

Análisis de la viabilidad poblacional de *Rhea pennata* en Perú

Analysis of the population viability of *Rhea pennata* in Peru

Willy Maldonado Chambi¹

<https://orcid.org/0000-0003-4560-7415>
wmaldonado@wcs.org

Diana Felicitas Beltrán Farfán²

<https://orcid.org/0000-0001-6881-5255>
dfbeltranf@gmail.com

*Corresponding author

1. Wildlife Conservation Society - WCS, Calle Chiclayo 1008 Miraflores, Lima - Perú.

2. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano, Av. Floral N° 1153, Puno, Perú.

Citación

Maldonado Chambi W, Beltrán Farfán DF. 2024. Análisis de la viabilidad poblacional de *Rhea pennata* en Perú. Revista peruana de biología 31(2): e25767 001- 012 (Junio 2024). doi: <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v31i2.25767>

Presentado: 13/07/2023

Aceptado: 15/01/2024

Publicado online: 30/06/2024

Editor: Leonardo Romero

Resumen

En este trabajo se realiza un análisis de viabilidad de la población de *Rhea pennata*, ave que se encuentra categorizada En Peligro Crítico –CR, con un tamaño poblacional estimado de 350 individuos en Perú. Los datos fueron analizados con el software VORTEX 9.6, se modelaron 8 escenarios y combinaciones para determinar la tasa anual de crecimiento poblacional bajo el efecto de factores antropogénicos, demográficos, ambientales y genéticos. Los resultados señalan que la población de *Rhea pennata* no es viable, la tasa de crecimiento poblacional es negativa ($r = -0.11$) significa que la población disminuye en 11% al año. Un efecto combinado de los factores antropogénicos, como la recolección de huevos, genéticos como la endogamia y ambientales como las intensas nevadas, disminuye la tasa de crecimiento ($r = -0.18$) en este escenario la probabilidad de extinción se da en aproximadamente en 50 años. El efecto de la endogamia en una población adulta de 50 individuos en un hábitat fragmentado traería consigo la extinción en aproximadamente 25 a 30 años. El único escenario donde la población es viable en el largo plazo es con el repoblamiento, para esto es necesario una liberación de 38 grupos poblacionales por un periodo de 15 años, en un área aproximada de 27000 km², y que se encuentre bajo alguna medida de conservación, como las áreas naturales protegidas u otras medidas de conservación basadas en área.

Abstract

In this work, a population viability analysis (PVA) is conducted on the population of *Rhea pennata*, a bird categorized as Critically Endangered (CR), with an estimated population size of 350 individuals in Peru. The data were analyzed using VORTEX 9.6 software, and eight scenarios and combinations were modeled to determine the annual population growth rate under the influence of anthropogenic, demographic, environmental, and genetic factors. The results indicate that the *Rhea pennata* population is not viable, with a negative population growth rate ($r = -0.11$), meaning the population decreases by 11% per year. A combined effect of anthropogenic factors, such as egg collection, genetic factors like inbreeding, and environmental factors such as intense snowfalls, further reduces the growth rate ($r = -0.18$). In this scenario, the probability of extinction occurs in approximately 50 years. The effect of inbreeding in an adult population of 50 individuals in a fragmented habitat would lead to extinction in approximately 25 to 30 years. The only scenario where the population is viable in the long term involves repopulation, requiring the release of 38 population groups over a period of 15 years in an area of approximately 27000 km², which must be under some conservation measure, such as protected natural areas or other area-based conservation measures.

Palabras clave:

Conservación, extinción, distribución, repoblamiento, hábitat, Suri.

Keywords:

Conservation, extinction, distribution, repopulation, habitat, Suri.

Introducción

Rhea pennata d'Orbigny, 1834 es un ave corredora de gran tamaño, se distribuye exclusivamente en Sudamérica. Actualmente, además de *R. pennata* distribuida en Perú, Bolivia, Argentina y Chile, se reconoce a *R. americana* (Linnaeus, 1758) Brasil, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina; y *R. pennata tarapacensis* (Chubb, 1913) distribuida entre Perú, Bolivia y Chile (Handbook of the Birds of the World and BirdLife International 2020). En Perú, *R. pennata* se distribuye en el altiplano de los departamentos de Puno, Moquegua y Tacna (Schulenberg et al. 2010). La mayoría de los registros de avistamiento han sido realizados en pajonales, tólares, arenales con vegetación mixta y bofedales, en altitudes por encima de los 4000 m (PEBLT 2017, Pedrana et al. 2011).

Rhea pennata es parte de los objetivos de conservación del área de conservación regional Vilacota Maure, en el departamento de Tacna (Delgado 2019) y en el sitio prioritario Lagunas Altoandinas en el departamento de Puno (GORE Puno 2016). A pesar de contar con esfuerzos para su conservación, los dos últimos censos han evidenciado una considerable reducción de la población entre el 2008 (447 individuos) y el 2016 (350 individuos) (SERFOR 2018b), posiblemente por la caza furtiva para venta de sus plumas y carne, y la colecta de huevos y poluelos para usos costumbristas (Cruz et al. 2013, SERFOR 2015). Por otro lado, su hábitat también se ha reducido por la fragmentación y degradación debido al establecimiento y expansión de centros poblados y proyectos

mineros (PEBLT 2017, OEFA 2018). La disminución de la población de *R. pennata* y su hábitat han sido los factores para que se le considere como una especie en proceso de extinción. A nivel internacional está incluida en la lista roja de especies amenazadas en la categoría de Preocupación Menor (IUCN 2012a), en la categoría de En Peligro Crítico (CR) en Perú e incluida en el Apéndice I de la convención CITES (SERFOR 2018a). En este marco, nuestro objetivo es analizar la viabilidad poblacional de *Rhea pennata*, en el largo plazo a través de modelos computacionales.

Material y métodos

Área de estudio: El estudio se realizó en localidades altoandinas de los distritos de Capaso y Loriscota en Puno y Pasto Grande en Moquegua, al sur del Perú. Las salidas a campo se realizaron entre el 2018 y 2019 cubriendo un área total de 980 km², entre los 4000 y 4500 m de altitud. En las localidades se establecieron 10 puntos de evaluación. En cada punto de evaluación (Fig. 1) se describió el tipo de hábitat, actividad humana y registro de *R. pennata* (avistamientos o indicios de presencia). Complementariamente se realizaron entrevistas a pobladores locales para validar la información sobre ecología, biología, estructura poblacional y amenazas (Tabla 3), la sistematización de la información se encuentra en la Tabla 1 y Tabla 2. Para calcular el área de extensión de la presencia (EOO, Extent of Occurrence) y área de ocupación (AOO, Area of Occupancy) se utilizó el software GeoCat de la IUCN (Bachman et al. 2011).

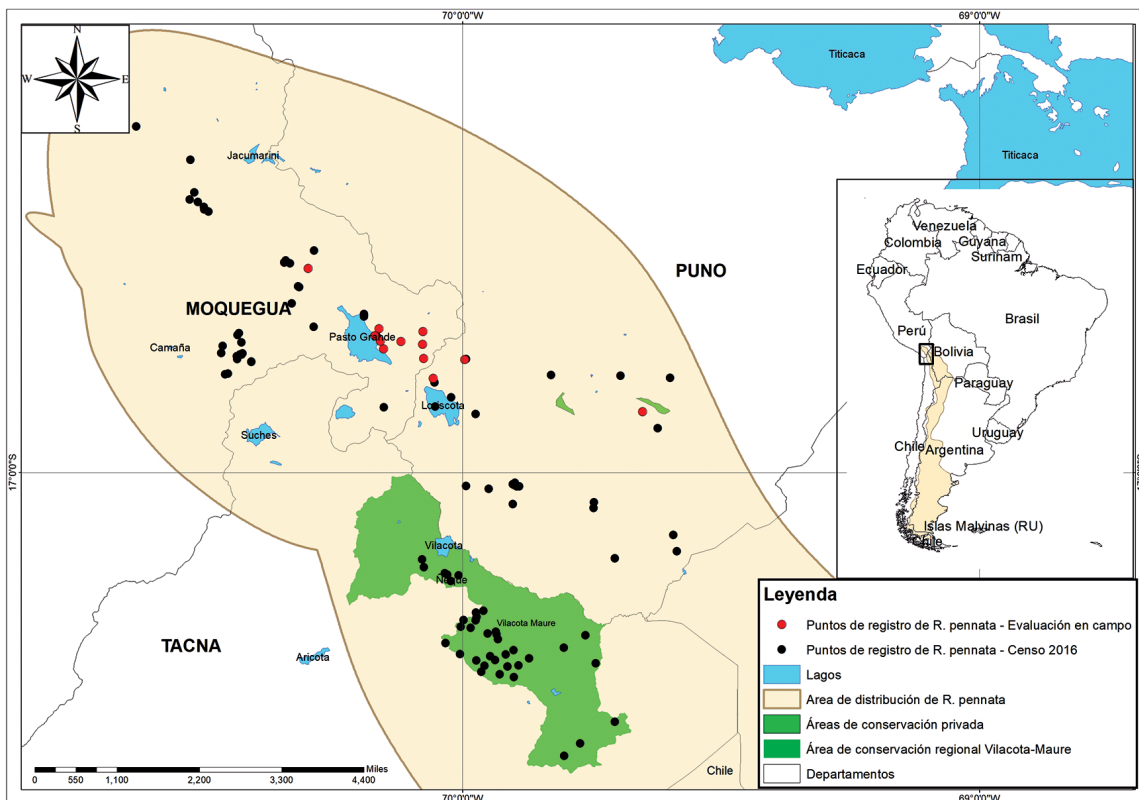


Figura 1. Área de evaluación y registros de *Rhea pennata*.

En cada punto, se describió el hábitat y las principales actividades humanas. Para calcular el área de extensión de la presencia (EOO, *Extent of Occurrence*) y área de ocupación (AOO, *Area of Occupancy*) de *Rhea pennata*, se utilizó el software GeoCat de la IUCN (Bachman et al. 2011).

Parámetros generales del modelo

Número de iteraciones: 1000 para cada escenario.

Número de años de simulación: 100 años, tiempo suficiente para observar los efectos demográficos, ambientales y genéticos sobre la viabilidad poblacional, tasa anual de crecimiento poblacional y tiempo medio de extinción.

Definición de extinción: El modelo considera que la población se extingue cuando solo quedan individuos de un mismo sexo (macho o hembra), aunque existan individuos al final de la simulación de los escenarios, ya que no hay forma de crecimiento de la población con un solo sexo.

Definición de viabilidad: Probabilidad de extinción <20% en 100 años. Se considero que la población era viable si tenía una probabilidad de extinción menor al 20% (umbral de viabilidad poblacional) en 100 años.

Parámetros poblacionales

Número de poblaciones: 1 población.

Tamaño poblacional: 350 individuos:

Capacidad de carga (K): 350 individuos. La capacidad de carga es el tamaño poblacional que puede mantener el ambiente. Al no tener información confiable sobre este parámetro, se asume que el valor de K es igual al tamaño de la población.

Depresión por consanguinidad: No. VORTEX modela los efectos negativos de la endogamia que ocurrirían al disminuir la supervivencia en su primer año de vida y en la reproducción, lo cual es más importante en pequeñas poblaciones. El impacto de la endogamia se modeló como 3.14 de equivalentes letales con 50% debido a alelos letales recesivos (Miller & Lacy 2005, Rioja-Pardela et al. 2013).

Correlación en la variación ambiental (VA) en supervivencia y reproducción: las variaciones ambientales son cambios en tiempo y espacio, provocan fluctuaciones anuales en el tamaño de las poblaciones al afectar la supervivencia de individuos y el número de pollos que nacen (Akçakaya et al. 2000). VORTEX mide el efecto del ambiente sobre diferentes variables solicitando desviaciones estándares (DE) de los valores promedio a evaluar. Al no contar con esta información para el ambiente de *R. pennata*, se asumió que en la zona de evaluación las condiciones ambientales son relativamente estables, es por eso por lo que arbitrariamente se estableció un valor 10% de variación ambiental y una correlación de 95% en las variaciones de supervivencia y reproducción.

Parámetros reproductivos

Sistema de Reproducción: *Rhea pennata* es una especie polígama, que forma grupos conformados por un ma-

cho y varias hembras, individuos juveniles y pichones. En el 2022 se observaron grupos de entre 8 a 24 individuos, conformado por un macho, varias hembras juveniles y pichones (González-Urrutia et al. 2018).

Edad de la primera reproducción: se consideró a los tres años, en machos y hembras. La edad de la primera reproducción no es necesariamente cuando el individuo alcanza la madurez sexual. La actividad reproductiva de *R. pennata* en cautiverio se inicia normalmente entre los 20 y 24 meses de edad, en menor proporción maduran sexualmente entre los 12 y 24 meses de edad (Sarasqueta 2005). En el centro de conservación de *R. pennata* del Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca (PEBLT), han observado que esta ave tiene una reproducción exitosa a partir de los dos años (PEBLT 2017). Por lo tanto, para el modelo se consideró la madurez sexual a los 2 años y la edad de la primera reproducción a los 3 años.

Máximo número de nidada por año: se consideró una por año, ya que *R. pennata* sólo cría una vez al año. En vida silvestre se estima que solo el 20% de los machos se reproduce (Laufert 2004, citado en Gonzales-Urrutia et al. 2018). En cautiverio el proceso reproductivo inicia entre julio y setiembre con el cortejo y posterior cópula, en este periodo el macho construye los nidos; la postura de huevos ocurre entre agosto y noviembre y la incubación dura alrededor de 43 días (PELT 2017). Por tanto, para el modelo *R. pennata* solo tiene una nidada por año.

Máximo número de crías por nidada: se consideró 12 huevos por nido. Los registros provenientes del centro de conservación de *R. pennata* del PEBLT señalan en promedio 12 huevos por nido. En vida silvestre, hemos observado nidos con 12 y hasta 20 huevos. Pero también han sido registrado nidos con 8 a 12 huevos (Feld et al. 2011). Para el modelo, consideramos 12 huevos por nido.

Proporción de sexos al nacer: se consideró 1:4 (un macho por cuatro hembras). *Rhea pennata* es una especie que establece jerarquías en la reproducción y cría, la cantidad de machos está relacionada con la cantidad de hembras, se han observado grupos de *R. pennata* con un macho y cuatro hembras, dos o más machos en grupos de cuatro o más hembras (Balmford 1992, citado en González-Urrutia et al. 2018). Para el modelo incluimos una proporción de sexo de un macho y cuatro hembras.

Parámetros de supervivencia

Mortalidad: los grupos etarios de *R. pennata* considerados fueron: polluelo (0 - 12 meses), juveniles (12 - 23 meses) y adultos (a partir de los 24 meses) (Fig. 2). A partir de este grupo, se estableció: polluelo (primera clase), juvenil (segunda clase) y adulto (tercera clase). La mortalidad por clase de edad en el centro de conservación reportada fue: mortalidad en la primera clase 60%; mortalidad en la segunda clase 20% y mortalidad en la tercera clase 5% (PEBLT 2017).

Para confirmar estos datos se realizaron 8 entrevistas, a pobladores locales (ganaderos), a especialistas en fauna silvestre de SERFOR y del centro de conservación de *R. pennata* del PEBLT (Tabla 1).



Figura 2. Foto de *Rhea pennata*, adultos y polluelos.

Tabla 1. Estructura de las entrevistas.

Formato de entrevistas del estudio de “Análisis de la viabilidad poblacional *Rhea pennata* en Perú”

Nombre y apellido:	Fecha y lugar:
Ocupación:	
Preguntas:	Respuestas
¿Ha observado algún tipo de malformación en individuos de Suri?	
¿A qué edad ha observado que los suris alcanzan la madurez sexual?	
¿A qué edad ha observado que los Suris inician su reproducción?	
¿Hasta qué edad ha observado que se reproducen los Suris?	
Describa si en un grupo de Suris todos los machos y hembras se reproducen.	
Un individuo de Suri ¿Cuántos nidos tienen en un año?	
En un nido de Suri ¿Cuántos huevos se pueden encontrar?	
En un nido de Suri ¿Cuántos huevos eclosionan?	
Describa ¿En qué etapa del Suri (polluelos, juveniles o adultos) ha observado mayor mortalidad? y a que se debe.	
En un grupo de Suris, ha observado ¿Cuántos individuos son hembras y machos?	
Describa que eventos climáticos tienen un efecto en la reproducción y sobrevivencia del Suri.	
Mencione que actividades humanas existen de aprovechamiento del Suri y/o sus partes.	
Mencione que actividades humanas afectan al hábitat del Suri.	

La mortalidad de *R. pennata* en vida silvestre es superior a 60% en la primera clase de edad, debido a la recolección de huevos para fines costumbristas, medicina y venta para artesanía. La mortalidad en la segunda y tercera clase de edad es por cacería, venden la carne y plumas, y uso medicinal. Para el modelo se consideró 60% primera clase, 20% segunda clase y 5% tercera clase.

Edad máxima de reproducción: consideramos 13 años en machos y hembras. En el centro de conservación del PEBLT hay registros de *R. pennata* de 13 años (PEBLT 2017), no hemos encontrado información en vida silvestre.

Opciones adicionales al modelo

Eventos catastróficos: variación climática expresado

como el efecto de las intensas y frecuentes nevadas sobre la reproducción y supervivencia de *R. pennata*. En el modelo se consideró la nevada con una frecuencia de ocurrencia de 40% cada año, la severidad de las nevadas sobre la reproducción de 50% y sobre la supervivencia del 80%.

Repoblación o suplementación: sí. *Rhea pennata* es una especie que forma grupos poblacionales (Stotz et al. 2010, citado en SERFOR 2015). En el centro de conservación de *R. pennata* existen grupos poblacionales conformados por 15 individuos (PEBLT 2017). En vida silvestre se observaron grupos poblacionales conformados de entre 7 a 30 individuos (SERFOR 2015). En el modelo se diseñó el repoblamiento de grupos poblacionales conformados por 10 hasta 24 individuos, incluyendo machos y hembras adultos, juveniles y polluelos.

Diseño de escenarios: se diseñó un modelo base, donde las amenazas no tienen ningún efecto sobre la viabilidad poblacional y el crecimiento de la población. A par-

tir del modelo base, se diseñaron tres escenarios: (1) se modeló el efecto de las amenazas sobre la viabilidad poblacional, (2) tasa anual de crecimiento poblacional y (3) tiempo medio de extinción. Estos escenarios se construyeron a partir de la información colectada en campo e información secundaria (Tabla 2). El modelo de amenazas incluyó: cacería, recolección de huevos (para actividades costumbristas), disminución y fragmentación del hábitat (por pastoreo de animales domésticos, infraestructura vial y centros poblados) y variación climática (efecto de la nevada sobre la población de *R. pennata*). Luego, se diseñaron escenarios combinados para observar: efecto de la endogamia sobre la capacidad de sobrevivencia y el éxito reproductivo. Finalmente, se diseñaron tres escenarios donde se modelaron: (1) acciones de manejo de hábitat (para incrementar la cantidad y disponibilidad de hábitat), (2) control de amenazas y (3) repoblamiento de individuos a la vida silvestre (Tabla 3).

Tabla 2. Datos poblacionales para el modelo y escenarios.

Parámetros	Modelo base
Sistema de apareamiento	Poligamia
Depresión por endogamia	No
Edad que alcanzan la madurez sexual (♂ y ♀)	2 años
Edad de la primera reproducción (♂ y ♀)	3 años
Máxima edad de reproducción	12 años
Porcentaje de hembras que se reproducen anualmente	80%
Porcentaje de machos adultos que potencialmente se pueden reproducir	80%
Número máximo de crías en un año	10 – 12 individuos
Proporción de sexos al nacer	1♂: 4♀
Mortalidad anual según clase: pichones (♂ y ♀)	60%
Mortalidad anual según clase: juveniles (♂ y ♀)	10%
Mortalidad anual según clase: (♂ y ♀)	5%
Catástrofes (Variaciones ambientales)	1 (nevada)
Tamaño inicial de la población (N)	N= 350 individuos
Capacidad de carga del hábitat (K)	K=N+100
Número de iteraciones y años de proyección	1000

Tabla 3. Descripción de los escenarios.

Escenarios	Código	Descripción del escenario
Base	Base	Escenario sin efecto de las amenazas, ni de la endogamia
Disminución de la reproducción de machos y hembras	D_repro	Escenario del efecto por la reducción de la cantidad y calidad de hábitat sobre la reproducción
Recolección de huevos	Rec_Hu	Escenario del efecto de la recolección de huevos sobre la tasa de crecimiento poblacional
Nevada	Nev	Escenario del efecto del cambio climático: nevadas intensas y frecuentes sobre la reproducción y mortalidad en las clases de edad
Endogamia	End	Escenario del efecto de la endogamia sobre la capacidad de sobrevivencia
Manejo de Hábitat	Ma_ha	Escenario de acciones de manejo del hábitat: disponibilidad de hábitat en cantidad y calidad.
Disminución de la mortalidad	D-mort	Escenario de acciones de control de las amenazas: pérdida de hábitat, recolección de huevos para usos medicinal y artesanía
Repoblamiento	Repop	Escenario de incremento de la población con la liberación de grupos poblacionales en hábitats naturales disponibles

Los escenarios fueron analizados con el programa VORTEX versión 9.6. VORTEX realiza simulaciones basados en el método Monte Carlo y es utilizado para el análisis de viabilidad de poblaciones de especies usualmente amenazadas. VORTEX modela las interacciones entre parámetros poblacionales y biológicos; de manera que el modelo permite probar los efectos de diferentes escenarios en la tasa de crecimiento o en el riesgo de extinción de una población en un determinado periodo de tiempo, normalmente 100 años, y de esta manera compara y determina las mejores opciones de manejo (Miller & Lacy 2005).

Resultados

El análisis de la viabilidad poblacional de *R. pennata* indica que la población no es viable en los próximos 100 años. Incluso, en el modelo base, donde no se considera

ningún efecto por la pérdida y fragmentación de hábitat, ni por la mortalidad por cacería o recolección de huevos, la tasa de crecimiento poblacional es negativa ($r = -0.11$); esto significa que la población se está reduciendo en 11% cada año (Fig. 3). Por otro lado, en el escenario donde se consideran la disminución de la reproducción de *R. pennata* por la pérdida y fragmentación del hábitat, se observa el mayor valor negativo de la tasa de crecimiento ($r = -0.18$); lo cual significaría que la población de *R. pennata* se estaría reduciendo en un 18%, y en este escenario, la extinción ocurriría en aproximadamente 50 años, siendo la probabilidad de persistencia (PP= 0.20%). En el escenario donde se considera la mortalidad en la primera clase de edad, que sería la causada por la recolección de los huevos de *R. pennata*, la tasa de crecimiento también es negativa ($r = -0.14$) y la extinción ocurriría en menos de 40 años (PP= 0.20%) (Fig. 4).

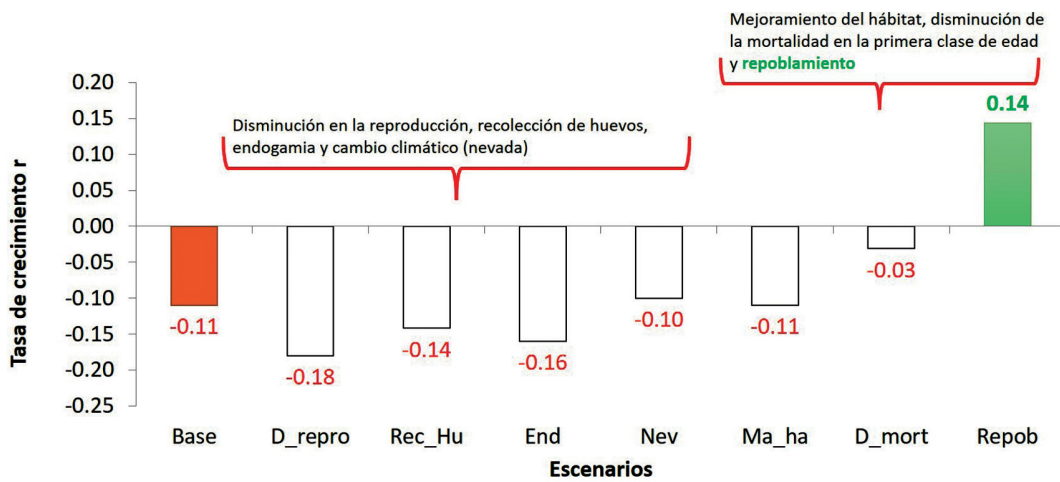


Figura 3. Tasa de crecimiento poblacional del *Rhea pennata* bajo los escenarios: disminución en la reproducción de adultos (D_repro), recolección de huevos (Rec_Hu), endogamia (End), nevada (Nev), manejo de hábitat (Ma_ha), disminución de la mortalidad en la primera clase de edad (D_mort) y repoblamiento (Repob).

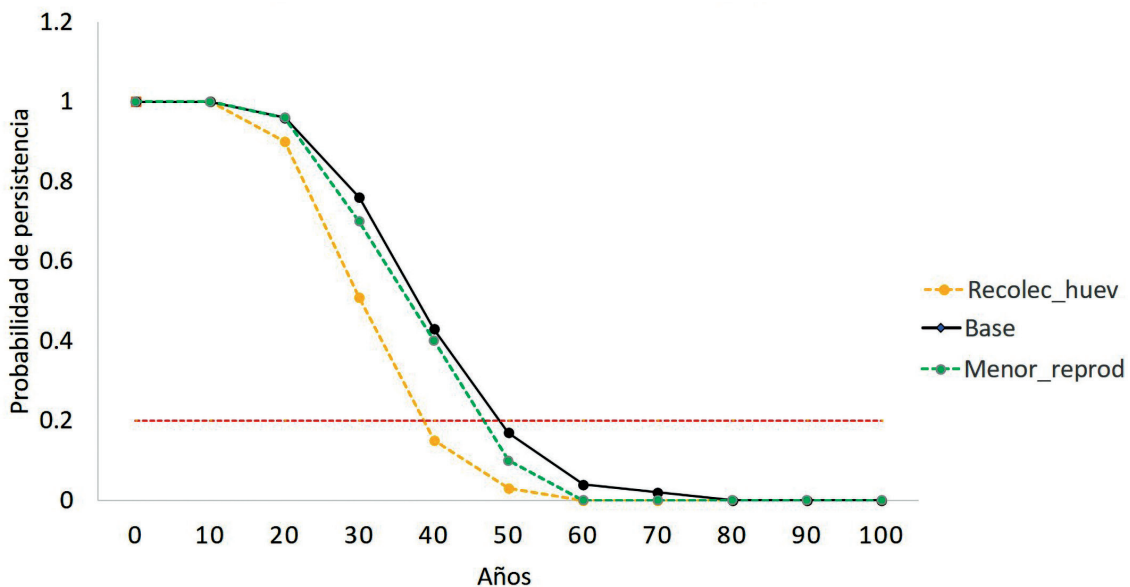


Figura 4. Probabilidad de persistencia de *Rhea pennata* al término de 100 años de simulación bajo el escenario de recolección de huevos (Recolec_huev) y menor reproducción (Menor_reprod).

El efecto de la endogamia sería devastador sobre la población de *R. pennata* en un hábitat fragmentado y con una población adulta de 50 individuos sometido a nevadas frecuentes e intensas, sumado al efecto de la consanguinidad, produciría la extinción de *R. pennata* entre los 25 años y 30 años próximos (PP= 0.20%) (Fig. 5).

Solo con el incremento de la población a través de un proceso de repoblamiento *R. pennata* es viable en 100

años. Sin embargo, en el escenario que considera solamente el manejo de hábitat, buscando mejorar la calidad y disponibilidad del hábitat, también se produce una tasa de crecimiento negativa ($r = -0.11$). Es decir, así se pretenda incrementar la cantidad y disponibilidad del hábitat, la población de *R. pennata* no se incrementará. Solamente, si se disminuye la mortalidad en la primera clase de edad y se considera el repoblamiento, la tasa de crecimiento es positiva ($r = 0.14$) (Fig. 6).

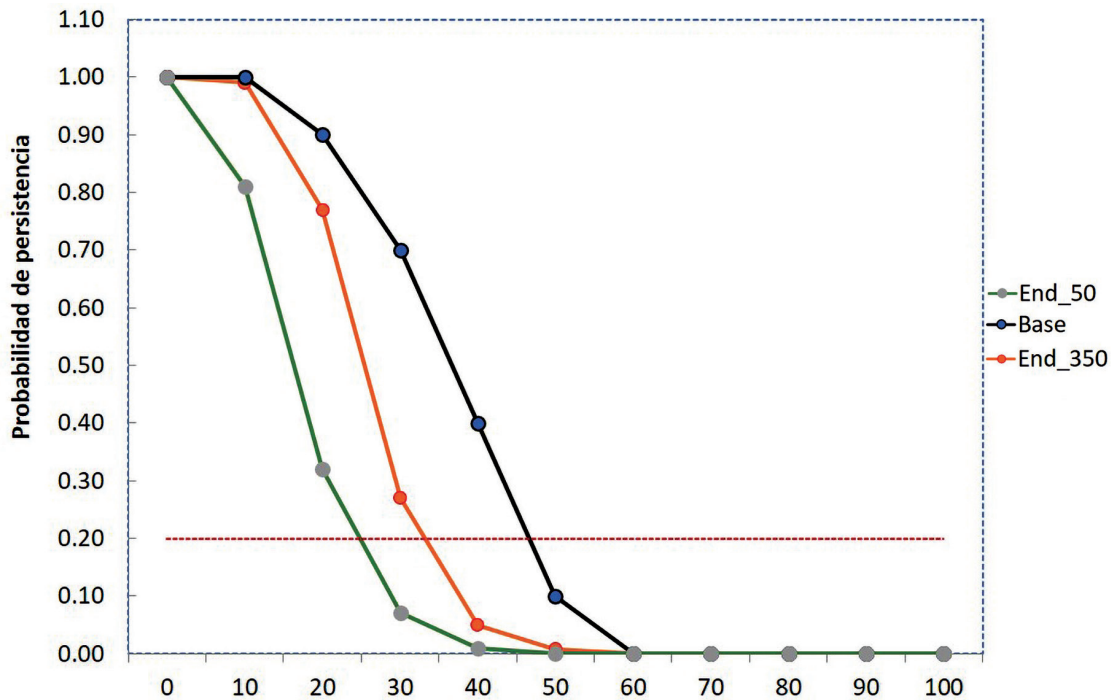


Figura 5. Probabilidad de persistencia de *Rhea pennata* al término de 100 años de simulación bajo el escenario de endogamia en 350 (End_350) y 50 individuos (End_50).

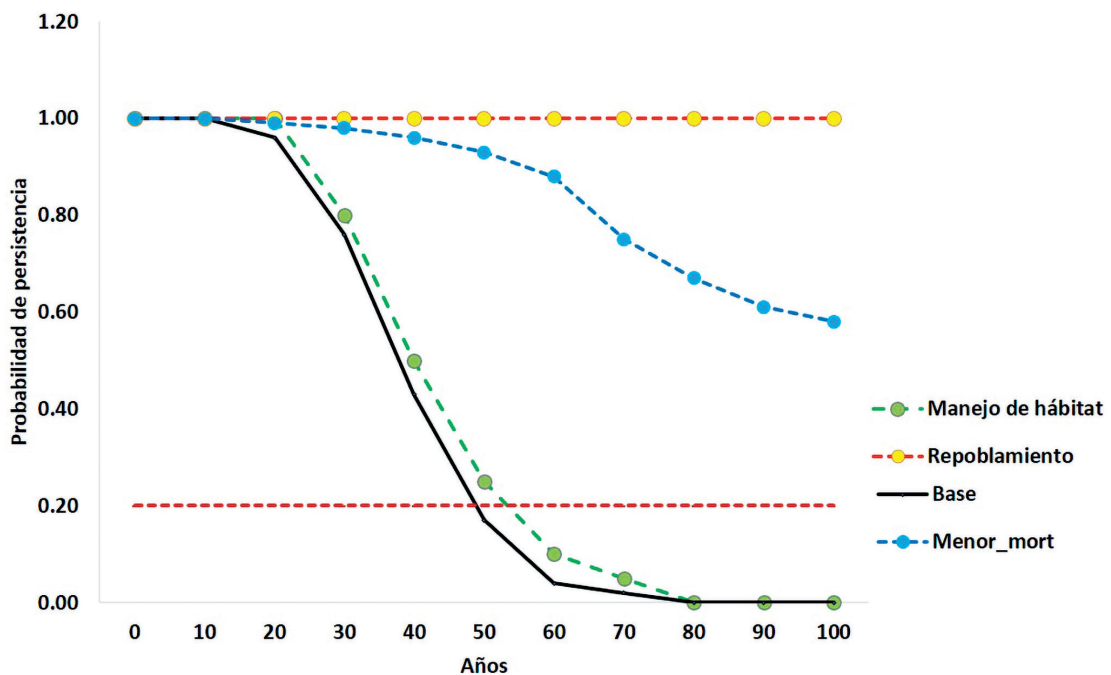


Figura 6. Probabilidad de persistencia de *Rhea pennata* al término de 100 años de simulación bajo los escenarios de manejo de hábitat, repoblamiento y disminución de la mortalidad en la primera clase de edad (Menor_mort).

El mejor escenario de repoblamiento o tamaño mínimo viable de *R. pennata* apunta a la necesidad de liberar 38 grupos poblacionales por un periodo de 15 años. Cada grupo poblacional debería de tener 24 individuos aproximadamente, conformado por 3 machos adultos y 12 hembras entre adultas y juveniles, y 8 polluelos entre machos y hembras. Al finalizar el repoblamiento *R. pennata* alcanzaría un tamaño mínimo viable mayor a los 1000 individuos. El periodo de repoblamiento contempla un periodo de entrenamiento de 5 años, luego una liberación blanda hasta los 15 años. Sin embargo, este escenario logra ser efectivo, si la mortalidad en la primera clase de edad es menor al 20%, además, de que la reproducción de machos y hembras sea del 80%, y se elimine la recolección de huevos y el hábitat se mantenga en buen estado de conservación en alguna modalidad de conservación.

La evaluación de hábitat de *R. pennata*, entre los años 2008 al 2016 mostró que el área de extensión de ocurrencia (EOO) se redujo de 7875582 a 4923177 km², lo que equivale a -38% del área de extensión; del mismo modo, el área de ocupación (AOO) se redujo de 320000 a 228000 km² equivale a -27% del área de ocupación. En vista de este resultado, el mejor escenario para el tamaño óptimo el hábitat de *R. pennata* implica incrementar el área de ocupación al menos a 30000 km².

Análisis de sensibilidad

Algunos parámetros evaluados han evidenciado un alto grado de incertidumbre como la tasa de mortalidad para la primera clase de edad (machos y hembras), edad

reproductiva, porcentaje de machos y hembras que logran reproducirse y catástrofes (nevada). Los análisis de sensibilidad para estos parámetros fueron comparados con la tasa de crecimiento anual del modelo base (Fig. 7).

El análisis de sensibilidad para la mortalidad en la primera clase de edad es muy variable. En el modelo, la mortalidad es del 60%, disminuir al 30% representa una tasa de crecimiento de -0.06, disminuir al 20% es improbable por el efecto de otros factores como enfermedades y variaciones climáticas. Incrementar la mortalidad a más del 60%, representaría una drástica disminución de la población, ya que la tasa de crecimiento poblacional sería de -0.12, lo que conllevaría a que la población enfrentaría una extinción en el corto plazo.

En el modelo base se consideraron 12 años como la edad máxima reproductiva. El análisis de sensibilidad para este parámetro indica que, mientras mayor sea la edad reproductiva la tasa de crecimiento se incrementa; de manera que, si la edad máxima reproductiva fuera 16 años, la tasa de crecimiento sería de -0.07. Por el contrario, si la edad máxima reproductiva fuera solo 10 años, la tasa de crecimiento sería de -0.19.

Las catástrofes como las nevadas son un parámetro con alto grado de incertidumbre. El análisis de sensibilidad para este parámetro muestra que un mayor impacto y frecuencia de la nevada reduciría la tasa de crecimiento a -0.12. Otro parámetro con alta incertidumbre es el porcentaje de machos y hembras que anualmente se reproducen exitosamente, el análisis indica que, si hubiera una disminución en el porcentaje de reproducción en un 25%,

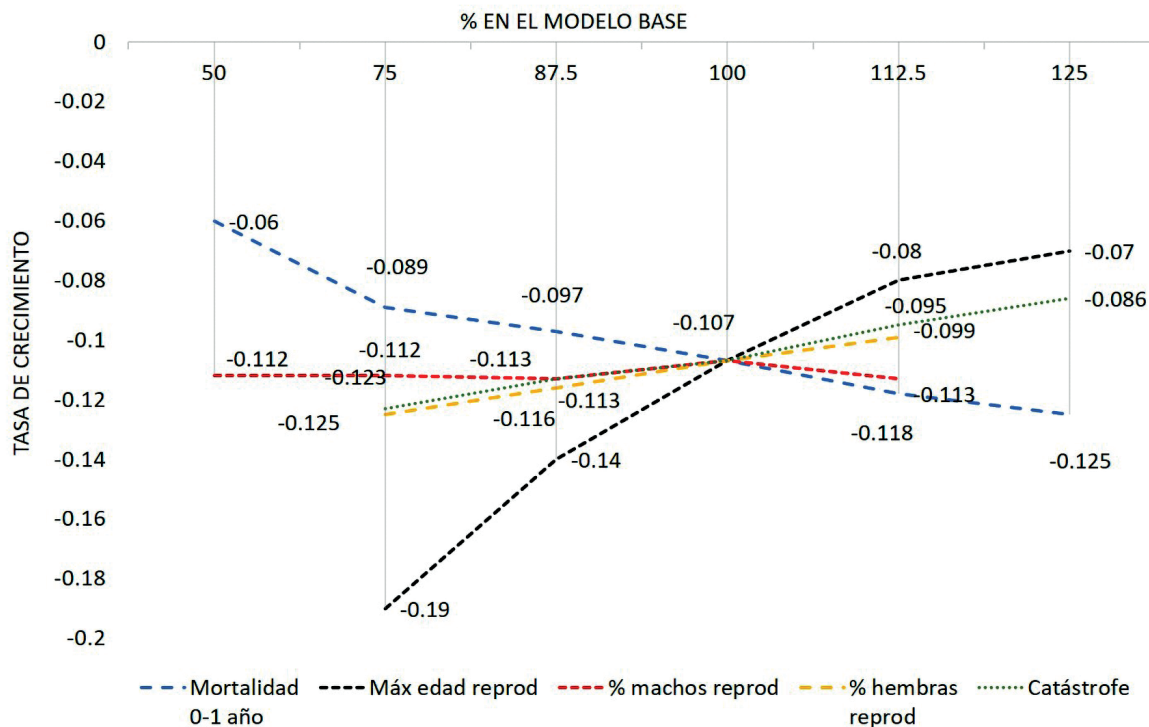


Figura 7. Análisis de sensibilidad de los parámetros inciertos: mortalidad en la primera clase de edad (Mortalidad 0-1 año), máxima edad reproductiva (Máx edad reprod), porcentaje de machos reproduciéndose (% machos reprod), porcentaje de hembras reproduciéndose (% hembras reprod) y catástrofes.

la tasa de crecimiento anual disminuiría al -0.11 . Por tanto, para la conservación de esta especie, estos parámetros representan una alta prioridad de investigación.

Discusión

Rhea pennata bajo las condiciones actuales tiene una probabilidad de extinguirse en aproximadamente 50 años. Basado en los datos poblacionales obtenidos el 2008 y el 2016, la población disminuyó en 21% y solo se consideró una población adulta de 285 individuos (SERFOR 2018b). En general, poblaciones con menos de 300 individuos maduros, y con capacidad de reproducirse, son consideradas como pequeñas poblaciones con alto riesgo de extinción por la pérdida de variabilidad genética, fluctuaciones demográficas y ambientales (Primack & Ros 2002). Nuestros resultados señalan que *R. pennata* con una pequeña población no es viable en 100 años de simulación y el tiempo medio de extinción podría darse entre los 25 a 30 años siguientes. Para revertir el proceso de extinción del *R. pennata* ha sido señalado como fundamental la erradicación de la recolección de huevos de *R. pennata* para cualquier uso. Por otro lado, el incremento del tamaño poblacional es una solución que ha sido planteada en otras especies para que la pérdida y fragmentación del hábitat y la mortalidad en la primera clase de edad no acelere el tiempo de extinción (Barrios 2007, Rodríguez-Matamoros et al. 2012, Tammone 2016).

Nuestro avistamiento de un grupo poblacional de 8 individuos, sin polluelos y sin juveniles; además de otros 5 avistamientos sin polluelos (eBird 2022), sugerirían la posibilidad de que *R. pennata* en estado silvestre no se estaría reproduciendo. En este escenario, considerando la mortalidad de polluelos por causa natural o por recolección de huevos, la simulación muestra que la tasa de crecimiento poblacional disminuiría en -0.18% anual. Para revertir este escenario y la tasa de crecimiento sea positiva, se debe erradicar la recolección de huevos de *Rhea pennata*.

En otras especies, por ejemplo, para evitar el declive poblacional de *Rollandia microptera* la mortalidad en polluelos debería mantenerse por debajo del 75% (Maldoño 2007). Mientras que, se señala que para recuperar la población de *Harpia harpyja* no solo sería clave disminuir la mortalidad en polluelos, sino también la de adultos y juveniles (Carrillo et al. 2003).

Para recuperar la población de *R. pennata* y evitar su extinción, también es importante mejorar las condiciones del hábitat e incrementar el tamaño de la población. De acuerdo con los escenarios, el incremento de hábitat y la disminución de la mortalidad de polluelos de *R. pennata* no es suficiente para evitar la extinción, ya que la tasa poblacional sigue siendo negativa, -0.03% anual. Sin embargo, el escenario de repoblamiento otorga poblaciones de *R. pennata* viables en el largo plazo, con una tasa de crecimiento positiva, 0.14% anual. Existen evidencias de especies que estando en peligro de extinción han conseguido recuperarse a través del repoblamiento. La pava aliblanca (*Penelope albipennis taczanowski*) es el caso más conocido, luego de un proceso de reintroducción

logró recuperarse y evitar la extinción (Angulo 2004). Otras especies como el Maitú (*Crax fasciolata*) y Guacamayo Rojo (*Ara chloropterus*) se recuperaron luego de estar extintos localmente (Berkunsky & Di Giacomo 2015).

También, debemos considerar cuales son las condiciones climáticas severas producidas por el cambio climático y que tienen un impacto sobre la viabilidad poblacional (Akçakaya 2000). La caída de intensas y frecuentes nevadas en el área de distribución de *R. pennata* tienen un efecto sobre la disminución temporal de su hábitat, lo que conllevaría a una mayor mortalidad, sobre todo en la primera clase de edad, hecho observado en cautiverio donde una nevada puede producir del 50 al 60% de muertes entre polluelos (PEBLT 2017). El análisis de sensibilidad en nuestro modelo señala un alto impacto de las intensas nevadas sobre la mortalidad y reproducción de *R. pennata* en estado silvestre, -0.12% anual, que incluso podrían acelerar el tiempo de extinción. Al respecto, estudios en el urogallo (*Tetrao urogallo*) han encontrado que las fluctuaciones ambientales incrementaron la mortalidad de pichones (Grimm & Storch 2000). En Argentina, para *R. pennata* la escasez de alimento determina el tamaño y la estructura del grupo poblacional haciéndola vulnerable a las fluctuaciones ambientales (Frixione & De Lamo 2017). Conocer el verdadero impacto de la variación climática sobre la reproducción y mortalidad de *R. pennata* es otro aspecto clave para su recuperación.

Según los escenarios, para evitar la extinción de *R. pennata* es clave incrementar y mejorar su hábitat. Además, incrementar el tamaño de la población mediante la repoblación, todo esto, permitiría contar con grupos poblacionales de *R. pennata* viables a largo plazo, con la capacidad de resistir a las fluctuaciones genéticas, demográficas y ambientales.

Las mejores experiencias de repoblamiento a partir de individuos criados en cautiverio recomiendan desarrollar 4 etapas: identificación y selección de individuos, entrenamiento, liberación y seguimiento (Bello et al. 2014). Además, deben tomarse en cuenta diferentes normativas de niveles internacionales, nacionales, regionales o sub-regionales dirigidas a la gestión y asegurar la conservación de los organismos translocados (IUCN 2012b). Siguiendo estas experiencias y recomendaciones, el repoblamiento de *R. pennata* debería de cumplir con 4 etapas (Fig. 8).

El Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca tiene un centro de conservación de *R. pennata* que cuenta con 3 módulos de conservación: Chapuco, Calachaca y Sumac Kantati, con una población total de 217 individuos: 106 individuos adultos, 43 juveniles y 68 polluelos (PELT 2018). Sin embargo, no toda esta población es apta para la liberación.

La primera etapa de repoblamiento debe identificar y seleccionar los individuos, y requiere que estos sean sometidos a pruebas clínicas, conductuales y un análisis de la variabilidad genética de la población. En el 2018,

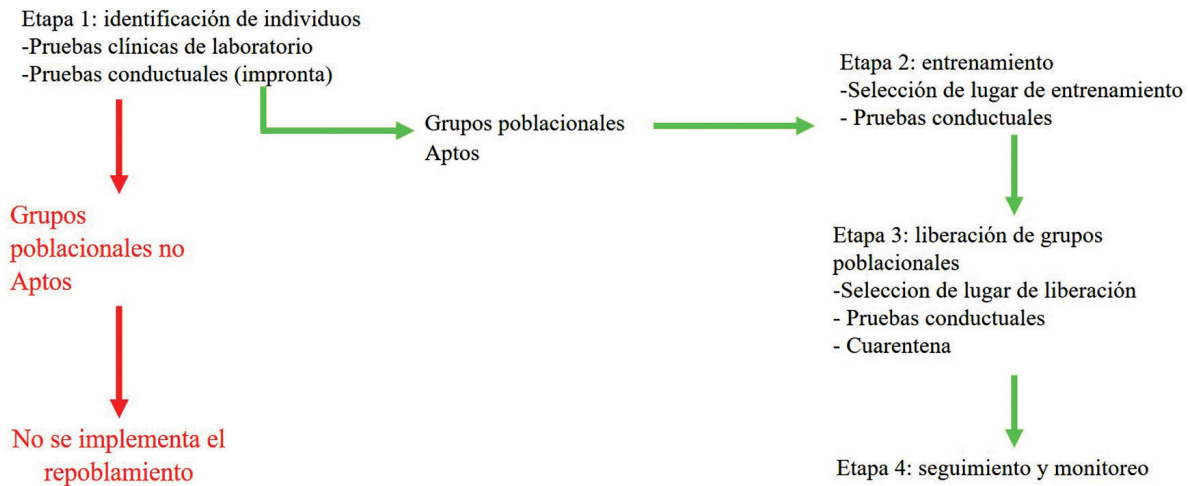


Figura 8. Etapas para la liberación de grupos poblacionales de *Rhea pennata* a vida silvestre.

en el módulo de Chapuco, con una población de 136 individuos, se registró un brote de gripe aviar que infectó y mató aproximadamente 54 individuos. Por otra parte, en este módulo también se evidenciaron malformaciones en polluelos por posibles casos de depresión endogámica. Por estos motivos, se considera que en este módulo no hay individuos aptos para una liberación. En el módulo Calachaca que tiene una población de 69 individuos, existe una intervención humana desde el cortejo, asistencia en la reproducción y son vigilados mientras ocurre la cópula hasta la eclosión de los huevos, inclusive los polluelos al nacer son trasladados a salas de cría. Esto demuestra que, en este módulo, *R. pennata* depende de la intervención humana. Pese a esto, esta población es apta para convertirse en un plantel reproductor. Del mismo modo, los 11 individuos del módulo de Sumac Kantati, son aptos como plantel reproductor. La descendencia de ambos módulos debe servir para conformar los grupos poblacionales para ser liberados. Antes de la liberación, los individuos de *R. pennata* deben pasar por una fase de cuarentena, es importante que los individuos se encuentren en condiciones sanitarias óptimas, así se evita poner en riesgo a la población en estado silvestre.

La liberación debe darse en áreas con algún nivel de conservación, además del área de conservación regional Vilacota Maure en el departamento de Tacna, existen otras modalidades de conservación como: el sitio prioritario Lagunas Altoandinas y las áreas de conservación privada Taipipiña y Checca en el departamento de Puno, todas estas áreas adicionales suman un total de 27165.5 km² de hábitat que incluyen bofedales, tólares y arenales con vegetación mixta, en aparente buen estado de conservación. Los resultados del cálculo del área de ocupación señalan que el hábitat de *R. pennata* debería incrementar en al menos 30000 km² y considerando que el rango de hogar de *R. pennata* es de 24.8 ± 9.34 km² (Bellis et al. 2004), podría representar un tamaño óptimo del hábitat con la capacidad de albergar una población viable de *R. pennata*.

El repoblamiento de *R. americana* y *R. pennata* en Argentina, luego de pasar por un proceso de selección, adaptación y entrenamiento, permitió que los individuos liberados se integren a los grupos silvestres, con los que luego se habrían cruzado y producido descendencia. Esto demuestra que procesos de repoblamiento correctamente desarrollados logran incrementar el número de individuos en poblaciones relativamente pequeñas (Martella & Navarro 2006). Sin embargo, omisiones o errores en el proceso podrían causar el fracaso de la translocación. Por ejemplo, en un experimento sobre la importancia de la etapa de entrenamiento, concluyen que no considerar al ser humano y a los perros fue una de las causas del fracaso de la translocación de *R. americana* (Vera et al. 2015). En otro experimento, la evaluación del estrés posterior a la liberación de *R. americana* sugiere una fuerte respuesta al estrés crónico que reduciría su capacidad para resolver nuevos desafíos (Lêche et al. 2015). También ha quedado demostrado que, para *Crax fasciolata* y *Ara chloropterus* incluir la cuarentena antes de la liberación asegura un menor riesgo en las poblaciones silvestres (Berkunsky & Di Giacomo 2015). Luego de la liberación, es muy importante el seguimiento o monitoreo de los individuos liberados para evaluar la supervivencia de los individuos a las nuevas condiciones naturales (Bello et al. 2014). Con el repoblamiento y la implementación de mecanismo o estrategias de conservación que conlleven a la gestión efectiva de los recursos naturales de la población local, se espera tener una población viable de *R. pennata* en el largo plazo.

Literatura citada

- Akçakaya R. 2000. Population viability analysis with demographically and spatially structured models. *Ecological Bulletins* 48: 23–38.
- Angulo F. 2004. Dispersión, supervivencia y reproducción de la pava aliblanca *Penelope albipennis* Taczanowski, 1877 (Cracidae) reintroducida a su hábitat natural en Perú. *Ecología Aplicada* 3: 112–117.

- Bachman S, Moat J, Hill A, Torre J de la, Scott B. 2011. Supporting Red List threat assessments with GeoCAT: geospatial conservation assessment tool. *ZooKeys*. 150:117–126. <https://doi.org/10.3897/zookeys.150.2109>
- Barríos J. 2007. Population viability analysis of the Taruka, *Hippocamelus antisensis* (D'orbigny, 1834) (Cervidae) in southern Peru. *Revista Peruana de Biología* 14(2): 193–200. <https://doi.org/10.15381/rpb.v14i2.1732>
- Bellis L, Martella, Navarro, Vignolo P. 2004. Home range of greater and lesser rhea in Argentina: relevance to conservation. *Biodiversity and Conservation*. (13): 2589–2598. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-1086-0>
- Bello R, Escate W, Capuñay C, Rosemberg F, Timson S, Munday R, Kilby R. 2014. Establecimiento de un grupo de monos araña (*Ateles chamek*) reintroducidos y monitoreados mediante radio telemetría en el sureste de la amazonia peruana. Programa de Rehabilitación y reintroducción del mono araña, *Ateles chamek* (humboldt, 1812), en el sureste de la amazonia peruana. Puerto Maldonado, Perú: Centro De Rescate Taricaya Reserva Ecológica Taricaya - Projects Abroad.
- Berkunsky I, Di Giacomo A. 2015. Proyecto de reintroducción experimental de Maitú (*Crax fasciolata*) y Guacamayo Rojo (*Ara chloropterus*) en la Reserva Natural Iberá. Buenos Aires: Fundación Rewilding Argentina, The Conservation Land Trust. 29 pp. <https://www2.rewildingargentina.org/library/documentos/ibera/guacamayo-rojo/proyecto-reintroduccion-aves.pdf>
- Carrillo L, Camacho A, Miller P, Hoeksema T. 2003. Taller de Conservación de Águila Arpía Análisis de Viabilidad de Población y Hábitat para el Águila Arpía (*Harpia harpyja*) en la Selva Maya. Chiapas, México: Instituto de Historia Natural y Ecología de Chiapas Zoológico Miguel Álvarez del Toro. 81 pp.
- Cruz A, Madrid A, Leva H. 2013. Estado de conservación y distribución del Suri “*Rhea pennata*” (Rheidae) en el área de conservación regional Vilacota Maure, Tacna. Ministerio del Ambiente. Memoria Segundo Encuentro de Investigadores Ambientales julio de 2013. Arequipa, Perú.
- Delgado SE. 2019. Estudio de la distribución geográfica y ecológica del “suri” (*Rhea pennata*) en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure (Tacna, Perú). Tesis, Licenciado en Geografía y Medio Ambiente. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14267>.
- eBird. 2021. eBird: An online database of bird distribution and abundance. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. (Accessed: 2-09-2022) Available: <http://www.ebird.org>.
- Feld A, Silvestro CA, Huguet MJ, Miquel MC, Sarasqueta DV, Iglesias GM. 2011. Conocimientos actuales sobre la genética del ñandú (*Rhea americana*) y el choique (*Rhea pennata*). *Revista Argentina de Producción Animal* 31(1): 79–90. <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/rapa/article/view/2496>
- Frixione MG, De Lamo D. 2017. Population fluctuations of Lesser Rhea (*Rhea Pennata Pennata*) in Península Valdés, Patagonia Argentina. *Ornitología Neotropical* 28: 261–268.
- González-Urrutia M, Muñoz-Pedreras A, Norambuena HV. 2018. Historia natural del Ñandú del Sur (*Rhea pennata pennata*). *Gestión Ambiental* 36: 23–45.
- GORE Puno (Gobierno Regional de Puno). 2016. Sitios prioritarios para la conservación de la diversidad biológica: región Puno. Puno: Gobierno Regional de Puno. 152 pp.
- Grimm V, Storch I. 2000. Minimum viable population size of capercaillie Tetrao urogallus: results from a stochastic model. *Wildlife Biology*, 6(1): 219–225. <https://doi.org/10.2981/wlb.2000.019>
- Handbook of the Birds of the World and BirdLife International. 2020. Handbook of the Birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the world. Version 5. Available at: http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/Taxonomy/HBW-Bird-Life-Checklist_v5_Dec20.zip
- IUCN (International Union for Conservation of Nature 2012a. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la IUCN: Versión 3.1. Segunda edición. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: IUCN. 34pp. Originalmente publicado como IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition. (Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2012).
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2012b. Directrices para el repoblamiento y otras translocaciones para fines de conservación. Versión 1.0. Gland. Suiza: Species Survival Commission. 57pp. IBN 978-2-8317.1609-1.
- Lèche A, Vera Cortez M, Della Costa NS, Navarro JL, Marin RH, Martella MB. 2016. Stress response assessment during translocation of captive-bred Greater Rheas into the wild. *Journal of Ornithology* 157(2):599–607. <https://doi.org/10.1007/s10336-015-1305-3>
- Maldonado W. 2007. Viabilidad poblacional de Rollandia microptera (zambullidor del Titicaca) en el Lago Titicaca, Perú. Tesis. Magister en Ecología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/552>
- Martella MB, Navarro JL. 2006. Proyecto Ñandú: Manejo de Rhea americana y *R. pennata* en la Argentina. In: Bolkovic M.L. & Ramadori D. (eds.). Manejo de Fauna Silvestre en la Argentina. Programas de uso sustentable. Buenos Aires: Dirección de Fauna Silvestre, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Miller P, Lacy RC. 2005. VORTEX: A Stochastic Simulation of the Extinction Process. Version 9.50. User's Manual. Apple Valley, Minnesota: Conservation Breeding Specialist Group (SSC/IUCN).
- OEFA (Organismo de Evaluación y fiscalización Ambiental). 2018. Evaluación ambiental temprana en el área de influencia del proyecto minero Quellaveco de Anglo American Quellaveco S.A., durante el 2017 y 2018. Dirección de Evaluación Ambiental. Lima, Perú. 241 pp. <https://repositorio.oefa.gob.pe/handle/20.500.12788/115>
- PEBLT (Proyecto Especial Binacional lago Titicaca). 2017. Conservación del Suri (*Rhea pennata*): avances y logros. Puno, Perú: Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca. 98 pp.
- Pedrana J, Bustamante J, Travaini A, Rodríguez A, Zapata S, Zann Martínez JI, Procopio D. 2011. Environmental factors influencing the distribution of the Lesser Rhea (*Rhea pennata pennata*) in southern Patagonia. *Emu*, 111(4): 350–359. <https://doi.org/10.1071/MU11007>
- Primack RB, Ros J. 2002. Introducción a la Biología de la Conservación. Barcelona: Editorial Ariel Ciencia S.A. 384 pp
- Rioja-Paradela T, Carrillo-Reyes A, Lorenzo C. 2013. Análisis de población viable para determinar el riesgo de extinción de la liebre de Tehuantepec (*Lepus flavigularis*) en Santa María del Mar, Oaxaca. *Therya* 3(2): 137–150. <https://doi.org/10.12933/therya-12-67>

- Rodríguez-Matamoros J, Villalobos-Brenes F, Gutiérrez-Espeleta GA. 2012. Viabilidad poblacional de *Alouatta palliata* (Primates : Atelidae) y *Cebus capucinus* (Primates: Cebidae) en el Refugio de Vida Silvestre Privado Nogal, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 60(2), 809–832. <https://doi.org/10.15517/rbt.v60i2.4001>
- Sarasqueta D. 2005. Cría, reproducción y manejo en cautiverio del ñandu. INTA Bariloche, Área de Recursos Naturales. 5 pp. INTA Bariloche, Área de Recursos Naturales, Fauna, Río Negro, Argentina. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_de_nandues/15-cria_reproduccion_y_manejo.pdf
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). 2015. Plan Nacional para la Conservación del Suri (*Rhea pennata*), periodo 2015-2020. Lima: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. 53 pp.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). 2018a. Libro Rojo de la fauna silvestre amenazada del Perú. Lima: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. 558 pp.
- SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). 2018b. Situación poblacional del Suri en el Perú: Resultados del II Censo Nacional. Lima: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. 52 pp.
- Schulenberg TS, Stotz DF, Lane DF, O'Neill JP, III TAP, Egg AB. 2010. *Birds of Peru: Revised and Updated Edition*. Princeton: Princeton University Press.
- Tammone NM. 2016. Pérdida de diversidad genética: Implicaciones para la evolución y la conservación de dos especies *Ctenomys* (Odentia, Ctenomyidae) en Patagonia Norte. Tesis Doctor en Biología. Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche. Argentina.
- Vera Cortez M, Valdez DJ, Navarro JL, Martella MB. 2015. Efficiency of antipredator training in captive-bred greater rheas reintroduced into the wild. *Acta Ethologica* 18(2):187–195. <https://doi.org/10.1007/s10211-014-0206-4>
- Villanueva JB. 2005. Distribución actual de *Pterocnemia pennata tarapacensis* a nivel nacional. Tesis Especialidad

Conservación de Recursos Forestales. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. 130 pp.

Agradecimientos / Acknowledgments:

A la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre – Puno y Moquegua-Tacna. Al Servicio Nacional Forestal y de Fauna silvestre por brindarnos la información de los censos poblacionales de Suri 2016. A José Luis Vilca Ticona del Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca. A Yoisi Pari Morales de SERFOR, por ayudarnos en la etapa de campo..

Conflicto de intereses / Competing interests:

Los autores declaramos que no tenemos conflicto de intereses.

Rol de los autores / Authors Roles:

WMC: Conceptualización; Investigación; Escritura- Preparación del borrador original; Redacción: revisión y edición; Metodología; Validación.

DFBF: Conceptualización; Investigación; Metodología; Escritura-Preparación del borrador original; Redacción: revisión y edición.

Fuentes de financiamiento / Funding:

Los autores declaramos que no recibimos un financiamiento específico para la realización de este trabajo.

Aspectos éticos / legales; Ethics / legals:

Los autores declaran no haber violado u omitido normas éticas o legales al realizar la investigación y esta obra.