se concentró en las mesetas del Lago Buenos Aires (Figura 2.A-B) y del Lago Strobel (Figura 2.C-D). Ubiqué las instalaciones para el trabajo de re-cría en la estancia Laguna Verde (48°30'01''S, 71°14'02''O), localizada en la zona central de la meseta del Lago Strobel, donde funciona un *lodge* de pesca deportiva. En la última temporada (2019-2020) trabajé en la Estación Biológica Juan Mazar Barnett (EBJMB) (47°14'27''S, 71°11'32''O), de Aves Argentinas, localizada en las márgenes de la meseta del Lago Buenos Aires, en las adyacencias del Parque Nacional Patagonia (Figura 1).



**Figura 1.** Lagunas (puntos azules) donde colecté los huevos para la incubación en las instalaciones de re-cría (puntos rojos) en EBJMB- meseta del Lago Buenos Aires (A) y Laguna Verde- meseta del Lago Strobel (B) (ver Capítulo 2): 1: LA4, 2: Rodríguez 19, 3: Rodríguez 9, 4: Nueve, 5: Ocho.



**Figura 2.** Paisajes de la zona de trabajo donde puede apreciarse la inmensidad y aridez de la zona. A: Vista aérea de la laguna “El Cervecero” y B: Panorámica de la meseta del Lago Buenos Aires (Fotos: P. Hernández), C: Laguna “Ocho” y D: Panorámica de la meseta del Lago Strobel (Fotos: G. Gabarain).

El clima de la región es templado frío, con temperaturas medias de 5°C (mínimas en invierno inferiores a -20°C; máximas en verano superando los 30°C). Las precipitaciones varían entre 100 a 250 mm y se concentran en forma de nevadas, mayormente durante el invierno y principio de la primavera (Cabrera 1971). La altura de las mesetas varía entre los 500 y 1500 msnm, en particular la altura de la del Lago Buenos Aires es de 1500 msnm y la del Lago Strobel de 980 msnm (Roesler 2016). La región contiene diferentes tipos de cuerpos de agua, incluidos embalses, lagos y lagunas naturales permanentes y temporales, la mayoría originados por actividad tectónica o por erosión eólica. Suelen ser redondeados u ovalados y con perfiles costeros poco desarrollados (Figura 3) (Izaguirre y Saad 2014).





**Figura 3.** Laguna típica de meseta: “El Cervecerero” meseta del Lago Buenos Aires (Foto: P. Hernández).

La cantidad de lagunas en cada meseta es variable. La meseta del Lago Strobel posee el mayor número, con ~1100 lagos y lagunas (Lancelotti 2009), mientras la meseta del Lago Buenos Aires tiene algo más de 100 lagunas, y aunque es un número relativamente bajo, tiene proporcionalmente más lagunas de mayor tamaño que la mayoría de las mesetas (Roesler 2016). El acceso a la mayoría de las lagunas es a través de huellas de meseta (Figura 4), que sólo pueden transitarse con un vehículo 4x4 a baja velocidad (idealmente Toyota Hilux®) y, por esto, los viajes tienen duraciones largas que se relacionan con la calidad y al estado de la huella. Muchas lagunas son inaccesibles incluso con vehículos 4x4, debido a la vegetación y a la presencia de rocas superficiales, por lo que se accede a pie incluido el traslado el equipo de trabajo necesario.

**Figura 4.** Huella de meseta (en buen estado) en la zona central de la meseta del Lago Buenos Aires (de fondo laguna del Sello, PN Patagonia). El tránsito por estas huellas debe realizarse a baja velocidad y con extremo cuidado por la presencia de rocas basálticas (Foto: P. Hernández).

## **Metodología**

El trabajo lo desarrollé ininterrumpidamente entre las temporadas estivales de 2015–2016 hasta 2019–2020. Durante la temporada 2018–2019, en la que no se formaron colonias reproductivas de Macá Tobiano, no pude realizar actividades de re-cría pero, aproveché ese período para conocer aspectos de la biología y distribución del Macá Tobiano (y colaboré en acciones de conservación de la especie).

Definé el proceso en dos etapas secuenciales. Por un lado, el manejo de los huevos, que comprende la colecta en las colonias reproductivas, el transporte hasta la locación de las instalaciones para la re-cría, la incubación y el tratamiento hasta el nacimiento de los pichones (ver Capítulo 2). Por otro lado, la crianza de los pichones desde el momento de la eclosión hasta su liberación o muerte (ver Capítulo 3). Como medidas de éxito tomé eclosión, para la primera etapa, y tiempo de supervivencia, para la segunda.

El lugar de trabajo para ambas etapas del proceso estuvo siempre dividido en dos ambientes independientes, con el fin de mantener separados huevos y pichones, siguiendo las recomendaciones de Gage & Duerr (2007). Durante la temporada 2015–2016 armé las

instalaciones para la incubación en un contenedor (Figura 5.A) donde la temperatura era difícil de estabilizar por la insuficiente aislación térmica y registré variaciones entre -5 y 30°C. Esto resultó negativo para el correcto funcionamiento de las incubadoras. Por este motivo, en las temporadas 2016–2017 y 2017–2018 reemplacé el contenedor por un furgón (de camioneta) aislado (telgopor de 3 pulgadas), con lo que mejoró la estabilidad de las incubadoras (Figura 5.C-D). En ambos casos mantuve a los pichones en un cuarto independiente y con suficiente aislamiento térmico (Figura 5.B).

Para la temporada 2019–2020 acondicioné dos ambientes de la EBJMB con aislación térmica en techo y paredes, lo que permitió mantener la temperatura con variaciones mínimas entre 15-20°C, ideal para el funcionamiento de las incubadoras y el mantenimiento de los pichones (Figura 5.E).



**Figura 5.** Instalaciones para el trabajo de re-cría. A: Contenedor, B: Lugar de manejo de pichones, C y D: Furgón, Estancia Laguna verde; E: Lugar de incubación, Estación Biológica Juan Mazar Barnett (Fotos: G. Gabarain).

Durante las cuatro temporadas de trabajo recibí colaboración en las actividades del proyecto de aproximadamente 55 personas. El equipo estuvo formado por miembros del

Proyecto Macá Tobiano (PMT; de Aves Argentinas y Ambiente Sur) incluyendo logística, guardianes de colonia (Roesler et al. 2016) y coordinadores. Además, voluntarios (nacionales e internacionales), que son una pieza fundamental para el desarrollo de todas las acciones del PMT, conforman un equipo consolidado con los miembros del proyecto y adquieren capacidades para futuros proyectos de conservación.

# Capítulo 1. Biología reproductiva y comportamiento parental del Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*)

## Introducción

Los macaes son conocidos por sus llamativas exhibiciones de cortejo que incluyen carreteo, aleteos, sacudidas de cabeza, zambullidas, danzas, y desplazamientos sobre el agua (Fjeldså 2004). Al ser monógamos, estos rituales determinan la formación de parejas al comienzo de la temporada reproductiva (Winkler et al. 2020). Todas las especies de macaes nidifican en cuerpos de agua interiores, con vegetación acuática, donde construyen sus nidos flotantes (Fjeldså 2004). Sobre estos se produce el apareamiento y ponen de 2 a 7 huevos según la especie (Winkler et al. 2020). La incubación dura aproximadamente 21-23 días para las especies pequeñas y 25-28 días para las grandes (Gage & Duerr 2007) y comienza con el primer o segundo huevo puesto (Winkler et al. 2020). Ambos padres participan en la construcción del nido, la incubación y el cuidado de los pichones.

Los pichones, semi-precociales o semi-altriciales, nacen cubiertos de plumón y con los ojos abiertos pero dependen del cuidado parental para obtener comida, calor y protección (Gage & Duerr 2007). Luego de la eclosión, atraviesan un período de incubación dorsal en el lomo de sus padres (Nuechterlein 1988). Allí son transportados durante las primeras semanas por uno de sus padres mientras el otro bucea para alimentarlo y sólo pasan por el agua el tiempo suficiente para el intercambio entre padres, momento en el que defecan y beben (Nuechterlein 1988, Gage & Duerr 2007, Winkler et al. 2020). Según las especies, la alimentación varía desde invertebrados acuáticos hasta peces (Fjeldså 1986, Winkler et al. 2020). Asimismo, en varias especies está registrada la ingesta de plumas, que sería importante para la formación de egagrópilas y otras funciones digestivas (Storer 1961, Kop 1972).

El orden Podicipediformes ha sido ampliamente estudiado en cuanto a sus características generales y particularidades por especie (Fjeldså 2004). Este capítulo se centra

en los estudios realizados sobre el Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*). El objetivo del presente capítulo es recopilar información sobre aspectos de la biología reproductiva, comportamiento parental y de alimentación que sirvan de base para orientar los protocolos de re-cría *ex situ* para el Macá Tobiano.

## **Métodos**

Realicé el estudio de la biología reproductiva del Macá Tobiano a partir de la recopilación de información publicada desde su descubrimiento. Hice una búsqueda sistemática de literatura utilizando la herramienta Google Académico de Google, sin considerar límites de tiempo. Como palabras clave seleccioné: “reproducción”, “biología reproductiva” o “nidificación” (o sus equivalentes *reproduction*, *breeding biology*, *nesting*) asociadas a “Macá Tobiano”, “Hooded Grebe” o “*Podiceps gallardoi*”. También busqué y revisé las referencias relevantes encontradas en los artículos seleccionados.

Organicé la información de forma secuencial según el orden del ciclo reproductivo: ubicación geográfica y formación de parejas, nidificación e incubación y comportamiento parental y alimentación de pichones.

## **Resultados**

### **Ubicación geográfica y formación de parejas**

El Macá Tobiano reproduce en las lagunas de las altas mesetas patagónicas en el oeste de Santa Cruz, entre los 500 y 1500 msnm, luego de migrar desde el este de la misma provincia, donde pasa el invierno (Imberti et al. 2020). El ciclo reproductivo se extiende desde mediados de octubre hasta fines de marzo (Roesler 2016). A inicios de la temporada puede observarse su complejo y característico cortejo nupcial (Figura 1) acompañado de carreteos, aleteos, zambullidas, danzas y su voz característica, que tiene como objeto la formación de pareja (Storer 1982, Erize 1983, Straneck & Johnson 1984).



**Figura 1.** Imágenes de cortejo de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*). (Fotos A y B: Darío Podestá; Foto C: Gonzalo Ignazi).

### **Nidificación e incubación**

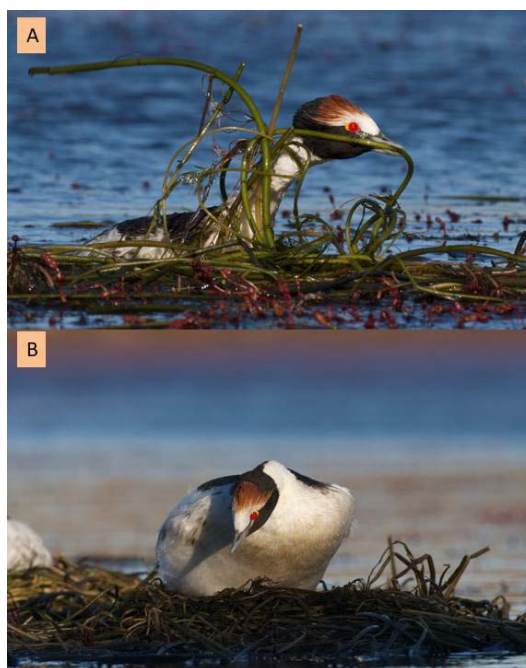
Se trata de una especie gregaria que nidifica en colonias (Figura 2) de hasta 130 nidos aunque se han visto colonias de 1-3 nidos (Roesler 2016). Confecciona sus nidos (Figura 3) utilizando la Vinagrilla (*Myriophyllum quitense*), única planta acuática de las lagunas de altura de la región, que emerge desde el fondo cuando las condiciones ambientales son apropiadas. Los nidos consisten en una plataforma flotante realizada con la vegetación entrelazada y anclada al fondo por las mismas plantas (Erize 1983, Fjeldså 1986, Beltran et al. 1992). Ambos sexos intervienen en el armado del nido, que dura pocas horas (Erize 1983, Roesler 2016). Posteriormente se produce la cópula, que es exitosa cuando el macho desmonta por la cabeza de la hembra (Erize 1983).



**Figura 2.** Colonia ‘típica’ de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) y Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*) en la laguna “El Cervecero” meseta del Lago Buenos Aires. (Foto: P. Hernández).

Las posturas comienzan en noviembre, con un pico en diciembre y enero, y las más tardías ocurren a fines de febrero (Fjeldså 1986, Beltrán et al. 1992, Roesler 2016). Estas fechas dependen de las condiciones ambientales para la nidificación en cuanto al estado de la Vinagrilla (porque debe estar en superficie) y también de las climáticas, ya que ciertas tormentas suelen iniciar procesos de reconstrucción de colonias destruidas por el viento (Fjeldså 1986, Roesler 2016). La puesta consiste en 2 huevos blanquecinos que se tornan pardos a medida que avanza la incubación (Beltrán et al. 1992, Roesler 2016). Esto representa el menor tamaño de nidada para una especie de macá (Nuechterlein & Johnson 1981).





**Figura 3.** Nidos ‘típicos’ de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*). A: Inicio de armado, B: Forma final. (Fotos: P. Hernández).

El período de incubación es de 21-22 días (Beltrán et al. 1992, Roesler 2016) al cabo del cual, por lo general, eclosiona un sólo huevo y la pareja abandona el nido (Nuechterlein & Johnson 1981, Beltrán et al. 1992). En la mayoría de los casos la pareja realiza períodos variables de incubación del huevo restante y luego lo abandona de forma definitiva si este no eclosiona en un plazo máximo de 3 días. Por esto, la prevalencia de crianza de 2 pichones es apenas del 2,6% (Roesler 2016).

### **Comportamiento parental y alimentación de los pichones**

Desde que el pichón nace ambos padres se turnan para alimentarlo y mantenerlo en el lomo (Figura 4) al que sube a los 5-10 minutos de finalizada la eclosión (Nuechterlein & Johnson 1981). Roesler (2016) midió la temperatura del lomo de los adultos y registró valores entre 36,3°C y 37,5°C. A lo largo de su desarrollo, el tiempo que el pichón pasa en el agua va en aumento. Las primeras semanas este tiempo es de sólo 30 segundos o menos, lo suficiente para el intercambio entre padres. Hacia el día 12 se han observado períodos de

aproximadamente 10 minutos y a los 20-21 días los pichones pasan gran parte del día nadando, lo que permite la alimentación simultánea por los padres (Roesler 2016).



**Figura 4.** Comportamiento parental de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*). A: Pichón de menos de una semana en el lomo de uno de los padres alimentado por el otro; B: Excepcionalmente algunas parejas crían los dos pichones; C: Pichón de aproximadamente una semana en un breve paso por el agua durante el intercambio entre padres; D: Pichón de más de 4 semanas aún alimentado por los padres. (Fotos: P. Hernández).

Se han realizado estudios a campo y análisis de contenido estomacal en los que se describe que los macaes se alimentan de distintos tipos de presas, que incluyen desde pequeños copépodos hasta caracoles (*Lymnaea cf. diaphana*) que sería su principal fuente de alimento (Storer 1982, Fjeldsá 1986). Sin embargo, modelos actuales basados en isótopos estables indican que los macaes tienen una dieta generalista respondiendo localmente a la abundancia de presas (Lancelotti en prep.). También se ha visto que la tasa de entrega de presas por parte de los progenitores a sus pichones varía ampliamente, entre 0,3 y 7,6 presas/min, lo que probablemente depende de la clase de presa entregada (Roesler 2016). Esto, sumado a las diferencias entre los contenidos estomacales, puede indicar una

especialización individual o temporal en la selección de presas (Fjeldså 1986), lo que sugiere que los pichones pueden ser alimentados con presas de menor tamaño al inicio de su vida (Imberti et al. 2020). Asimismo, la dieta de los pichones de Macá Tobiano, estimada a partir de la firma isotópica de dos ejemplares encontrados muertos en una laguna, estaría compuesta por una mezcla dominada principalmente por larvas de quironómidos, con un porcentaje medio estimado del 78% de la dieta y el resto por una combinación de anfípodos, copépodos y *Daphnia* spp. (Lancelotti 2009). También se ha observado que los padres entregan plumas a los pichones de manera frecuente desde los primeros días de vida (Roesler 2016) y, por lo tanto, sería un componente que debería incluirse en la dieta de pichones durante la cría.

## **Conclusión**

El conocimiento de la biología reproductiva y trófica de una especie es un aspecto fundamental para el armado de los protocolos de la cría *ex situ* (Gage & Duerr 2007). Si bien es imposible igualar las condiciones naturales, la información recolectada a campo marca las bases para el tratamiento artificial de los individuos.

La duración del período de incubación es clave para organizar la logística de la colecta y definir el momento más oportuno para realizarla. Asimismo, el registro de reconstrucción de colonias permite plantear la intervención en colonias vulnerables (*e.g.* expuestas al viento) a fin de evitar la pérdida de huevos viables y acelerar nuevos intentos de nidificación.

Cualquier información referida al mantenimiento de los pichones y cuidado parental es la base más certera para desarrollar los lineamientos de los protocolos que serán evaluados. Los registros existentes de frecuencia de entrega y tipo de presas sugieren la necesidad de una alimentación asidua y permite plantear escenarios de utilización de presas del entorno natural. También, conocer la temperatura en el lomo de los adultos indica el rango ideal de soporte térmico requerido por los pichones, carentes de la capacidad de termorregulación (Gage y Duerr 2007).

Al tratarse de una especie en peligro crítico de extinción a nivel global, resulta clave asegurar que cualquier estrategia no conlleve un riesgo extra para la misma. La necesidad y la conveniencia de un programa *ex situ* deben ser evaluados con sumo cuidado como parte de una estrategia de conservación integrada. La gestión *ex situ* debería aplicarse a la conservación de una especie cuando se pueda confiar en que el impacto positivo esperado en la conservación de esta especie supera los riesgos potenciales o cualquier impacto negativo (IUCN/SSC 2014). En este sentido, basados en la información existente, el programa de recría de Macá Tobiano puede ser desarrollado de forma sencilla sin potencial impacto sobre la población debido a una de las características del ciclo reproductivo: en el 97,4% de los casos sólo uno de los dos huevos alcanza la eclosión, por lo que la utilización del huevo “extra” (*i.e.* el huevo que sería abandonado naturalmente o ecológicamente perdido), no tendrían efecto negativo sobre el éxito reproductivo (Roesler 2016).

Desde su descubrimiento, el Macá Tobiano ha despertado el interés de varios investigadores y se ha acumulado mucha información pese al poco tiempo transcurrido. Sin embargo, no existen estudios enfocados a aspectos particulares de la incubación (*e.g.* peso del huevo recién puesto, porosidad de la cáscara, ambiente (temperatura y humedad) en el nido).

Más estudios son necesarios para ampliar los conocimientos logrados hasta el momento en relación a los pichones y el cuidado parental. Sería de gran utilidad para la recría *ex situ* profundizar sobre la alimentación de los pichones en relación a las presas entregadas y a la tasa de entrega a lo largo del crecimiento discriminando, para ambas variables, las distintas semanas de vida desde el nacimiento hasta la emancipación. También es relevante conocer la tasa de entrega de plumas y la frecuencia de intercambio del pichón entre los padres, momento en el cual defecan, dado que estas variables podrían influir en la salud digestiva de los pichones ya que los macaes son propensos a la acumulación de gas en su tracto gastrointestinal (Gage & Duerr 2007).

## **Capítulo 2. Re-cría *ex situ* de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*): Efecto de la colecta, transporte y parámetros de incubación en el éxito de eclosión**

### **Introducción**

La incubación es el proceso mediante el cual los huevos son mantenidos a temperaturas adecuadas para el desarrollo del embrión, en un ambiente húmedo que se modifica regularmente para permitir el intercambio de gases respiratorios y durante el cual son rotados regularmente (Deeming 2002). A lo largo de los años mucha información fue generada sobre la cría de aves de corral que sirve de base para el trabajo con especies silvestres, debido a que el conocimiento obtenido se puede extrapolar simplemente variando temperatura, humedad y períodos de incubación (Gage & Duerr 2007). Sin embargo, existen otros aspectos a considerar al trabajar con huevos recolectados de la naturaleza. Los huevos que han sido parcialmente incubados deben ser transportados con una fuente de calor para evitar su enfriamiento que podría afectar el desarrollo de los embriones (Gage & Duerr 2007). A su vez, en los estadios finales del desarrollo el calor producido por los embriones aumenta, por lo que un exceso en la temperatura de transporte también podría ser letal (Gage & Duerr 2007, Cobb 2013).

Durante la incubación, el parámetro más confiable para controlar el desarrollo del embrión es la pérdida de peso del huevo, regulada por la humedad de la incubadora (Tullet & Burton 1982). La pérdida de vapor de agua, alrededor del 10-20% de la masa inicial del huevo durante la incubación, es esencial para mantener la proporción relativa de agua en el contenido del huevo y para crear la cámara de aire en su polo obtuso (Ar & Rahn 1980, Davis et al. 1984). Tanto el exceso como el defecto en dicha pérdida disminuyen la probabilidad de eclosión (Hoyts 1979, Davis & Ackerman 1988). Asimismo, la cámara de aire permitirá la

respiración pulmonar del embrión hacia el final de la incubación (Rahn et al. 1976, Gage & Duerr 2007). Esta transición se puede determinar por visualización del ‘picaje’ interno (*i.e.* el embrión perfora la cámara de aire con el pico) por ovoscopía, por el aumento abrupto de la cámara de aire o, indirectamente, al escuchar al embrión piar dentro del huevo (Hick 1966, Gage & Duerr 2007). Por otro lado, la temperatura determina la tasa metabólica del embrión y, por lo tanto, su velocidad de desarrollo (Deeming 2002). A medida que el embrión se desarrolla, la producción de calor aumenta. Por este motivo, la temperatura de las nacedoras es usualmente un poco más baja que la de las incubadoras, con el fin de reducir el riesgo de sobrecalentamiento que dañaría a los embriones (Gage & Duerr 2007, Cobb 2013).

En el momento en que el embrión pica la cámara de aire comienza el proceso de eclosión. Luego de unos días, en respuesta a la disminución de oxígeno, se produce el ‘picaje’ externo (*i.e.* el embrión pica la cáscara) facilitado por el diente de eclosión y las contracciones de los músculos de eclosión. Sobreviene una pausa en la que el embrión descansa; luego rompe la cáscara a la vez que empuja con las patas en el polo opuesto del huevo. La eclosión finaliza cuando el embrión empuja la tapa y se libera de la cáscara (Gage & Duerr 2007).

El objetivo del presente capítulo es evaluar cómo influyen las distintas variables en el proceso de incubación, con el fin de generar un protocolo de cría que permita obtener pichones viables a partir de huevos recolectados en colonias reproductivas naturales, que incluye: colecta, transporte e incubación. Para esto evalué la etapa de incubación en la que colecté los huevos, duración del transporte desde la colonia, pérdida de peso de los huevos durante la incubación artificial y distintos protocolos de incubación entre los que varían la temperatura y la humedad.

## Métodos

### Colecta de huevos

Para la colecta de huevos seguí principalmente el método aplicado por Roesler (2016) de ingreso a las lagunas. Utilicé un bote inflable a remo, para dos personas, con elementos de seguridad para protección de las personas (traje seco de neoprene de 5 mm). Realicé la aproximación a la colonia viento en contra, para evitar que la deriva causada por las ráfagas de viento genere destrucción accidental de otras nidadas (Figura 1.A). La presencia en la colonia nunca superó los 10 minutos y no realicé más de dos acercamientos a la misma en un mismo día. Todas las colonias manipuladas fueron monitoreadas ininterrumpidamente (pre y post colecta) a lo largo de todo su desarrollo con el fin de detectar posibles efectos negativos causados por nuestra presencia. Realicé las colectas por la madrugada (o durante la mañana temprano) para aprovechar las horas de menor prevalencia de viento. En ocasiones en que la colonia estaba cerca de la costa la hice con una persona en el bote controlado por otra desde la costa mediante sogas (Figura 1.B). También probé otras formas de colecta, como la aproximación a pie con un *wader* en una colonia que se encontraba cercana a la costa en una zona de la laguna de baja profundidad (Figura 1.C) y mediante utilización de un *kayak* en días ventosos (Figura 1.D).



**Figura 1.** Métodos de colecta de huevos que utilicé en el estudio. A: Dos personas con remo (método más frecuente) (Foto: D. Billiet); B: Bote controlado con sogas desde la costa (Foto: M. Deming); C: Con *wader* y a pie (Foto: U. Mellone); D: Con *kayak* en días ventosos (Foto: A. Baissero).

Colecté los huevos en distintas etapas de incubación, por lo que dividí las colectas según el momento de incubación (de 20-21 días; Roesler 2016) en tres tercios: 1) primer tercio: huevos con 1 a 7 días de incubación natural; 2) segundo tercio: 8 a 14 días; y 3) tercer tercio: 15 a 21 días. Basé la asignación de las fechas de puesta en algunos casos en información de observación directa (obtenida por ‘guardianes de colonia’) y en otros por estimación a partir de las fechas de censado de lagunas y la cantidad de días de incubación artificial de los huevos hasta la eclosión. El tiempo mínimo de incubación artificial fue de 4 días lo que indicaría que ningún huevo fue colectado luego del día 16-17.

De los 45 huevos colectados 3 fueron de Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*), al ser especies del mismo sitio y filogenéticamente cercanas los utilicé para realizar pruebas cuando no fue posible coleccionar huevos de Macá Tobiano.

### Transporte

Para trasladar los huevos desde las lagunas al sitio de re-cría utilicé una conservadora plástica acondicionada con botellas de agua caliente (55-60°C) como fuente de calor, aisladas

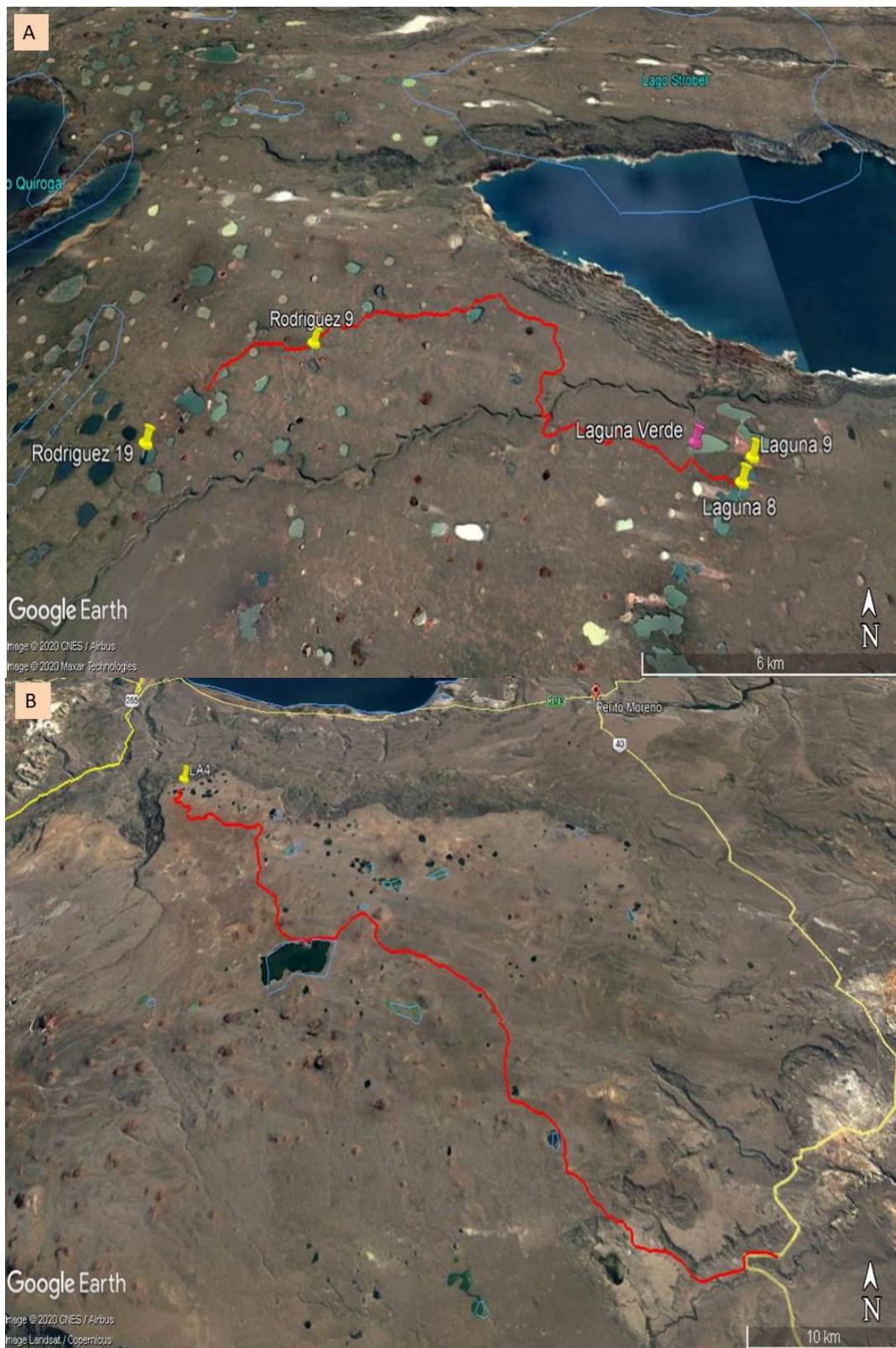


de los huevos por una capa simple de algodón. Coloqué los huevos de forma vertical con el polo obtuso hacia arriba, separados entre sí y de los costados por rollos de gasas (Figura 2.A). Usé un termómetro digital para control de la temperatura durante el traslado con el sensor colocado a la altura de los huevos pero sin entrar en contacto con ellos. Mantuve la temperatura del transporte entre 25-30°C.

Realicé las colectas en las lagunas Rodríguez 9, Rodríguez 19, Ocho y Nueve de la meseta del Lago Strobel (Figura 3.A) y la laguna LA4 de la meseta del Lago Buenos Aires (Figura 3.B), lo que resultó en tiempos de viaje de entre 15 minutos y 9 horas. La mayor parte del recorrido se hace por huellas de meseta por lo que, para evitar movimientos bruscos, la conservadora fue mantenida en suspensión por una persona durante todo el trayecto. La velocidad de tránsito por estas huellas depende en gran medida de su estado y en la mayoría de los casos requiere mucho tiempo realizar tramos cortos. Por esto consideré como variable para este estudio la duración del transporte (en tiempo), en lugar de la distancia en kilómetros, y clasifiqué las recorridos en 3 grupos: <1hs, 1-3hs, >3hs.



**Figura 2.** Acondicionamiento de huevos de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) para el transporte. A: Posición final de los huevos y el sensor de temperatura (Foto: M. Deming); B: Mientras se realiza la colecta se prepara la transportadora para el traslado (Foto: U. Mellone).



**Figura 3.** Localización de las lagunas donde realicé las colectas, ubicación de las huellas de acceso y entre paréntesis duración aproximada de traslado dependiendo de la ubicación de las instalaciones de cría Laguna Verde ó EBJMB. A: Rodríguez 9 (2hs/ 9hs), Rodríguez 19 (2hs 30min/ 9hs 30min), Ocho (20min/ 7hs) y Nueve (20min/ 7hs), meseta del Lago Strobel; B: LA4 (9hs/ 4hs), meseta del Lago Buenos Aires.

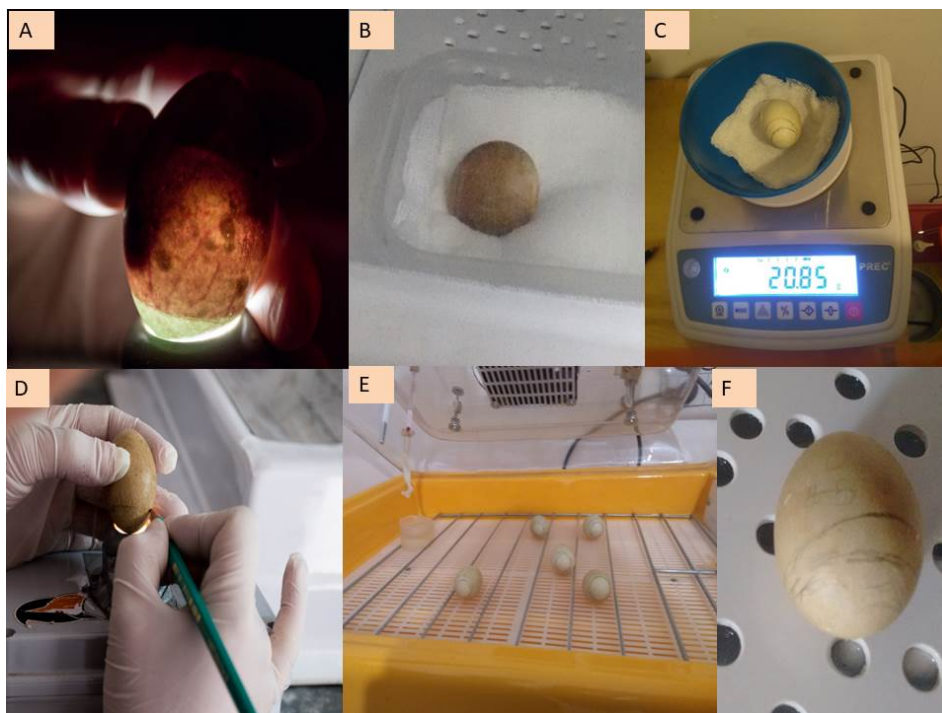
## **Incubación y nacimiento**

Una vez en las instalaciones de re-cría, rotulé los huevos con lápiz negro, con un número y un símbolo distinto de cada lado, para poder visualizar la correcta rotación automática en la incubadora. Luego los pesé y coloqué en la incubadora de forma horizontal. Después de 12 horas de incubación realicé la toma de medidas, largo y ancho, con calibre metálico. Al mismo tiempo, hice la primer ovoscopía para poder detectar rajaduras no visibles a simple vista y para marcar la cámara de aire con lápiz. Con una frecuencia que varió entre 2-3 días, generalmente cada 3 días, repetí la ovoscopía para monitorear el aumento de la cámara de aire, verificar movilidad embrionaria y detectar ‘picaje’ interno (indicador de inicio de eclosión).

Coloqué los huevos en incubadora con temperatura y humedad controlada mediante termómetros (bulbo seco y bulbo húmedo). Puse a prueba 5 protocolos temperatura/humedad (Tabla 1) aplicados según las distintas tandas de huevos obtenidas por temporada. Diariamente, respetando el horario (por la mañana), pesé los huevos con balanza digital de 0,01g de precisión para calcular la pérdida de peso diario.

Durante los 2-3 últimos días de incubación traspasé los huevos a una nacedora a la espera de la eclosión. Los signos para decidir la transferencia fueron las fechas aproximadas, el borde irregular de la cámara de aire (indicador de ‘picaje’ interno inminente), el crecimiento abrupto de la cámara de aire (signo de ‘picaje’ interno), escuchar piar a los embriones dentro del huevo (signo de ‘picaje’ interno), movimientos notorios del huevo y/o la visualización del pico dentro de la cámara de aire. En la nacedora los acondicioné en nidos artificiales armados con una caja plástica alargada y un sustrato de algodón envuelto en venda tipo Cambric cubierto por una gasa estéril, con los huevos en posición horizontal en un extremo del nido con el polo obtuso hacia el lado libre para facilitar la salida de pichón durante la eclosión.

Revisé los huevos cada una hora para detectar el momento de ‘picaje’ externo. Visto el orificio o grieta en la cáscara supervisé el proceso de eclosión completo por si algún pichón requería asistencia.



**Figura 4.** Imágenes del manejo de huevos de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) durante el proceso de incubación. A: Ovoscopía (Foto: M. Deming); B: Nido artificial (Foto: G. Gabarain); C: Pesaje (Foto: B. Tartaglia); D: Marcado de la cámara de aire (Foto: M. Deming); E: Posición en incubadora (Foto: B. Tartaglia); F: Rotulado (Foto: G. Gabarain).

**Tabla 1.** Listado de protocolos de incubación definidos: Temperatura (°C) y Humedad (%) y temporadas en que los puse a prueba.

	Incubadora		Nacedora		Temporadas
	Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad	
1	34,5-34,8	65-70	33,5-34,0	65-70	2016/2017
2	34,5-34,8	35-40	33,5-34,0	35-40	2016/2017
3	36,5-36,8	65-70	33,5-34,0	65-70	2016/2017
4	37,1-37,5	65-70	36,7-37,1	65-70	2015/2016 2019/2020
5	37,1-37,5	35-40	36,7-37,1	35-40	2017/2018

## **Análisis estadístico**

Para los diferentes análisis consideré como variable respuesta binaria a la eclosión (*i.e.* si el huevo llegó a eclosionar). De los 45 huevos colectados descarté uno debido a la rotura durante la manipulación en la toma de medidas.

Para comparar el efecto del tercio (1-7, 8-14, 15-21) de colecta realicé una prueba de Chi-cuadrado con 39 datos. Descarté cinco huevos del análisis porque desconocía la fecha de puesta (sin evidencias por observaciones de la colonia) y al no eclosionar no los pude clasificar.

Para evaluar la duración del transporte (<1hs, 1-3hs, >3hs) utilicé una prueba de Chi-cuadrado con 38 datos. Descarté seis huevos del análisis por no tener registrado el tiempo de traslado.

Para comparar la pérdida de peso entre huevos que eclosionaron y huevos que no, realicé una prueba U de Mann-Whitney (Wilcoxon) con 44 datos. También evalué la relación entre la pérdida de peso de los huevos con la temperatura y la humedad de incubación mediante análisis de correlación de Pearson.

Para comparar el efecto de los distintos protocolos de incubación, realicé una prueba de Chi-cuadrado con 40 datos. Sólo pude poner a prueba cuatro de los cinco protocolos de incubación propuestos de forma completa debido a que en la temporada 2016/2017, por un problema técnico en la nacedora, los huevos incubados a 36,6°C pasaron a una nacedora 3 grados más fría.

Realicé todos los análisis estadísticos con el programa estadístico InfoStat.

## **Resultados**

Colecté un total de 45 huevos en nueve eventos de colecta diferentes. De estos, 42 fueron de Macá Tobiano y 3 de Macá Plateado. La longitud media del eje mayor –alto– fue  $4,58 \pm 0,18$  cm (rango= 4,20–5,10 cm; n= 41); eje menor –ancho–  $3,08 \pm 0,07$  cm (rango=

2,90–3,20 cm; n= 41) para los huevos de Macá Tobiano. La longitud media del eje mayor –alto– fue  $4,33 \pm 0,32$  cm (rango= 4,10–4,70 cm; n=3); eje menor –ancho–  $2,90 \pm 0,10$  cm (rango= 2,80–3,00 cm; n= 3) para los huevos de Macá Plateado.

De los 44 huevos analizados, 7 se encontraban en el primer tercio de incubación, 17 en el segundo, 15 en el tercero y 5 no pudieron ser clasificados. La tasa de eclosión fue del 73% para el total de los huevos, con un 57% para huevos colectados en el primer tercio de incubación, 82% en el segundo y 93% en el tercero. El éxito de eclosión fue independiente del tercio de incubación en la que fueron colectados ( $\chi^2=4,25$ , g.l.=2, p= 0,1196). El peso medio de los huevos del primer tercio de incubación fue de  $23,70 \pm 1,80$  g (rango= 20,41–26,44 g; n= 7), del segundo  $21,98 \pm 1,54$  g (rango= 18,87–24,42 g; n= 17) y del tercero de  $21,40 \pm 1,51$  g (rango= 19,24–24,37 g; n= 12) para Macá Tobiano. Los 3 huevos de Macá Plateado se hallaban en el tercer tercio de incubación y su peso medio fue de  $18,26 \pm 1,77$  g (rango= 17,00–20,28 g; n= 13).

Realicé las colectas en cinco lagunas, ubicadas en dos mesetas, la del Lago Strobel y la del Lago Buenos Aires. El tiempo de transporte (duración) varió según la distancia al sitio de incubación (Laguna Verde o Estación Biológica Juan Mazar Barnett) y el estado de los caminos de acceso a las lagunas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Colectas por temporada y duración del transporte. Indico meseta donde realicé la colecta, laguna donde se encontraba la colonia, cantidad de huevos colectados, sitio de re-cría donde llevé los huevos y duración del período de transporte.

Temporada	Colecta	Meseta	Laguna	Huevos	Destino	Duración
2015/2016	1	Strobel	Rodríguez 9	6	Laguna Verde	1 hs 50 min
2015/2016	2	Strobel	Rodríguez 9	6	Laguna Verde	Sin datos
2016/2017	1	MLBA	LA4	8	Laguna Verde	9 hs 02 min
2016/2017	2	Strobel	Rodríguez 19	8	Laguna Verde	2 hs 30 min
2017/2018	1	Strobel	Nueve	2	Laguna Verde	0 hs 23 min
2017/2018	2	Strobel	Ocho	4	Laguna Verde	0 hs 16 min
2017/2018	3	Strobel	Ocho	4	Laguna Verde	0 hs 22 min
2017/2018	4	Strobel	Ocho	2	Laguna Verde	0 hs 16 min
2019/2020	1	Strobel	Nueve	5	EBJMB	7 hs 13 min

Para la comparación de la duración del transporte los huevos quedaron agrupados en: <1hs, n= 12; 1-3hs, n= 14; >3hs, n= 12. No detecté diferencias significativas entre grupos de huevos con diferente duración del transporte hasta el sitio de re-cría ( $\chi^2= 0,86$ , g.l.= 2, p= 0,6492).

La pérdida de peso del huevo diaria media durante la incubación fue de  $1,05 \pm 0,35$  % (rango= 0,31–1,61%; n= 44). No detecté diferencias significativas en el porcentaje de pérdida de peso entre los huevos que eclosionaron y los huevos que no eclosionaron (W=254, gl=1, p= 0,6732). La pérdida de peso mantuvo una relación positiva con la temperatura de incubación (r= 0,83; p< 0,001), sin haber una relación significativa con la humedad (r= -0,22, p= 0,1607).

La distribución de los huevos en los cuatro protocolos de incubación que pude poner a prueba de forma completa fue: 7 huevos (protocolo 1), 4 huevos (protocolo 2), 17 huevos (protocolo 4) y 12 huevos (protocolo 5). No detecté diferencias significativas en la eclosión entre los distintos protocolos ( $\chi^2= 1,01$ , g.l.= 3, p= 0,7982).

## Conclusiones

Algunas especies, como las aves rapaces, tienen un mayor éxito de eclosión si cuentan con un período de incubación natural previo a ser incubados artificialmente (Gage & Duerr 2007). MacVean (1988) afirma que los huevos no deberían ser colectados antes del segundo tercio de la incubación. En mi estudio no encontré diferencias en la tasa de eclosión asociadas a la etapa (tercio) de colecta. Sin embargo, estudios en aves domésticas dan cuenta que en los primeros 12 días de incubación se produce el desarrollo del 90% de los órganos del embrión (Deeming 2002), por lo que es probable que los embriones en desarrollo sean más susceptibles a sufrir daños durante el transporte. Si bien no encontré diferencias estadísticamente significativas, hallé una tendencia a una mayor tasa de eclosión en huevos colectados en etapas tardías (93% contra 57%). Por lo que sería adecuado a futuro profundizar estas pruebas y contar con un mayor número de muestras para evaluar la importancia del momento de la colecta en el éxito de la re-cría.

Durante mi trabajo no encontré diferencias significativas en la eclosión en relación a la duración del transporte de los huevos. Sin embargo, la tasa de eclosión de los huevos que tuvieron mayores tiempos de transporte fue algo menor a la de los otros dos grupos. Es posible que dos de los huevos con mayor tiempo de transporte en la temporada 2019-2020 pudieran haber sido dañados durante el traslado ya que, al detectar un descenso en la temperatura de la transportadora, agregué una botella de agua caliente cerca de estos huevos y pude generarles un sobrecalentamiento letal para los embriones, como se sugiere que puede ocurrir (ver Gage & Duerr 2007, Cobb 2013). Por esto, a mayor tiempo de transporte sería mayor el riesgo potencial para los huevos. Sería importante aumentar los estudios de caso para evaluar el efecto de los cambios de temperatura y así perfeccionar el método de transporte de larga duración.



No encontré una relación estadísticamente significativa en la pérdida de peso de los huevos con respecto al éxito de eclosión. Sin embargo, todos los huevos que perdieron menos del 0,5% diario, aproximadamente 10% de su masa inicial, fallaron en la eclosión. Esto concuerda con la bibliografía que dice que una pérdida de la masa inicial de entre 10% y 20% es esencial (Ar & Rahn 1980, Davis et al. 1984), y que tanto el exceso como el defecto en dicha pérdida disminuyen la probabilidad de supervivencia del embrión (Hoyt 1979, Davis & Ackerman 1988). En mi trabajo las pérdidas superiores al 20% no afectaron la eclosión. Esto podría deberse a una adaptación de las aves que crían en lugares de altura, donde la menor presión atmosférica implica una mayor pérdida de agua, que contienen una mayor masa de agua inicial en el huevo para asegurar que el contenido final de agua de los embriones sea el correcto (Carey et al. 1983). La baja eclosión en los huevos que perdieron entre 0,3 y 0,5% diario también concuerda con el experimento que MacVean (1988) realizó incubando huevos de *Podilymbus podiceps* donde, con una pérdida total de 4% de la masa inicial, obtuvo una tasa de eclosión de tan sólo el 25%.

Algunos autores sostienen que la temperatura de incubación no tendría efecto sobre la pérdida de peso de los huevos (Swann & Brake 1990) y que estaría regulada por la humedad de la incubadora (Lundy 1969, Rahn & Ar 1974, MacVean 1988, Gage & Duerr 2007). En mi trabajo observé que, por el contrario, la pérdida fue más afectada por la temperatura que por la humedad, lo que podría deberse a alguna particularidad de la especie dado el clima seco al que se ha adaptado.

Es abundante la bibliografía que menciona a las deficiencias en los parámetros de incubación (temperatura y humedad) como causa de mortalidad embrionaria. Tanto el exceso como el defecto puede ser letal para los embriones provocando la muerte en fases tempranas, intermedias o tardías, e incluso luego de iniciado el proceso de eclosión (Plano & Di Matteo 2001, Gage & Duerr 2007, Cobb 2013). En mi trabajo no detecté diferencias significativas en

la eclosión entre protocolos de mayor y menor temperatura y humedad. Algunos autores describen eclosiones exitosas a temperaturas variables en un rango de 32°C–40°C (Eiby & Booth 2009, DuRant et al. 2013, Ipek et al. 2014). Si bien el objetivo de estos estudios no estuvo centrado en la eclosión, los resultados obtenidos sugieren que la temperatura de incubación no tendría efectos sobre el éxito de eclosión, pero sería importante para el grado de desarrollo y posterior supervivencia de los pichones nacidos (Demming & Reynolds 2015, DuRant et al. 2011) (ver Capítulo 3).

Los resultados obtenidos en este capítulo muestran que es posible incubar exitosamente de manera artificial huevos de Macá Tobiano. Logré una tasa de eclosión elevada, similar a la tasa natural (Roesler 2016). La experiencia generada a lo largo de los años por el PMT marca una gran ventaja en relación a la logística y conocimiento en terreno. Dado que la eclosión es sólo el primer paso en un programa de re-cría, es necesario correlacionar los resultados de la incubación con la etapa de crianza de los pichones, a fin de perfeccionar los protocolos desarrollados.

### **Capítulo 3. Re-cría *ex situ* de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*): Efecto de los parámetros de incubación, alimentación y frecuencia de atención en la supervivencia de pichones**

#### **Introducción**

La etapa de pichón no comienza inmediatamente luego de la eclosión sino cuando termina el secado del plumón, momento a partir del cual se considera nacido. Hay dos grandes grupos en los que se puede dividir a las crías de las aves, altriciales y precociales, aunque existen numerosas situaciones intermedias (Gage & Duerr 2007). Las especies altriciales nacen con los ojos cerrados, prácticamente sin plumas y con movilidad muy reducida dependiendo de forma exclusiva de sus padres para sobrevivir, mientras que las precociales nacen con sus ojos abiertos, el cuerpo cubierto y la habilidad de dejar el nido tan pronto como termina el secado, requiriendo menor cuidado por parte de los padres (Gage & Duerr 2007). Las crías de los macaes son semi-precociales, ya que nacen con los ojos abiertos y cubiertos de plumón, pero dependen de los padres para controlar su temperatura corporal y alimentarse (Fjeldså 2004). Durante las primeras semanas de vida son transportadas en el lomo de sus padres pasando por el agua únicamente el tiempo necesario para el intercambio entre padres, momento en el que beben y defecan (Gage & Duerr 2007). El peso de los pichones varía entre 15-30 g según se trate de especies pequeñas o grandes (Gage & Duerr 2007).

Para empezar un proyecto de cría en cautiverio es importante conocer las particularidades de la especie a criar, con el fin de acondicionar las instalaciones para el cuidado de esos pichones (Gage & Duerr 2007). Los macaes están adaptados a la vida en el agua por lo que requieren de una superficie mullida donde reposar cuando están por largos períodos fuera de esta, para evitar la formación de úlceras en las patas o quilla (MacVean

1988, Padilla 2015). También necesitan ser colocados en piletas para beber, defecar y realizar nados cortos, porque el movimiento de nado estimula la excreción (Gage & Duerr 2007).

La forma de seleccionar una dieta apropiada es tomar de base la ecología trófica, fisiología, anatomía digestiva y requerimientos nutricionales de la especie (McDonald 2006). Aún no han sido establecidos los requerimientos nutricionales precisos para los macaes pero el hecho de que se alimenten de invertebrados vivos y peces (Lancelotti et al. en prep.) indica que esa es la dieta que necesitan (Gage & Duerr 2007). Como especies precociales deben ser alimentados con presas pequeñas, que incluyan insectos vivos para estimular el comportamiento de auto alimentación (Padilla 2015). Asimismo, el consumo de plumas es un comportamiento observado en macaes, donde los adultos ingieren sus propias plumas y también se las entregan a sus pichones (Fjeldså 2004). También se han observado individuos regurgitando pellets de plumas y hueso o restos de insectos (Storer 1961, Robinson 2009, obs. pers.).

El objetivo del presente capítulo es evaluar cómo influyen distintas variables en la crianza *ex situ* de pichones de Macá Tobiano, con el fin de generar un protocolo de cría que permita obtener juveniles que alcancen un desarrollo que les permita sobrevivir de forma independiente y puedan ser liberados. Para esto evalué el efecto en la supervivencia de variables que incluyen diferentes protocolos de incubación (temperatura y humedad), la pérdida de peso diaria de los huevos durante la incubación, alternativas de alimentos y frecuencia de atención de los pichones (alimentación y paso por el agua).

## **Métodos**

Al finalizar la eclosión (Figura 1) retiré las cáscaras y tapé al pichón con un apósito estéril para que se refugiara como si estuviera entre las plumas de los padres. Luego de dos horas, verificado el secado del plumón, consideré nacido al pichón y lo retiré de la nacedora para colocarlo en una caja de cría con una fuente de calor inferior (Figura 2). Desde la

temporada 2015–2016 hasta 2017–2018 les proporcioné calor por medio de bolsas de agua caliente a 36–37°C, similar a la temperatura del lomo de los adultos (según Roesler 2016), las cuales debían ser renovadas cada 30–60 minutos según la temperatura ambiente. En la temporada 2019–2020 conté con un corral con base térmica lo cual mejoró la estabilidad de la temperatura de mantenimiento de los pichones. Los primeros días luego del nacimiento les yodé el ombligo para facilitar su secado y evitar posibles infecciones.



**Figura 1.** Pichón de Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*) apenas finalizada la eclosión, permanecerá en la nacedora hasta el completo secado del plumón (Foto: G.Gabarain).



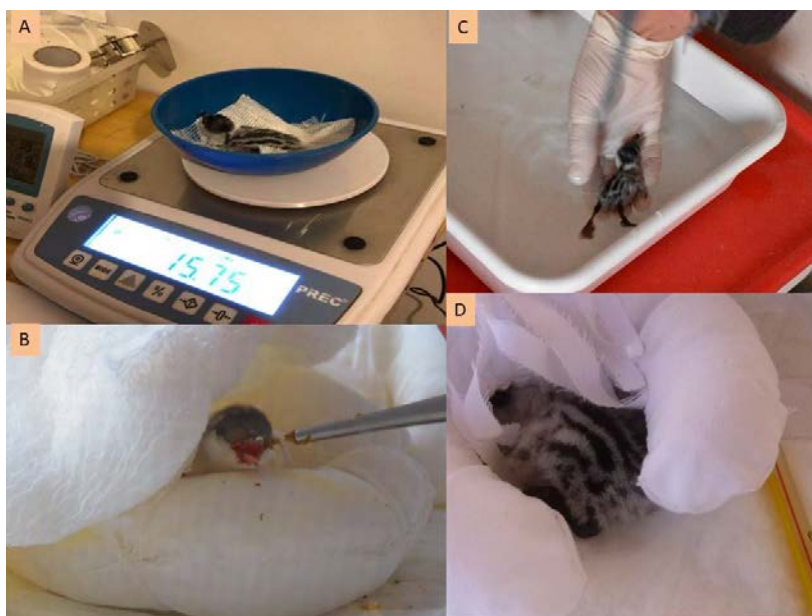
**Figura 2.** Cajas de cría. A: Pichones de Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*) sobre bolsas de agua caliente (fuente de calor) que debían ser renovadas cada 30-60 minutos; B: Corral con piso térmico a base de resistencia eléctrica con temperatura constante (Fotos: G. Gabarain).

El tratamiento diario de los pichones consistió en pesaje a primera y última hora del día, con balanza de precisión (0,01g), alimentación y paso por pileta para que beban y

defequen (Figura 3). Utilicé el dato del peso como indicador de crecimiento y para calcular el consumo de alimento en relación al peso corporal. Planteé tres escenarios de alimentación diurna y nocturna, en base al intervalo entre comidas, y uno sin comida nocturna aplicados según la cantidad de pichones obtenidos por temporada (Tabla 1). La diferencia entre tratamientos estuvo en la frecuencia de alimentación nocturna. La alimentación siempre estuvo acompañada de una sesión de nado para estimular defecación. En el escenario “D” que no contemplaba alimentación nocturna de todas maneras los pichones pasaron por la pileta una vez durante la noche. Asimismo, utilicé tres opciones de alimentos aplicados según los pichones obtenidos y el alimento disponible por temporada: A- balanceado hipoalergénico para gatos y trucha (2015/2016), B- anfípodos (2015/2016-2016/2017-2017/2018-2019/2020), y C- larvas de quironómidos liofilizadas rehidratadas con agua (2019/2020). A todos los pichones les ofrecí pluma.

**Tabla 1.** Frecuencia de alimentación y paso por pileta de pichones (intervalo en horas) y temporada en que fueron aplicados.

Escenario	Día	Noche	Temporada
A	1	1	2015/2016 2019/2020
B	1	2	2015/2016 2016/2017 2017/2018
C	1	4	2016/2017 2017/2018
D	1	NO	2015/2016 2016/2017 2017/2018



**Figura 3.** Imágenes de atención diaria de los pichones de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*). A: Pesaje para control de pérdida / ganancia de peso (Foto: B. Tartaglia); B: Alimentación con pinza, el pichón asoma la cabeza y picotea ante estímulos visuales y auditivos (Foto: B. Tartaglia); C: Pileta, los pichones son colocados en piletas para que beban, defequen y realicen pequeños nados, luego trepan a la mano tal como harían al lomo de los padres (Foto: L. Martín); D: Pichón en posición de descanso en la caja de cría (Foto: G. Gabarain).

### **Análisis estadístico**

Para el análisis de datos consideré como variable respuesta el tiempo de supervivencia (en horas) de los pichones en la etapa inicial de su desarrollo hasta los 15 días de vida (360 hs) o muerte. Consideré 15 días, debido a que esta edad es cuando los pichones comienzan a ser menos dependientes del cuidado externo (*e.g.* pescan el alimento, permanecen más tiempo en el agua), por lo que el tratamiento de alimentación se modifica, ergo, debe evaluarse separadamente. Trabajé con un total de 32 pichones nacidos (ver Capítulo 2). Dado que la supervivencia no seguía una distribución normal (prueba de Shapiro-Wilks de normalidad:  $w=0,65$ ;  $p < 0,001$ ) realicé las comparaciones con pruebas no paramétricas con un nivel de significancia de 0,05.

Para evaluar diferencias en el efecto de los distintos protocolos de incubación (ver Capítulo 2- Tabla 1), realicé una prueba de Kruskal Wallis, con 29 datos y contrastes *a*

*posteriori*. De los 5 protocolos de incubación propuestos sólo pude poner a prueba de forma completa cuatro, debido a que en la temporada 2016–2017, por un problema técnico en la nacedora, los huevos incubados a 36,6°C pasaron a una nacedora 3 grados más fría.

Para evaluar la relación respecto a la pérdida de peso diaria de los huevos durante la incubación clasifiqué los datos en 3 intervalos (0,6–0,9%; 1,0–1,3% y 1,4–1,7%) y utilicé para el análisis una prueba de Kruskal Wallis, con 32 datos y contrastes *a posteriori*.

Para comparar el efecto del tipo de alimento descarté diez pichones que nunca comenzaron a comer y debido al bajo ‘n’ de pichones agrupé los alimentos utilizados en dos categorías “alimento balanceado” y “anfípodos/larvas”. Comparé el efecto del tipo de alimento con una prueba de U de Mann-Whitney con 22 datos.

Para evaluar la frecuencia de atención de los pichones (alimentación y paso por pileta) utilicé una prueba de Kruskal Wallis, con 22 datos y descarté nuevamente los diez pichones que no comieron. También realicé una comparación entre pichones con y sin alimentación nocturna, para esto consideré al grupo que tuvo una sola comida a la noche como sin alimentación nocturna, y usé una prueba U de Mann-Whitney con 22 datos.

Realicé todos los análisis estadísticos con el programa estadístico InfoStat.

## **Resultados**

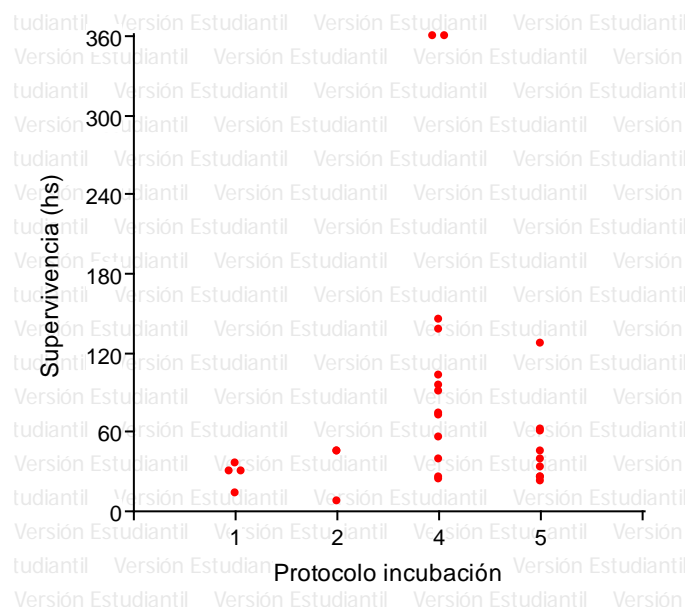
De los 45 huevos incubados eclosionaron 32 sin haber muertes durante el secado de los pichones. De 32 pichones nacidos, 29 fueron de Macá Tobiano y 3 de Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*). El peso medio al nacimiento fue de 14,91  $\pm$ 0,85 g (rango= 12,96–16,29 g; n= 29) para Macá Tobiano y de 12,28  $\pm$ 1,40 g (rango= 11,33–13,88 g; n= 3) para Macá Plateado.

El tiempo de supervivencia medio de los pichones fue de 54,90  $\pm$ 35,94 hs (rango= 7,00–145,00 hs; n= 29) para Macá Tobiano, y de 274,33  $\pm$ 148,38 hs (rango= 103,00–360,00



hs; n= 3) para Macá Plateado. Dos individuos de Macá Plateado superaron los 15 días de vida, uno murió a las 362 hs y otro fue liberado exitosamente a los 67 días de vida (1608 hs).

La distribución de los pichones en los 4 protocolos de incubación que pude poner a prueba de forma completa fue: 4 pichones (protocolo 1), 3 pichones (protocolo 2), 13 pichones (protocolo 4) y 9 pichones (protocolo 5). Los individuos así agrupados tuvieron una supervivencia media de  $27,50 \pm 9,43$  hs (rango= 14,00–36,00 hs; n= 4) con el protocolo 1;  $32,67 \pm 22,23$  hs (rango= 7,00–46,00 hs; n= 3) con el protocolo 2;  $121,77 \pm 112,18$  hs (rango= 24,00–360,00 hs; n= 13) con el protocolo 4; y  $49,22 \pm 32,64$  hs (rango= 23,00–127,00 hs; n= 9) con el protocolo 5 (Figura 4). El tiempo de supervivencia del protocolo 4 fue significativamente mayor respecto al del protocolo 1 ( $H= 9,10$ , g.l.= 3,  $p= 0,028$ ). No detecté diferencias significativas entre los demás protocolos (Tabla 2). Una parte de los pichones nacidos nunca comenzó a comer, la proporción en cada protocolo fue: 75% para el protocolo 1, 100% para el 2, 15% para el 4 y 22% para el 5.

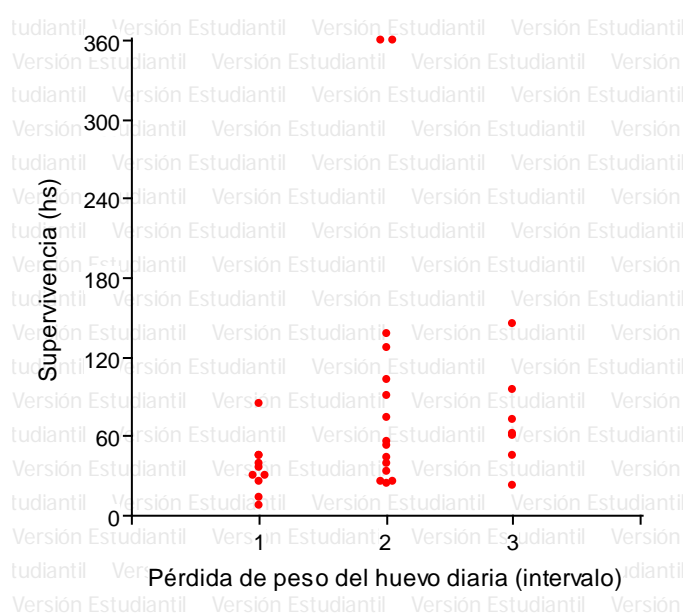


**Figura 4.** Supervivencia (horas) de pichones según los protocolos de incubación (Temperatura / Humedad) 1: 34,5-34,8°C / 65-70 %, 2: 34,5-34,8°C / 35-40 %, 4: 37,1-37,5°C / 65-70 %, 5: 37,1-37,5°C / 35-40 %.

**Tabla 2.** Resultados de los contrastes por pares para la variable “Protocolo de incubación”. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Protocolo	Rangos	
1	7,50	A
2	10,17	AB
5	12,78	AB
4	19,96	B

Para la comparación de la pérdida de peso diaria de los huevos durante la incubación los pichones quedaron agrupados en: intervalo 1 (0,6–0,9%,  $n = 10$ ); intervalo 2 (1,0–1,3%,  $n = 15$ ) e intervalo 3 (1,4–1,7 %,  $n = 7$ ). El tiempo de supervivencia medio fue de  $35,70 \pm 21,13$  hs (rango= 07,00–84,00 hs;  $n = 10$ ) en el primer grupo,  $103,53 \pm 110,26$  hs (rango= 24,00–360,00 hs;  $n = 15$ ) en el segundo y  $72,14 \pm 39,16$  hs (rango= 23,00–145,00 hs;  $n = 7$ ) en el tercero (Figura 5). Hubo una supervivencia significativamente menor entre el primer grupo respecto de los otros dos ( $H = 6,08$ ,  $g.l. = 2$ ,  $p = 0,048$ ) (Tabla 3).



**Figura 5.** Supervivencia (horas) de pichones según los intervalos de pérdida de peso diaria del huevo durante la incubación 1: 0,6–0,9%, 2: 1,0–1,3%, 3: 1,4–1,7 %.

**Tabla 3.** Resultados de los contrastes por pares para la variable “Pérdida de peso diaria del huevo”. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Intervalo	Rangos	
1	10,45	A
2	19,00	B
3	19,79	B

La asignación de alimentos en los 22 pichones que comieron fue: 4 pichones (alimento balanceado) y 18 pichones (anfípodos/larvas). El tiempo de supervivencia medio fue de  $74,75 \pm 25,58$  hs (rango= 39,00–96,00 hs;  $n = 4$ ) en el primer grupo y  $102,39 \pm 100,48$  hs (rango= 23,00–360,00 hs;  $n = 18$ ) en el segundo. No detecté diferencias significativas en el tiempo de supervivencia entre los distintos alimentos ( $W = 48,00$ ,  $p = 0,8648$ ).

La distribución entre las frecuencias de atención de los pichones fue: 3 pichones (Escenario A), 4 pichones (Escenario B), 4 pichones (Escenario C) y 11 pichones (Escenario D), con una supervivencia media de  $187,00 \pm 156,29$  hs (rango= 56,00–360,00 hs;  $n = 3$ ) para el escenario A;  $95,00 \pm 43,69$  hs (rango= 53,00–138,00 hs;  $n = 4$ ) para el B;  $53,50 \pm 20,49$  hs (rango= 40,00–84,00 hs;  $n = 4$ ) para el C y  $89,73 \pm 93,69$  hs (rango= 23,00–360,00 hs;  $n = 11$ ) para el D. No encontré diferencias significativas en el tiempo de supervivencia respecto a los distintos escenarios ( $H = 4,09$ , g.l.= 3,  $p = 0,2518$ ). En la comparación entre pichones con o sin alimentación nocturna el tiempo de supervivencia medio fue de  $134,43 \pm 107,31$  hs (rango= 53,00–360,00 hs;  $n = 7$ ) en el grupo con alimentación nocturna y  $80,07 \pm 81,46$  hs (rango= 23,00–360,00 hs;  $n = 15$ ) en el grupo sin alimentación nocturna. No detecté diferencias significativas en el tiempo de supervivencia entre los dos grupos ( $W = 106,50$ ,  $p = 0,0667$ ).

## Conclusiones

El número de casos en este estudio resulta insuficiente para realizar análisis estadísticos robustos que permitan evaluar el efecto combinado de las variables registradas. Sin embargo, observé ciertas tendencias en relación a las variables contempladas que pueden orientar pruebas futuras.

Excesos o defectos de temperatura durante la incubación pueden afectar el desarrollo embrionario y la performance subsecuente de los polluelos (Barri 2008). En mi trabajo encontré una supervivencia significativamente menor en pichones nacidos de un protocolo de baja temperatura respecto de uno de mayor temperatura. Si bien en los análisis estadísticos no detecté diferencias significativas en relación a los dos protocolos de baja temperatura, los cinco pichones de mayor supervivencia surgieron de los protocolos de temperatura más alta. Cabe agregar que observé algunas características que podrían indicar cierto grado de inmadurez en los pichones nacidos de protocolos de menor temperatura (*i.e.* ombligo abierto, letargia). Esto concuerda con estudios realizados por DuRant et al. (2010), donde probó que crías de *Aix sponsa* nacidos de protocolos de incubación con baja temperatura tenían menor supervivencia, condición corporal y crecimiento que los incubados a temperaturas más altas. Además, la mayoría de pichones nacidos de protocolos fríos nunca comenzó a comer, esto podría deberse a un defecto en el desarrollo o también al denominado “síndrome del hambre” o “*starve-out*” (Routh & Sanderson 2009), una de las causas más frecuentes de mortalidad en pichones durante la primera semana de vida (Waldroup et al. 1974). También, la temperatura durante la incubación puede tener efectos negativos en el desarrollo del aparato gastrointestinal y en la adecuada maduración del tracto, con el resultado de una ineficiente utilización de nutrientes (Barri 2008).

La pérdida de peso de los huevos durante la incubación puede afectar la viabilidad de los pichones. Una pérdida insuficiente puede generar pichones edematosos, letárgicos, con escasa retracción del saco vitelino y ombligos abiertos. El exceso causa pichones deshidratados, débiles y con una deficiente mineralización ósea (Gage & Duerr 2007). En mi trabajo encontré una supervivencia significativamente menor en los pichones que nacieron de huevos con una pérdida de peso diaria menor al 1%, lo que sugiere la necesidad de una pérdida mínima del 21% de la masa inicial del huevo. Esto concuerda con algunos autores que

indican que los huevos puestos a grandes altitudes sufren una mayor pérdida de agua (Carey et al. 1983, Gage & Duerr 2007). También observé una tendencia a mayor supervivencia ligada a una pérdida de entre 1,0 y 1,3% respecto a una pérdida de entre 1,4 y 1,7%, pero sin resultados estadísticamente significativos. Es necesario profundizar en la evaluación de este aspecto para determinar el rango indicado para la incubación de Macá Tobiano.

No encontré diferencias significativas en la supervivencia en relación a la alimentación con distintos alimentos. La cantidad de individuos contemplados resulta insuficiente para obtener resultados concluyentes. Sin embargo, obtuve los mejores resultados de supervivencia (mayor sobrevivencia en horas) con anfípodos o larvas de quironómidos. Estos alimentos se corresponden a los administrados por los padres en vida silvestre (Lancelotti 2009). Es probable que hasta alcanzar la madurez del tracto digestivo los pichones precisen de un alimento iniciador de fácil digestión por lo que la utilización de un alimento balanceado no sería apropiada. Esto plantea el desafío de la búsqueda de alimento en lagunas que insume un gran esfuerzo e inversión de tiempo. Las larvas de quironómidos se consiguen liofilizadas de forma comercial lo que podría facilitar esa tarea. En este trabajo sólo pude suministrárselas a un individuo por lo que son necesarias más pruebas para evaluar su eficacia a nivel nutricional reflejada en la ganancia de peso y supervivencia. Asimismo es importante realizar más pruebas con alimento balanceado previo a descartarlo, dado que sería la opción más eficiente a nivel logístico y operativo.

En todos los protocolos de alimentación incluí la administración de pluma. Lawrence (1950) sugiere que la pluma podría acelerar la digestión y también ayudar a la expulsión de material indigestible (MacVean 1988). En mi trabajo sólo observé la expulsión de un pellet (Figura 6) por parte de un individuo de Macá Plateado de 7 días de edad formado por plumas y restos de anfípodos sin digerir. El consumo de este ejemplar rondaba los 600 anfípodos diarios; esto se corresponde con algunos autores que mencionan que es probable que la

expulsión o no de pellet esté relacionada con el tipo de alimento y sería mayor en macaes que se alimentan de insectos o invertebrados (Storer 1961).



**Figura 6.** Imagen de pellet expulsado por un individuo de Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*) formado por plumas y restos de anfípodos (Foto: G. Gabarain).

No hubo diferencias significativas entre los distintos escenarios de frecuencia de alimentación. Sin embargo, hay una tendencia a la mayor supervivencia en los protocolos de alimentación más asidua. Esto podría estar relacionado con que la ingesta de alimentos activa la motilidad gastrointestinal, dado que el peristaltismo es una respuesta refleja que se inicia cuando la pared intestinal se estira por el contenido luminal y se presenta en todos los segmentos del tubo digestivo desde el esófago hasta el recto (Barrett et al. 2010). Los macaes son susceptibles a desarrollar gastritis, lo que provoca acumulación de gases a nivel estomacal con la consecuente compresión de órganos que conlleva a la muerte del individuo por falla multiorgánica (Gage & Duerr 2007). Esta gastritis, conocida en la bibliografía como “*bloat*”, puede ser causada por una obstrucción del tracto gastrointestinal, pero con mayor frecuencia se trata de una reacción biológica del intestino a la comida o actividad bacteriana. En mi trabajo, la mayoría de los pichones murieron por esta causa. Es notable como aumenta el volumen del abdomen y a la palpación se nota mayor resistencia. A medida que avanza el cuadro se observa actitud ortopneica y disnea. En la pileta algunos pichones nadan o flotan hacia la derecha, con el costado izquierdo hacia arriba e incluso algunos se voltean. En las necropsias tuve la sensación de contenido gaseoso a la palpación.

El mantenimiento de la motilidad podría ayudar a evitar el acumulo de gases. También, hay que considerar que cada sesión de alimentación estuvo acompañada del paso por la pileta para la excreción; si bien no defecan en cada oportunidad, sí observé la liberación de gases en el agua y es probable que este fuera un factor influyente en la mayor supervivencia de los pichones con atención más frecuente.

En este trabajo logré obtener pichones de Macá Tobiano y Macá Plateado a partir de la incubación artificial de huevos colectados de la naturaleza. El peso medio al nacimiento de los pichones coincide con el descrito en la bibliografía para las especies pequeñas de macaes (Gage & Duerr 2007). Hasta el momento ningún autor había presentado información sobre el peso de los pichones de Macá Tobiano y Macá Plateado. La crianza y liberación de un ejemplar de Macá Plateado demuestra que es posible la re-cría *ex situ* de esta especie. Esto suma una nueva especie a las experiencias realizadas con macaes (Hick 1966, MacVean 1988). En cuanto al Macá Tobiano es necesario continuar con los ajustes de los protocolos propuestos a las particularidades de la especie. Cabe destacar dos individuos con supervivencias de 127 hs y 145 hs, en los cuales observé una buena evolución hasta un evento específico. En el primer caso el pichón estuvo expuesto a un exceso de calor por una conjunción de causas meteorológicas y operativas, con evidentes signos de estrés térmico (alas abiertas, cuello extendido), razón por la cual, supongo que, dejó de comer y por ende de defecar lo que derivó en la acumulación de gas. En el segundo caso modifiqué el régimen de atención (aumenté el tiempo entre comidas), momento en el que comencé a observar la acumulación de gas en el estómago. Esto refuerza la tendencia observada en la comparación entre los distintos escenarios de atención razón por la cual sería preciso realizar nuevas pruebas para obtener resultados concluyentes.

En el éxito de cría hay muchos factores involucrados, resulta necesario continuar los estudios para poder evaluar como las interacciones entre estos factores influyen en el

proceso. Pero el trabajo en conservación tiene la desventaja de la dificultad de conseguir una gran cantidad de datos para realizar modelos que permitan evaluar la interacción entre variables, que sean estadísticamente robustos, y así evaluar cómo operan los efectos combinados en el resultado buscado. Por este motivo se efectúan, mayormente, análisis individuales con la consecuencia de la imposibilidad de poner a prueba la interacción de factores.



## Conclusiones Generales

En este trabajo describo las primeras experiencias de re-cría *ex situ* de Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*) y Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*), donde logré la crianza y liberación exitosa de un individuo de Macá Plateado (ver Anexo 4). A pesar de no tener éxito en la crianza de ningún individuo de Macá Tobiano (especie objetivo) hasta el estadio de juvenil, pude generar información valiosa y ganar el entrenamiento necesario a nivel de capacidad operativa y logística para el desarrollo de un programa exitoso. Estos aspectos resultan clave dadas las características particulares de la zona de trabajo, de la especie en cuestión y de la nula disponibilidad de infraestructura *in situ* para estos fines (ver Metodología General y Capítulo 1).

Aunque los resultados aún no permiten conclusiones definitivas, principalmente debido al bajo número de eventos analizados, en las diferentes variables contempladas observé tendencias que podrían indicar el rumbo hacia el cual orientar las futuras experiencias. Cabe destacar que, al trabajar con una especie de población reducida (menos de 400 parejas reproductoras) y con variabilidad extrema en el éxito reproductivo entre temporadas (temporadas sin formación de colonias), no es posible contar con un número de casos adecuado para llevar adelante análisis sofisticados (sobre todo en cuanto al tratamiento estadístico). También es muy ambicioso plantear un diseño experimental estático. Aumentar el número de experiencias, aun en años positivos para la reproducción del macá, significaría una inversión logística (RRHH y económica) que excede las posibilidades actuales. De todas formas, en general las principales limitantes son las condiciones de las temporadas y la falta de eventos reproductivos. Si se considera la situación crítica del Macá Tobiano, cualquier acción de conservación necesita una adaptabilidad extrema. La urgencia de resultados (en plazos cortos) insta a que los protocolos sean adaptados no sólo a partir de resultados estadísticamente significativos, sino también a partir de información empírica, es decir

tendencias, percepciones y algunos datos anecdóticos obtenidos. Esto hace más difícil aún mantener algunas variables estandarizadas para alcanzar tamaños de muestras grandes.

Un resultado sumamente valioso para el futuro es que el método de transporte utilizado demostró ser eficiente (ver Capítulo 2). No existen diferencias en el éxito de eclosión entre recorridos de mayor y menor duración, lo que amplía el abanico de lagunas potenciales donde recolectar los huevos. De esta manera se maximiza la cantidad de huevos disponibles para la re-cría *ex situ* por temporada y permite el potencial aumento del reclutamiento (*i. e.* individuos que alcanzan la edad de migración por temporada) en varias mesetas desde una misma locación de re-cría. Sin embargo, hay que considerar que a mayor tiempo de transporte, mayor probabilidad de accidentes. En la temporada 2019–2020 dos huevos tuvieron fallas en la eclosión aparentemente debido al sobrecalentamiento por el recambio de la fuente de calor. Se conoce que algunas especies de macaes abandonan los nidos por períodos prolongados de tiempo, incluso toda la noche (Nuechterlein & Buitron 2002), por lo que es posible que los embriones estén adaptados a soportar descensos de temperatura por intervalos de varias horas. Por estas razones considero que, durante traslados de larga duración, es preferible evitar la manipulación innecesaria de las condiciones de transporte, pese a un gradual descenso de la temperatura.

No detecté diferencias significativas en la eclosión de huevos colectados en distintos estadios de incubación natural (*i.e.* tiempo de colecta desde el momento de la postura). Sin embargo, la tasa de eclosión en aquellos huevos colectados en el tercer tercio de incubación fue notablemente mayor, alcanzando el 93% de los huevos colectados. Se ha estudiado que algunas especies de aves tendrían un mayor éxito de eclosión *ex situ* si cuentan con un período de incubación natural (Gage & Duerr 2007). Además, minimizar los tiempos de incubación significa economizar esfuerzos energéticos y recursos humanos necesarios para el desarrollo de la acción de manejo. Pero, dada la baja probabilidad de supervivencia de

algunas colonias de Macá Tobiano (*e.g.* colonias expuestas al viento, lagunas con bajo nivel de agua) el mayor tiempo en la laguna aumenta las posibilidades de perder ambos huevos, por lo que es importante conocer el tiempo mínimo de incubación natural a partir del cual obtener huevos exitosos. En este trabajo logré la eclosión de huevos incubados casi totalmente de manera artificial (ciclo de incubación casi completo). En especies como el Macá Tobiano, y dado el ambiente hostil en el que reproducen, existe la posibilidad de recuperar la totalidad de los huevos de colonias en riesgo de destrucción (*i.e.* colonias expuestas al viento) en los primeros días de la postura y así generar la potencial re-formación de las colonias en sectores más protegidos de las lagunas. Se ha observado que luego de la destrucción temprana de las colonias los macaes vuelven a construir nuevas colonias rápidamente (Roesler 2016).

Para perfeccionar el método de incubación es necesario realizar estudios concretos sobre la pérdida de peso de los huevos (PPH) puesto que es fundamental para el nacimiento de pichones en buenas condiciones de salud (Gage & Duerr 2007). En mi experiencia los mejores resultados los obtuve en relación a pérdidas altas, dado que los pichones nacidos de huevos con pérdidas menores al 1% diario tuvieron una supervivencia significativamente menor (ver Capítulo 3). Esto podría sugerir que el Macá Tobiano perdería el 21% o más de la masa inicial del huevo, un porcentaje mayor al promedio estipulado para la mayoría de las aves (aproximadamente 15% (Cobb 2013), lo que podría deberse a una adaptación a criar a elevada altitud y en un ambiente de humedad extremadamente baja. También es destacable que encontré una relación directa entre la PPH y la temperatura (ver Capítulo 2), no así con la humedad, por lo que los esfuerzos por regular la PPH tendrían que evaluarse en relación a la temperatura de incubación.

Otra variable importante para el correcto desarrollo de los pichones son los parámetros de incubación, ya que determinan el desarrollo embrionario y la obtención de pichones con una buena condición corporal (Barri 2008, DuRant et al. 2010). En este trabajo no encontré

diferencias en el éxito de eclosión entre los distintos protocolos propuestos, pero noté una tendencia a mayor supervivencia de los pichones nacidos en relación a temperaturas de incubación más altas, por lo que considero que realizar pruebas dentro de estos rangos de temperatura es la opción más promisoría. Asimismo, la evaluación subjetiva de los pichones al nacimiento indicaría que en protocolos de mayor temperatura los pichones eclosionan con un mayor grado de madurez, así como también un mayor estado de alerta (ver Capítulo 3). Pero lo más importante a destacar, es que ninguno de los pichones nacidos de incubaciones a bajas temperaturas logró siquiera ser alimentado. Durante el período en que realicé los trabajos no pude poner a prueba uno de los protocolos de incubación que contemplaba una temperatura intermedia, por lo que queda pendiente para futuros intentos de incubación artificial. Sin embargo, los resultados obtenidos con las temperaturas más altas son claros y sugieren que no sería necesario evaluarlo.

En relación a los parámetros que evalué en cuanto a la alimentación, los datos parecen indicar la necesidad de una alimentación casi constante de los pichones para mantener la motilidad gastrointestinal (Barrett et al. 2010) y evitar la acumulación de gas (obs. pers.). Si bien no obtuve resultados concluyentes, observé una tendencia a mayor supervivencia en pichones que eran alimentados más frecuentemente. En la temporada 2019–2020 un pichón comenzó con un proceso de gastritis a partir de un cambio en el régimen de atención cuando pasó de ser alimentado cada 1 hs a alimentarse cada 2 hs. Esta tasa de alimentación extremadamente alta y constante es consistente con lo mencionado por Roesler (2016) en base a observaciones de individuos en el ámbito silvestre. Esto, llevado al plano de la cría artificial, significa un esfuerzo humano enorme, por lo que es importante encontrar el umbral mínimo necesario considerando el costo/beneficio. No encontré diferencias estadísticas significativas entre los distintos tipos de alimentos utilizados (balanceados/truchas o invertebrados), pero, dado el bajo número de individuos tratados con dos de ellos (trucha y balanceado, larvas de

quironómidos - ver Capítulo 3), es necesario realizar nuevas pruebas sobre este aspecto. Identificar el tipo de alimento cuya relación “costo/éxito de crecimiento” sea más eficiente es fundamental.

Más allá de muchas observaciones, tendencias y resultados estadísticos obtenidos para cada variable, sería de suma utilidad contar con una cantidad de datos que permita realizar un análisis multifactorial para evaluar cómo interactúan las distintas variables hoy analizadas de manera independiente, tanto en el éxito de eclosión como en la supervivencia de los pichones. Considero que conocer el efecto de estas interacciones podría garantizar maximizar el éxito de supervivencia de los pichones.

Desde el descubrimiento del Macá Tobiano hasta la actualidad se ha generado una cantidad relativamente importante de información respecto a su biología reproductiva, principalmente si se considera el desconocimiento general que existe sobre ese grupo en el Neotrópico (Roesler 2016). Sin embargo, aún no se han realizado estudios profundos sobre algunas variables, como incubación y cuidado parental. Profundizar sobre estos aspectos podría facilitar, tanto en tiempo como en esfuerzo, el desarrollo de un protocolo de re-cría *ex situ* eficiente, para la obtención de juveniles a partir de la recuperación de huevos. Dada la influencia de la pérdida de peso del huevo a lo largo de la incubación en el desarrollo embrionario y posterior *performance* de los pichones (Gage & Duerr 2007), sería de gran ayuda conocer estos valores correspondientes a la especie mediante mediciones en su entorno natural. Asimismo, evaluar el ambiente del nido (temperatura y humedad), el peso medio de los huevos al momento de la puesta y el análisis de características físicas de los huevos (*i.e.* porosidad de la cáscara) ayudaría también a refinar este parámetro.

Algunos parámetros sobre cuidado parental serían relevantes como, por ejemplo, la tasa de intercambio entre adultos durante la incubación para ajustar la frecuencia de rotación de los huevos en incubación artificial. De la misma manera, sería de gran utilidad para la re-

cría *ex situ* profundizar sobre la alimentación de los pichones en relación a las presas entregadas y a la tasa de entrega a lo largo del crecimiento. Es importante también discriminar, para ambas variables, las distintas semanas de vida desde el nacimiento hasta la emancipación. Otro objetivo debería ser la entrega de plumas, ya que hay observaciones donde adultos de Macá Tobiano ofrecen plumas a sus pichones pero no se ha podido determinar la tasa de entrega ni la frecuencia (Roesler 2016). Asimismo, sería relevante conocer la frecuencia de intercambio de pichones entre padres dado que, al ser el momento que pasan por el agua, podría influir en la salud digestiva de los pichones porque el movimiento de nado es el estímulo para la defecación (Gage & Duerr 2007).

En este trabajo presento información fundamental para perfeccionar las técnicas de re-cría *ex situ* de macaes con la suma de dos especies a la escasa bibliografía publicada sobre este orden. La crianza exitosa hasta liberación de un individuo de Macá Plateado proporciona una base firme y auspiciosa para el desarrollo de protocolos alternativos con el fin de lograr replicar la experiencia con individuos de Macá Tobiano. De cualquier manera, la obtención de un protocolo específico para esta especie sería tan sólo el inicio para el desarrollo de un programa a gran escala que pueda generar un impacto medible y positivo en la población. La urgencia de conservación del Macá Tobiano nos obliga a tomar decisiones rápidas, generar experiencias en simultáneo y maximizar cada oportunidad que tenemos, porque las posibilidades por temporada son usualmente mínimas. Garantizar la continuidad de estas experiencias es uno de los objetivos a corto plazo, con la meta de lograr producir un número significativo de juveniles a partir de la mayor cantidad de huevos recuperados por temporada. Algunos aspectos a considerar a futuro tienen que ver con el origen/liberación de los individuos, así como conocer aspectos del comportamiento y desarrollo de los individuos, exitosamente criados, una vez liberados. Pero estas serán preocupaciones futuras, hoy lo importante es apuntar todos los esfuerzos en lograr la re-cría exitosa de Macá Tobiano.

## Bibliografía Citada

- Ar, A. & Rahn, H. 1980. Water in the avian egg: overall budget of incubation. *Amer. Zool.*, 20: 373–384.
- Barret, K., Barman, S., Boitano S. & Brooks H. 2010. *Ganong: Fisiología Médica*. Editorial McGraw-Hill. 23ª ed. Descargado de:  
<http://accessmedicina.mhmedical.com/diagnosaurus.aspx>
- 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 PhD thesis Virginia Polytech. Institut. State Univ., Virginia, EEUU.
- Belant, J., Biggins, D., Garelle, D., Griebel, R.G. & Hughes, J.P. 2015. *Mustela nigripes*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T14020A45200314.
- 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: 193–199.
- BirdLife International. 2020. Species factsheet: *Podiceps gallardoi*. Descargado de:  
<http://www.birdlife.org> el 28/08/2020.
- Cabrera, A.L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 14: 1–42.
- COBB VANTRESS. 2013. Guía de manejo de la incubadora. Descargado de:  
<http://www.huevosperu.com/incubacion.pdf>
- California Condor Recovery Program. 2019. Annual Population Status. US Fish and Wildlife Service. Descargado de:  
[https://www.fws.gov/cno/es/CalCondor/PDF\\_files/2020/2019\\_California\\_Condor\\_Population\\_Status.pdf](https://www.fws.gov/cno/es/CalCondor/PDF_files/2020/2019_California_Condor_Population_Status.pdf)

- Carey, C., Garber, S.D., Thompson, E.L. & James, F.C. 1983. Avian reproduction over an altitudinal gradient. II. Physical characteristics and water loss of eggs. *Physiol. Zool.* 56: 340–352.
- Clowater, J.S. 1999. Distribution and Foraging Behaviour of Wintering Western Grebes. MSc thesis, University of Victoria, Canada.
- Davis, T.A., Platter-Reiger, M.F. & Ackerman, R.A. 1984. Incubation water loss by Pied-billed Grebe eggs: adaptation to a hot, wet nest. *Physiol. Zool.*, 57: 384–391.
- Davis, T.A., Sheldon, S.S. & Ackerman, R.A. 1988. Embryonic Osmoregulation: Consequences of High and Low Water Loss During Incubation of the Chicken Egg. *Journal of Experimental Zoology* 245: 144–156.
- De la Cruz Robles, E. & Peters, E. 2007. La reintroducción del cóndor de California en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California. *Gaceta Ecológica*, núm. 82: 55–67.
- Deeming, D. 2002. *Avian Incubation: Behavior, Environment and Evolution*. Oxford University Press. New York, EEUU.
- Deeming, D.C. & Reynolds, S.J. 2015. *Nests, Eggs, and Incubation*. Oxford University Press. New York, EEUU.
- Del Hoyo, J., Llimona, F., Collar, N., Jutglar, F., García, E.F.J., Kirwan, G.M. & Bonan, A. 2020. Silvery Grebe (*Podiceps occipitalis*), version 1.0. In *Birds of the World* (Billerman, S.M., Keeney, B.K., Rodewald, P.G. & Schulenberg, T.S. Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, EEUU. Descargado de: <https://doi.org/10.2173/bow.silgre1.01> el 04/09/2020.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>



- DuRant, S.E., Hepp, G.R., Moore, I.T., Hopkins, B.C. & Hopkins, W.A. 2010. Slight differences in incubation temperature affect early growth and stress endocrinology of wood duck (*Aix sponsa*) ducklings. *J. Exp. Biol.* 213: 44–51.
- DuRant, S.E., Hopkins, W.A. & Hepp, G.R. 2011. Energy expenditure of developing Wood duck (*Aix sponsa*) embryos is related to incubation temperature. *Physiological and Biochemical Zoology* 84, 451–457.
- DuRant, S.E., Hopkins, W.A., Walters, J.R. & Hepp, G.R. 2013. Ecological, evolutionary, and conservation implications of incubation temperature-dependent phenotypes in birds. *Biol. Rev.* 88:499–509.
- Eiby, Y.A. & Booth, D.T. 2009. The effects of incubation temperature on the morphology and composition of Australian Brush-Turkey (*Alectura lathami*) chicks. *Journal of Comparative Physiology B* 179: 875–882.
- Erize, F. 1983. Observaciones sobre el macá tobiano. *Hornero* (número extraordinario): 256–268.
- Fjeldså, J. 1986. Feeding ecology and possible life history tactics of the Hooded Grebe *Podiceps gallardoi*. *Ardea* 74: 40–58.
- Fjeldså, J. 2004. *Bird families of the world: the grebes*. Oxford University Press, New York, EEUU.
- Gage, L.J., & Duerr, R.S. 2007. *Hand-rearing birds*. Blackwell Publishing, Ames, IO, EEUU.
- Hick, U. 1966. Hatching and rearing of 2 Great Crested Grebes *Podiceps cristatus* at Cologne Zoo. *Int. Zoo. Yearb.* 6: 212–213.
- Hoyt, D. 1979. Osmoregulation by avian embryos: The allantois functions like a toad's bladder. *Physiol. Zool.* 52: 354–362.

- Imberti, S., Casañas, H. & Roesler, I. 2020. Hooded Grebe (*Podiceps gallardoi*), version 1.0. In Birds of the World (Schulenberg, T.S. Editor). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, EEUU. Descargado de: <https://doi.org/10.2173/bow.hoogre1.01> el 02/06/2020
- Ipek, A., Sahan, U., Baycan, S.C. & Sozcu, A. 2014. The effects of different eggshell temperatures on embryonic development, hatchability, chick quality, and first-week broiler performance. *Poultry Science* 93: 464–72.
- IUCN/SSC. 2014. Guidelines on the Use of *Ex Situ* Management for Species Conservation. Version 2.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission. Descargado de: [www.iucn.org/about/work/programmes/species/publications/iucn\\_guidelines\\_and\\_policy\\_\\_statements/](http://www.iucn.org/about/work/programmes/species/publications/iucn_guidelines_and_policy__statements/)
- Izaguirre, I., & Saad, J.F.. 2014. Phytoplankton from natural water bodies of the Patagonian Plateau. *Adv. Limnol.* 65: 309–319.
- Kop, P.P.A.M. 1972. Pellet-ejection by hand-reared Great Crested Grebes. *Brit. Birds* 65: 319–321.
- Lancelotti, J.L. 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, S.C. de Bariloche, Argentina.
- Lundy, H. 1969. A review of the effects of temperature, humidity, turning and gaseous environment in the incubator on the hatchability of hen's eggs. In: *The Fertility and Hatchability of Hen's Eggs*. T.C. Carter and B.M. Freeman, eds. Oliver & Boyd, Edinburgh, pp. 143-176.
- MacDonald, D. 2006. *Clinical Avian Medicine* (Harrison, G.J. & Lightfoot, T.L Editors). Spix Publishing, Inc. Palm Beach, FL, USA.
- MacVean, S.R. 1988. Artificial incubation, captive-rearing and maintenance of Pied-billed Grebes in Guatemala. MSc thesis, Colorado State University, Colorado, EEUU.

- Nuechterlein, G.L., & Johnson, A. 1981. The downy young of the Hooded Grebe. *Living Bird* 19: 69–71.
- Nuechterlein, G.L. 1988. Parent-Young vocal communication in Western Grebes. *Condor* 90: 532–636.
- Nuechterlein, G. L., & Buitron, D. 2002. Nocturnal egg neglect and prolonged incubation in the red-necked grebe. *Waterbirds* 25: 485–491.
- O'Donnel, C., & Fjeldså, J. 1997. Grebes: Status survey and conservation action plan. IUCNBSC Grebe Specialist Group, Gland, Suiza & Cambridge, RU.
- Padilla, L.R. 2015. Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine. Volume 8. (Miller, R.E. & Murray, E. Editors). W.B. Saunders. Pages 89-95
- Plano, C. M. & A. M. Di Matteo. 2001. Atlas de patología de la incubación del pollo. Obra realizada en Granja Tres Arroyos, S. A. Argentina (Yuño, M.; Bakker, M.L.; Rodríguez, E.; Beretta, A. Editores). Distribuido por SANDOVAL, A.; 89 RIA, 34 (2): 75-89, Agosto 2005. INTA, Argentina.
- QGIS.org. 2018. QGIS Sistema de Información Geográfica. Proyecto de Fundación Geoespacial de Código Abierto. Descargado en: <http://qgis.org>
- Rahn, H. & Ar, A. 1974. The avian egg: incubation time and water loss. *Condor* 76: 147–152.
- Rahn, H., Paganelli, C.V., Nisbet, I.C.T. & Whirrow, G.C. 1976. Regulation of incubation water loss in eggs of seven species of terns. *Physiol. Zool.* 49: 245–258.
- Robinson, I. 2009. Handbook of Avian Medicine (Second Edition) (Tully, T.N., Dorrestein, G.M., Jones, A.K. & Cooper, J.E. Editores). W.B. Saunders. 377–403.
- Roesler, I., Imberti, S., Casañas, H., Mahler, B., & Reboreda, J.C. 2012. Hooded Grebe *Podiceps gallardoi* population decreased by eighty per cent in the last twenty-five years. *Bird Cons. Int.* 22: 371–382.

- Roesler, C. I. 2016. Conservación del Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi*): factores que afectan la viabilidad de sus poblaciones. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Roesler, I., Fasola, L., Casañas, H., Hernández, P.M., De Miguel, A., Giusti, M.E. & Reboreda, J.C. 2016. Colony guardian programme improves recruitment in the critically endangered hooded grebe *Podiceps gallardoi* in Austral Patagonia, Argentina. *Conservation Evidence* 13: 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.
- Routh, A., S. Sanderson. 2009. Handbook of Avian Medicine (Second Edition) (Tully, T.N., Dorrestein, G.M. Jones, A.K. & Cooper, J.E. Editores). W.B. Saunders. 275-308.
- Rumboll, M.A.E. 1974. Una nueva especie de Macá (Podicipitidae). *Rev. del Mus. Argentino Ciencias Nat.* IV: 33–35.
- Stikeleather Swann, G. & Brake, J. 1990. Effect of Dry-Bulb Temperature, Relative Humidity, and Eggshell Conductance During the First Three Days of Incubation on Egg Weight Loss and Chick Weight. *Poultry Science* 69: 535–544.
- Storer, R.W. 1961. Observations of pellet-casting by Horned and Pied-Billed Grebes. *Auk* 78: 90–92.
- Storer, R.W. 1967. The Patterns of Downy Grebes. *Condor* 69: 469-478.
- Storer, R.W. 1982. The Hooded Grebe on laguna de los Escarchados. *Ecology and behavior. Living Bird* 20: 51–67.
- Straneck, R., & Johnson, A. 1984. Vocalizaciones en relación al comportamiento del Macá Tobiano (*Podiceps gallardoi* Rumboll). *Rev. del Mus. Argentino Ciencias Nat.* 19: 177–188.

- Tullett, S.G. & Burton, F.G. 1982. Factors affecting the weight and water status of the chick at hatch. *British Poultry Science*. 23: 361–369
- Vargas, A., Biggins, D. & Miller, B. 1999. Etología aplicada al manejo de especies amenazadas: el caso del Turón de patas negras (*Mustela nigripes*). *Etología*, 7: 33–39.
- Waldroup, P.W., Hillard, C.M., Grigg, J.E. & Harris, G.C. 1974. The Effectiveness of Nutrient Solutions Given to Young Turkey Poults in Drinking Water or by Oral and Parenteral Dosage. *Poultry Science*. Volume 53: 1056–1060.
- Winkler, D.W., Billerman, S.M. & Lovette, I.J. 2020. Grebes (*Podicipedidae*), version 1.0. In *Birds of the World* (Billerman, S.M., Keeney, B.K., Rodewald, P.G. & Schulenberg, T.S. Editores). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, EEUU. Descargado de: <https://doi.org/10.2173/bow.podici1.01> el 04/05/2020.
- WWF. 2019. Conclusiones de las jornadas el lince ibérico mirando hacia el futuro. Descargado de: [https://www.wwf.es/nuestro\\_trabajo/especies\\_y\\_habitats/lince\\_iberico/?52400/Conclusiones-de-las-Jornadas-El-lince-iberico-mirando-hacia-el-futuro](https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/especies_y_habitats/lince_iberico/?52400/Conclusiones-de-las-Jornadas-El-lince-iberico-mirando-hacia-el-futuro)

## Anexo 1. Medidas de peso y tamaño de huevos colectados por temporada

Medidas de peso (g) y tamaño (cm) de todos los huevos colectados por temporada.

Temporada	Huevo	Tercio incubación	Peso a colecta	Largo	Ancho
2015/2016	1	2	23,12	4,6	3,1
2015/2016	2	2	21,56	4,6	3,1
2015/2016	3	1	26,44	5,0	3,2
2015/2016	4	2	22,19	4,7	3,0
2015/2016	5	2	22,36	4,7	3,0
2015/2016	6	2	22,88	4,8	3,0
2015/2016	*7	3	17,49	4,2	2,9
2015/2016	8	3	22,17	5,1	3,2
2015/2016	*9	3	17,00	4,1	2,8
2015/2016	*10	3	20,28	4,7	3,0
2015/2016	11	3	19,50	4,5	3,1
2015/2016	12	2	21,10	4,5	3,1
2016/2017	1	S/D	24,28	4,6	3,1
2016/2017	2	2	18,87	4,2	3,0
2016/2017	3	S/D	25,22	4,7	3,2
2016/2017	4	S/D	20,26	4,5	3,0
2016/2017	5	2	23,24	4,9	3,1
2016/2017	6	3	21,51	4,5	3,1
2016/2017	7	1	23,15	4,7	3,2
2016/2017	8	S/D	22,68	4,5	3,1
2016/2017	9	3	19,79	S/D	S/D
2016/2017	10	2	19,45	4,3	3,0
2016/2017	11	S/D	20,84	4,5	3,1
2016/2017	12	3	19,24	4,6	3,0
2016/2017	13	S/D	22,55	4,6	3,1
2016/2017	14	2	21,97	4,6	3,1
2016/2017	15	3	22,11	4,6	3,1
2016/2017	16	2	24,42	4,8	3,1
2017/2018	1	3	24,37	4,7	3,2
2017/2018	2	3	22,19	4,5	3,1
2017/2018	3	2	24,21	4,5	3,2
2017/2018	4	2	22,58	4,6	3,0
2017/2018	5	2	22,43	4,4	3,1
2017/2018	6	2	22,05	4,5	3,1
2017/2018	7	3	21,44	4,5	3,1
2017/2018	8	3	21,16	4,6	3,1
2017/2018	9	3	20,30	4,3	3,0
2017/2018	10	3	22,96	4,7	3,1
2017/2018	11	2	19,64	4,5	3,0
2017/2018	12	2	21,66	4,5	2,9
2019/2020	1	1	23,92	4,6	3,1
2019/2020	2	1	24,52	4,5	3,2
2019/2020	3	1	23,43	4,6	3,0
2019/2020	4	1	24,00	4,5	3,1
2019/2020	5	1	20,41	4,3	3,0

\*Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*)

## Anexo 2. Peso de pichones al nacimiento

Listado del peso al nacimiento (g) de todos los pichones nacidos en el estudio.

Temporada	Pichón	Peso al nacimiento (g)
2015/2016	1	14,51
2015/2016	2	14,68
2015/2016	3	15,36
2015/2016	4	14,77
2015/2016	5	13,73
2015/2016	6	15,62
2015/2016	7	14,86
2015/2016	*8	13,88
2015/2016	*9	11,62
2015/2016	*10	11,33
2016/2017	1	14,79
2016/2017	2	13,51
2016/2017	3	15,94
2016/2017	4	14,44
2016/2017	5	12,96
2016/2017	6	14,55
2016/2017	7	15,59
2016/2017	8	13,05
2016/2017	9	15,88
2016/2017	10	14,55
2017/2018	1	15,75
2017/2018	2	15,78
2017/2018	3	14,68
2017/2018	4	16,29
2017/2018	5	14,81
2017/2018	6	15,72
2017/2018	7	15,09
2017/2018	8	14,68
2017/2018	9	14,30
2019/2020	1	15,75
2019/2020	2	15,55
2019/2020	3	15,28

\*Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*)

### Anexo 3. Supervivencia de los pichones en el estudio

Listado de la supervivencia total (hs) de todos los pichones nacidos en el estudio.

Temporada	Pichón	Supervivencia (hs)	Observaciones
2015/2016	1	96	
2015/2016	3	74	
2015/2016	2	90	
2015/2016	4	39	
2015/2016	5	138	
2015/2016	7	56	
2015/2016	6	72	
2015/2016	*8	362	
2015/2016	*9	1608	Liberación
2015/2016	*10	103	
2016/2017	1	44	
2016/2017	2	36	
2016/2017	3	84	
2016/2017	4	53	
2016/2017	5	7	
2016/2017	6	45	
2016/2017	7	46	
2016/2017	8	14	
2016/2017	9	30	
2016/2017	10	30	
2017/2018	1	46	
2017/2018	2	127	
2017/2018	3	62	
2017/2018	4	40	
2017/2018	5	33	
2017/2018	6	23	
2017/2018	7	25	
2017/2018	8	26	
2017/2018	9	61	
2019/2020	1	145	
2019/2020	2	26	
2019/2020	3	25	

\*Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*)



## **Anexo 4. Historia de caso: ‘Botija’**

Durante la temporada 2015–2016, colecté tres huevos de Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*), que incubé bajo el protocolo número 4 (ver Capítulo 2). Luego de 10 días en incubadora observé por ovoscopia que el embrión se encontraba “en cámara” (había picado la cámara de aire) y lo trasladé a nacedora, a la espera de la eclosión. Pasadas 24 hs observé el ‘picaje’ externo (orificio en la cáscara), signo de eclosión inminente. Tuve que asistir este caso ya que, en lugar de romper la cáscara en forma de anillo y liberar la cabeza, el individuo sacó un ala y quedó mal posicionado para continuar la eclosión, lo que denota la importancia de presenciar el proceso. Con cuidado rompí la cáscara en el extremo del huevo para que el individuo pudiera sacar la cabeza. Una vez liberada la cabeza el pichón terminó la eclosión con facilidad y lo retiré de la nacedora una hora más tarde, cuando noté que había completado el secado del plumón. Este fue el noveno nacimiento de la temporada: “Botija” con un peso al nacimiento de 11,62 g.

La apariencia del pichón coincidió con la descrita por Storer (1967), en su trabajo de comparación de plumajes en pichones de macaes. El cuerpo era grisáceo, con un patrón de líneas oscuras en el dorso, con el pecho y vientre blancos. El color se tornó parejo gradualmente; hacía el día 20 el aspecto era prácticamente bicolor, gris y blanco, coloración que se mantendría a lo largo del crecimiento (Figura 1D). Al nacer presentaba parches desnudos en la corona y en el área loreal (Figura 1A y B). Estos parches cambian de naranja a escarlata si el pichón está “molesto o irritado”, aunque se desconoce su función, pueden actuar como estímulo a los padres a alimentar a las crías (Storer 1967).



**Figura 1.** Apariencia del pichón en distintas edades. 1A: Día 1 al final de la eclosión; 1B: Día 9 se observa estriado en dorso y parches faciales; 1C: Día 20 estriado ausente y parches poco notorios; 1D: Día 54 plumaje bicolor e iris más claro (Fotos: G. Gabarain).

Mantuve a Botija en una caja de cría con bolsas de agua caliente (Figura 2A) que le brindaban una temperatura de 36–37°C y lo colocaba en el agua para defecar y tomar agua. Los primeros días el tiempo en el agua fue mínimo (10-30 seg), luego aumentó de forma gradual hasta que, aproximadamente, hacia la cuarta semana la permanencia en el agua era total y sólo lo retiraba ante signos de estrés (vocalizaciones, inquietud evidente). La primera semana utilicé una batea de 30 x 20 x 7 cm, la segunda y tercer semana una de 60 x 40 x 14 cm para empezar a estimular la pesca de alimento y buceos cortos y al mes de vida lo pasé a una pileta de 1,30 m x 95 cm x 50 cm. Al tratarse de una especie gregaria, utilicé espejos (Figura 2C) en la pileta y en la caja de cría para simular la presencia de otros individuos.

En un principio ofrecí la comida con una pinza, luego parte de la sesión de alimentación la realizaba en las piletas pequeñas para intentar que el pichón capturara los anfípodos desde el agua (Figura 2B). Los primeros buceos (Figura 2D) ocurrieron a partir del

día 15. Desde la cuarta semana, ya en la pileta grande, mantuve una oferta constante de alimento en el agua para estimular la alimentación independiente.

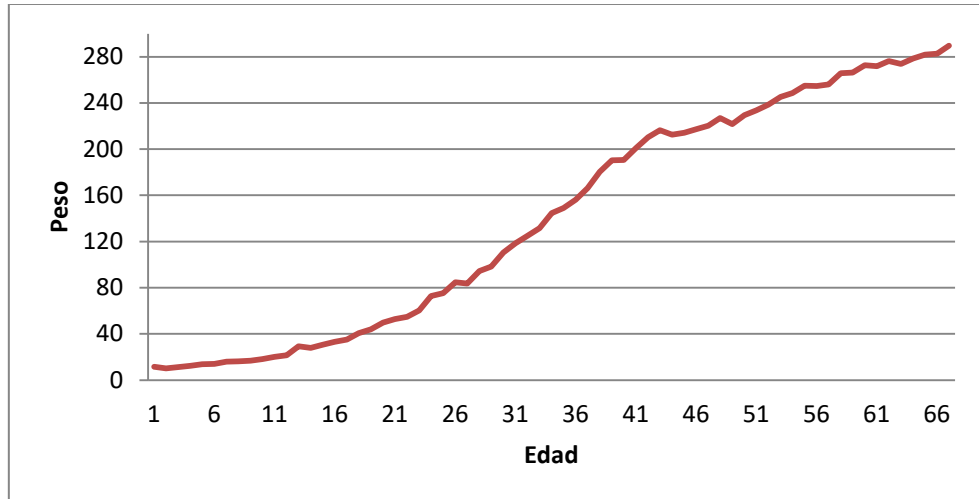


**Figura 2.** Botija. 2A: En la caja de cría junto a otro pichón de Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*); 2B: Pesca de alimento sin inmersión; 2C: Frente a los espejos que simulan la presencia de otro individuo; 2D: Pesca de alimento por buceo (Fotos: G. Gabarain).

La alimentación fue a base de anfípodos (*Hyalella* sp.), suplementado con trucha desde el día 36 dada la dificultad de colectar suficientes anfípodos. El máximo de anfípodos consumidos en un día fue de 4760 ejemplares. La primer semana lo alimentaba cada una hora las 24 hs del día. La segunda, cada hora y media. En la tercera semana continué la alimentación diurna (06:00 a 22:00 hs) cada hora y media y por la noche le ofrecía una sola comida (02:00 hs), y a partir del día 35 dejé de suministrarle comida nocturna.

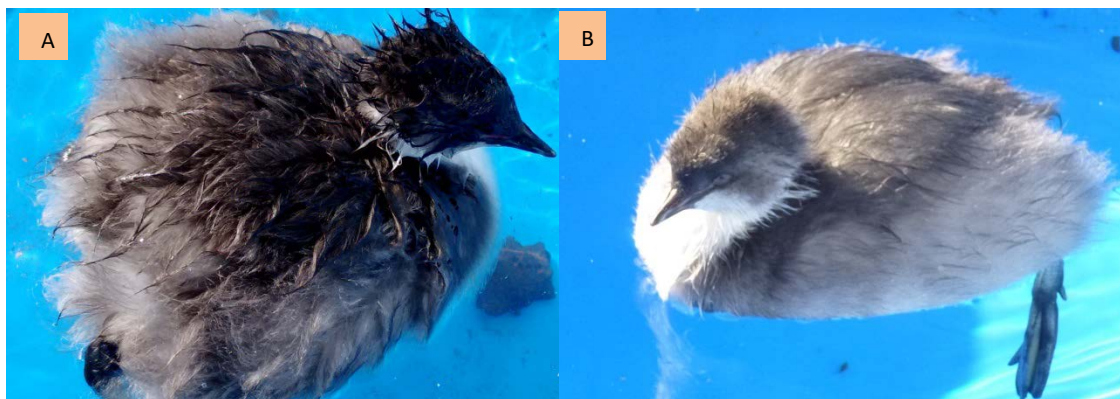
La ganancia de peso de Botija fue positiva durante toda la crianza (Figura 3), al momento de su liberación había superado el 70% del peso promedio de un adulto para la especie (340-400 g; Del Hoyo et al. 2020), con 290 g en el último peso registrado a los 67 días de vida. Sin embargo, este peso se encuentra por debajo de la referencia dada por MacVean (1988), en cuyo estudio los juveniles de Macá Pico Grueso (*Podilymbus podiceps*)

alcanzaron un 90% del peso de un adulto a los 50 días de vida. Es probable que esta deficiencia en el peso se deba a la ausencia de alimentación nocturna, ya que se sabe que algunas especies de macaes también se alimentan de noche (Clowatter 1999).



**Figura 3.** Curva de registros de peso (g) del individuo de Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*) días 1 a 66.

Entre los 40 y 50 días observé que el pichón mostraba signos de evidente incomodidad al estar en el agua y cuando lo retiraba a la caja de cría el plumaje estaba muy mojado (Figura 4A). Luego de estos días el individuo no volvió a mostrar signos de estrés en la pileta y el plumaje se percibía seco (Figura 4B). Es probable que transitara una etapa de muda, lo que concuerda con la bibliografía que indica que la primera transición de plumaje ocurre aproximadamente a las seis semanas de vida (Gage & Duerr 2007).



**Figura 4.** Plumaje. 4A: 40 días de edad con aspecto mojado luego de una inmersión.; 4B: 54 días de edad con el plumaje totalmente seco (Fotos G. Gabarain).

Liberé a Botija en el Lago Cardiel, bajo la meseta del Lago Strobel, el 14 de Abril de 2016, a los 67 días de vida (Figura 5). El Lago Cardiel está a 45 km (en línea recta) de la laguna donde colecté los huevos y había registros de concentraciones de la especie en cercanía de la liberación (a distancia de vista para Botija). Es el primer ejemplar de Macá Plateado criado en cautiverio con éxito.



**Figura 5.** “Botija”, Macá Plateado (*Podiceps occipitalis*), en el Lago Cardiel minutos después de haber sido liberado (Foto: G. Gabarain).