UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza

Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza

BIOLOGÍA POBLACIONAL DE *Phegornis mitchellii* (CHORLITO CORDILLERANO) EN EL VALLE DEL RÍO YESO, CHILE, COMO BASE PARA UN PLAN DE CONSERVACIÓN

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza.

ANDREA MINOLETTI JAQUES

Médico Veterinario

Santiago, Chile

2021

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza.

Profesor(a) Guía	Nombre	Cristián Estades M.
	Nota	
	Firma	
Profesor(a) Consejero(a)	Nombre	Benito González P.
	Nota	
	Firma	
Profesor(a) Consejero(a)	Nombre	Cristóbal Briceño U.
	Nota	
	Firma	

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos quienes me acompañaron, de una manera u otra, a lo largo del avance lento pero constante en la elaboración de mi proyecto de grado. En especial quiero agradecer a mi hermana y mis padres por su apoyo en todo momento, y a Andrea Contreras, Fernando Díaz y Jim Johnson por su invitación al proyecto que originó esta tesis, y por su valiosa entrega y compañía durante las jornadas en terreno, y el largo trayecto de la tesis.

Agradezco también a mi profesor guía Cristián, quien tuvo la disposición y paciencia de revisar mi tesis, muchas veces luego de periodos prolongados de tiempo.

También quiero agradecer a Anir Muñoz por su gran ayuda en el análisis de los datos reproductivos y poblacionales, y en la obtención de datos en terreno, junto a otros muchos voluntarios que cooperaron de manera desinteresada en el campo. En especial quiero agradecer a Sandra Figueroa, Paulina Arce, Maximiliano Daigre, y Víctor Escobar. Otras personas voluntarias a quienes agradezco por su participación en el proyecto son: Marisol Seborga, Paula Maldonado, Raúl Díaz, Carolina Yañez, Patricio Guerrero, Fabrice Schmitt, Niko Groen, Ted Miller, Nuria Tores, Tomás Valle, Liliana Ortiz, Nina Latorre, Marta Mora, Soledad Segovia, Rodrigo Barros, y al equipo de Fish and Wildlife Service.

Finalmente, agradezco a las propietarias del predio por permitir la entrada de personas para el estudio y monitoreo de la especie, a Manomet y The Rufford Foundation por confiar en el proyecto y facilitar monetariamente el desarrollo de la investigación en terreno, y a la Red de Observadores de Aves y Vida Silvestre, quienes aportaron materiales de captura, anillamiento, y la difusión de los proyectos de investigación y conservación asociados a esta tesis.

Índice de contenido

Resumen 6

Summary 7

1. Introducción. 8

2. Objetivos. 13

3. Materiales y métodos. 14

4. Resultados. 26

5. Discusión. 46

6. Conclusiones. 51

7. Bibliografía. 52

8. Apéndices. 58

Lista de Figuras

Figura 1. Plano general de la propiedad, donde se encuentra el área de estudio. En el plano se incluyen los caminos, cuerpos de agua, y formaciones de vegas principales……14

Figura 2. Área de estudio de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, entre 2011-2016, correspondiente a 50 parches de vegas y bordes de cuerpos de agua……..15

Figura 3. Fenología reproductiva de *Phegornis mitchellii* en el valle del Yeso……..27

Figura 4. Localización de la presencia de individuos y de nidos de *Phegornis mitchellii* en las áreas monitoreadas del valle del río Yeso, entre los años 2011-2016, durante un total de seis temporadas reproductivas……...28

Figura 5. Abundancia de los individuos adultos, y de polluelos y juveniles, de la especie *Phegornis mitchellii* en el área total de estudio en el valle del río Yeso, en cuatro temporadas de estudio entre los años 2011 a 2015……..31

Figura 6. Promedio de la abundancia mensual de individuos adulto, polluelo y juvenil de *Phegornis mitchellii* en el área de estudio del valle del río Yeso, de seis temporadas entre los años 2011 y 2016……..……...32

Figura 7. Gráfico de la tasa de sobrevivencia aparente anual de los adultos y de los polluelos-juveniles de *Phegornis mitchelli* en el valle del río Yeso, representada en cinco temporadas de estudio entre los años 2011-2016……..……33

Figura 8. Gráfico de la tasa de recuperación o reavistamiento anual de los adultos y los polluelos-juveniles de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, representada en cinco temporadas de estudio entre los años 2011-2016……..34

Figura 9. Proporción de huevos eclosionados y juveniles volantones formados por adulto (figura 9a), y, densidad de polluelos eclosionados, juveniles volantones, nidos y adultos (figura 9b), de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, para cuatro temporadas de estudio entre los años 2011-2015……..36

Figura 10. Zonas destacadas de la presencia de individuos y de nidos de *Phegornis mitchellii* en las áreas monitoreadas del valle del río Yeso, entre los años 2011-2016, durante un total de seis temporadas reproductivas……..47

Lista de Tablas

Tabla 1. Modelos de sobrevivencia aparente (ϕ) y tasa de recuperación reavistamiento (p) para dos categorías etarias, adultos y polluelos-juveniles, y sus correspondientes valores de AICc (“Akaike’s Information Criterion” corregido) y número de parámetros. 33

Tabla 2. Índice de Mayfield (1975) de éxito de nidos de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, para cuatro temporadas de estudio……37

Tabla 3. Tasa finita de crecimiento de la población de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, para tres periodos interanuales……..38

Tabla 4. Matriz de Leopold modificada con las amenazas directas versus los parámetros poblacionales de *Phegornis mitchellii* en el Valle del Yeso, indicando los valores de magnitud del impacto con una escala numérica del 1 al 10……39

Resumen

El desarrollo de planes de protección efectivos para las especies en peligro de extinción requiere del conocimiento de aspectos básicos de su historia de vida, como es la biología poblacional. *Phegornis mitchellii* (chorlito cordillerano) es una especie de ave playera considerada Casi Amenazada a nivel global, y es endémica de humedales altoandinos de gran fragilidad, en Perú, Bolivia, Argentina y Chile. El valle del río Yeso, de los Andes Mediterráneos de Chile, presenta superficies de vegas y otros humedales altoandinos sobre los 2.300 m s. n. m., donde habita una importante población de la especie. El objetivo de este estudio es cuantificar aspectos de la biología poblacional de *P. mitchellii* en el valle del río Yeso, como base para el diseño de lineamientos de manejo para la conservación de la especie en el área. Para este objetivo, se recopilaron datos de la especie durante seis temporadas reproductivas entre los años 2011 a 2016. Los resultados muestran que la temporada reproductiva de *P. mitchellii* en el valle del Yeso se extiende entre agosto y mayo, con un tamaño poblacional máximo de 39 adultos, concentrándose principalmente en siete de los 50 parches estudiados. La tasa media anual de sobrevivencia aparente se estimó en 0,73, mientras la probabilidad de eclosionados que llegan a ser adultos la siguiente temporada fue estimada en 0,17, resultando en una tendencia de la población de mantenerse estable en el tiempo (lambda promedio= 1,03). Aunque la población en estudio no se encuentre en disminución, requiere de acciones de conservación porque, sumado a las amenazas que se diagnosticaron - vehículos y ganado que transitan sobre el hábitat de la especie, presencia de mascotas, uso inadecuado del agua, y perturbaciones humanas asociadas a zonas de camping -, la población tiene un área de ocupación y una extensión de la presencia restringidos, y su tamaño es pequeño, haciéndolo susceptible a factores estocásticos. Las acciones de conservación sugeridas incluyen: un plan de manejo del área que reduzca los factores de riesgo para la especie, facilitar las actividades de educación ambiental de la comunidad local y de los visitantes, y el cumplimiento de las normativas de las Áreas de Preservación Ecológica que rigen para el predio. Para un plan de conservación efectivo, se sugiere complementar la presente tesis con investigaciones futuras principalmente en la cuantificación del efecto de las amenazas sobre los parámetros poblacionales.

Palabras claves: biología poblacional, humedales altoandinos, acciones de conservación.

Summary

The development of effective protection plans for endangered species requires knowledge of basic aspects of their life history, such as population biology. *Phegornis mitchellii* (Diademed Sandpiper-Plover) is a species of shorebird endemic to high Andean wetlands of great fragility, in Peru, Bolivia, Argentina and Chile, and it is considered globally as Near Threatened. The Yeso River Valley, in the Mediterranean Andes of Chile, holds an important population of the species, which inhabits bogs and wet meadows above 2,300 m.a.s.l. The objective of this study is to quantify aspects of the population biology of *P. mitchellii* in the Yeso River Valley, as a basis for the design of management guidelines for the conservation of the species in the area. For this purpose, data on the species were collected during six reproductive seasons between 2011 and 2016. The results show that *P. mitchellii´s* reproductive season in the Yeso Valley extends between August and May, with a maximum population size of 39 adults, focusing mainly on seven of the 50 studied patches. The average annual rate of apparent survival was estimated at 0.73, whereas the probability of hatchlings becoming adults during the following season was estimated at 0.17, resulting in a tendency of the population to remain stable over time (mean lambda = 1.03). Although the population under study is not in decline, it requires conservation actions because, in addition to the threats that were diagnosed - vehicles and livestock that transit over the habitat of the species, presence of pets, improper use of water, and human disturbances associated with camping areas - the population has a restricted area of occupancy and extent of occurrence, and its size is small, making it susceptible to stochastic factors. Suggested conservation actions include: a management plan for the area that reduces risk factors for the species, facilitating environmental education activities of the local community and visitors, and compliance with the regulations of the Ecological Preservation Areas that govern for the property. For an effective conservation plan, it is suggested to complement this thesis with future research mainly in the quantification of the effect of threats on population parameters.

Key words: population biology, high Andean wetlands, conservation actions.

1. Introducción.

1.1. Importancia de la biología poblacional como base para la planificación en la conservación de especies amenazadas.

El desarrollo de planes de protección efectivos para las especies en peligro de extinción requiere del conocimiento de aspectos básicos de la historia de vida de la especie (Begon *et al.*, 2006). La combinación de rasgos biológicos particulares - como la cronología del ciclo de vida, la longevidad, la flexibilidad conductual, la abundancia en el espacio y el tiempo - ayudan a determinar patrones de fecundidad y supervivencia que, a su vez, determinan la tendencia de crecimiento poblacional. Además, es fundamental que los planes de conservación aborden los factores ecológicos que limitan el tamaño poblacional (por ejemplo, competencia, depredación, enfermedad), y los efectos antrópicos que causan su declinación. Todos estos datos se originan del estudio de la biología poblacional de la especie, y son de utilidad para tomar decisiones respecto a los esfuerzos de protección y de recuperación, y para evaluar el éxito de acciones de conservación (Begon *et al.*, 2006; Colwell, 2010).

La biología poblacional puede ser aplicada en planes de conservación de especies de diversas maneras, incluyendo la identificación de las etapas de la vida o procesos demográficos más importantes para conservar o manipular, la estimación de tamaños mínimos de población viables, la evaluación de riesgo relativo o priorización de opciones de manejo potenciales, y la estimación de riesgo de extinción en períodos definidos y bajo intervenciones de manejo específicas (Sodhi and Ehrlich, 2010).

En este contexto, la inclusión de datos poblacionales en los procesos de planificación para la gestión de áreas silvestres es fundamental para la conservación de especies amenazadas que habitan en ellas. Esto toma mayor relevancia cuando la planificación del territorio en cuestión integra tanto actividades productivas como objetivos de conservación.

1.2. Biología poblacional en las aves playeras.

Las aves playeras (Orden Charadriiformes) comprenden un grupo muy diverso de especies, pero que, en su mayoría, comparten su especialización por los hábitats ecotonales que se forman en la ribera del mar y humedales. Los parámetros demográficos que influyen en el crecimiento de las poblaciones de aves playeras incluyen la proporción de sexos, la densidad, la sobrevivencia, la productividad, la inmigración y la emigración (Colwell, 2010). A su vez, los elementos que influyen en la sobrevivencia y la productividad de ellas comprenden un conjunto de factores naturales (por ejemplo, depredación, disponibilidad de recursos, enfermedades, clima), y los factores antropogénicos (Colwell, 2010).

La tasa de sobrevivencia de aves silvestres es uno de los parámetros poblacionales más difíciles de estimar en la naturaleza, y existen cuatro aproximaciones para cuantificarla en las aves playeras: (1) longevidad máxima, (2) métodos de tabla de vida, (3) tasas de retorno, y (4) análisis de marca-recaptura. Este último es el análisis que proporciona las estimaciones más precisas de sobrevivencia, ya que calcula la sobrevivencia aparente que, aunque no permite diferenciar los individuos muertos de aquellos que han emigrado del área permanentemente, sí permite diferenciarlos de aquellos que emigran temporalmente y de aquellos que los observadores no logran detectar (Sandercock, 2003). La longevidad de las distintas especies de aves playeras varía entre los 8 y 44 años (Colwell, 2010). Los valores de sobrevivencia varían entre las especies en correlación con la masa: comúnmente desde 0,50 hasta 0,70 en especies pequeñas, y 0,70-0,90 en las especies grandes (Sandercock, 2003). En casi todas las aves playeras, la sobrevivencia de los juveniles es baja en comparación con los adultos; en la mayoría de casos, es aproximadamente la mitad de la de los adultos (Sandercock, 2003; Colwell, 2010).

La productividad de una población local, o el número de jóvenes producidos, es el producto del sistema del apareamiento, la densidad reproductiva local, el tamaño de la nidada, el éxito de eclosión y el éxito de emplume (Colwell, 2010). Los sistemas sociales de las aves playeras y su biología reproductiva presentan una inmensa variación. Sin embargo, los sistemas de apareamiento de la mayoría de las especies de aves playeras se caracterizan por la monogamia y diversos grados de cuidado

parental compartida de huevos y polluelos. La variación espacial de la densidad reproductiva puede estar influida por una variedad de factores, incluyendo el sistema social y la disponibilidad de hábitat (Colwell, 2010).

Las aves playeras tienen tamaños de nidada normalmente pequeños (1-4 huevos). Su éxito de eclosión y de emplume varía mucho con el tiempo y el espacio (0-100%), y eclosionan polluelos precoces que se desarrollan rápidamente. El fracaso de la nidada es un fenómeno común para las aves playeras, y la depredación es la causa más importante (Evans and Pienkowski, 1984; Martin, 1993). En consecuencia, las hembras de muchas especies ponen nidadas de recambio cuando los primeros intentos fracasan, sobre todo cuando hay tiempo suficiente en la época reproductiva. La frecuencia con que las especies ponen nidadas de reemplazo o múltiples nidadas varía con la latitud, y por lo tanto, con la duración de la temporada de reproducción (Colwell, 2010).

La mayoría de los playeros (familia Scolopacidae) y sus símiles se reproducen en hábitats de vegetación donde el plumaje camuflado de adultos y los huevos crípticos ocultan el nido de los depredadores; ellos continúan incubando a pesar del estrecho acercamiento de los depredadores (o humanos). Por el contrario, los chorlitos (es decir, de la familia Charadriidae) y sus símiles anidan al descubierto, detectan depredadores a una mayor distancia, y dependen de la cripsis del huevo para mejorar la supervivencia de la nidada; suelen alejarse a una mayor distancia del nido cuando detectan depredadores (Colwell, 2010).

Hasta cierto punto, la variación en la duración del período de incubación entre las especies está relacionada con la masa de huevo y el sistema de alimentación, que varía de aproximadamente 21 a más de 30 días. Los períodos más largos se encuentran en las especies que ponen huevos más grandes; sin embargo, las especies (y las familias) en que los polluelos corren y capturan sus presas por sí solos requieren hasta cuatro días más de incubación que aquellos de masa de huevo similar, pero que son alimentados por sus padres o que se alimentan en su mayor parte por picoteo (Nol, 1986). La variación intraespecífica puede provenir, hasta cierto punto, de la fecha de inicio de la incubación; las nidadas que son puestas más tarde en la época reproductiva requieren de menor tiempo de incubación. La edad en que los jóvenes de diferentes especies empluman se correlaciona con la masa de la especie (por ejemplo,

14-18 días versus 35-40 días; Colwell, 2010). Por ejemplo, Kersten y Brenninkmeijer (1995) observaron que la variación intraespecífica en el ostrero euroasiático (*Haematopus ostralegus*) se relaciona con la capacidad de los adultos para aprovisionar a los pollos.

Como resultado de una baja tasa reproductiva (tamaños de nidada pequeños y reproducción tardía), y relativamente altas tasas de sobrevivencia, los cambios en la sobrevivencia de las aves playeras tienen un efecto más fuerte sobre el crecimiento de la población que los cambios en la reproducción (Hitchcock and Gratto-trevor, 1997; Sandercock, 2003).

1.3. Estado de conocimiento de *Phegornis mitchellii* (chorlito cordillerano).

Phegornis mitchellii (chorlito cordillerano) es una especie de ave playera de la familia Charadriidae, única representante del género. Es endémico de humedales altoandinos de Perú, Bolivia, Argentina hasta Neuquén y Chile hasta Curicó por el sur. Habita entre los 2000-5000 m s. n. m, en ambientes de bofedales, vegas, bordes de ríos y lagunas (Johnson, 1964; Hayman *et al.*, 1986; del Hoyo *et al.*, 1996; Canevari *et al.*, 2001; Jaramillo, 2005; Contreras y Estades, 2011; Ferrer *et al.*, 2013).

La biología de *P. mitchellii* se encuentra escasamente documentada. Los principales aspectos conocidos son sus características morfológicas y de identificación, y algunos aspectos generales de su hábitat y distribución (Hayman *et al*., 1986; del Hoyo *et al.*, 1996; Canevari *et al.*, 2001; Jaramillo, 2005; Schulenberg *et al.*, 2007; Narosky y Yzurieta, 2010; Ferrer *et al.*, 2013).

El estudio más reciente de la especie, en el Parque Provincial Aconcagua (Argentina), indica que la época de cortejo ocurre entre los meses de octubre y noviembre, la nidificación en diciembre y enero, y la presencia de crías en febrero (Ferrer et al. 2013). Se alimenta de insectos acuáticos, renacuajos y plancton (Gorgoglione, 1997). Johnson (1964) menciona que las poblaciones del sur realizan pequeñas migraciones.

Con una población mundial estimada de 1.500-7.000 adultos (BirdLife International, 2021), la especie se considera “Casi Amenazada” por constituir una población pequeña

y en declinación. En Chile está categorizada también como “Casi Amenazada” (MMA, 2020) y protegida por la Ley de Caza (MINAGRI, 1998). Sus principales amenazas se asocian a la alta fragilidad de su hábitat, incluyendo las actividades de sobrepastoreo, minería y turismo intensivo (Ahumada *et al.*, 2011; Contreras *et al.*, 2013).

1.4. Las vegas altoandinas y el valle del río Yeso.

Las vegas son sistemas ecológicos azonales compuestos por una estrata herbácea de baja a mediana altura (5-100 cm), sobre una superficie general plana y con significativas fluctuaciones de los niveles freáticos (Alegría and Lillo, 1996). Se forman en laderas con afloramientos de agua, fondos de quebrada y hondonadas resultantes de procesos de modelado coluvial, glacial y tectónico (Ruthsatz, 1993).

Este tipo de ambiente es reconocido globalmente como uno de los más frágiles, y de alta significancia social y económica, por los servicios ecosistémicos que prestan. Su alta fragilidad está asociada a causas naturales, como el cambio en el régimen pluviométrico, y a causas antrópicas, como las actividades de drenaje, pastoreo excesivo, o alteración en el régimen hídrico (por ejemplo, minería, agua potable). Actualmente, frente a los pronósticos de cambio climático, la preocupación a nivel mundial y nacional ha impulsado diferentes estrategias de conservación, junto a una serie de investigaciones sobre la biodiversidad de estos ecosistemas (Contreras, 2002; Convencion de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA, 2008; Ahumada and Faundez, 2009; Ahumada *et al.*, 2011).

En Chile las formaciones de vegas altoandinas se localizan sobre los 2.300 m s. n. m. en las Subregiones del Altiplano y de la Puna, y en los Andes Mediterráneos (Ahumada et al., 2011; Alegría & Lillo, 1996; Contreras & Estades, 2011; Gajardo, 1994). Se caracterizan por presentar praderas densamente cubiertas por juncáceas, y cercanos a los cursos de agua se desarrolla una densa cubierta de especies palustres y acuáticas (Contreras & Estades, 2011; Gajardo, 1994; Muñoz-Schick, Moreira-Muñoz, Villagrán, & Luebert, 2000; Ruthsatz, 1993).

Este tipo de ecosistema constituye una importante fuente nutricional y abrevador para un número importante de especies animales, permitiendo la presencia de una gran

diversidad biológica respecto de su entorno (Ahumada et al., 2011; Alegría & Lillo, 1996). Algunas de las aves asociadas a las vegas, además del chorlito cordillerano (*Phegornis mitchellii*), incluyen a la perdicita cojón (*Thinocorus orbignyanus*), el pato juarjual (*Lophonetta specularioides*), el piuquén (*Chloephaga melanoptera*) y la gaviota andina (*Chroicocephalus serranus*; Bonacic e Ibarra, 2010; Hernández *et al.*, 2014)

El valle del río Yeso, como parte de los Andes Mediterráneos, presenta superficies de vegas y otros humedales altoandinos sobre los 2.300 m s. n. m., donde habita una de las poblaciones de *P. mitchellii* más importantes entre las conocidas. A su vez, el área presenta una variedad de problemas ambientales y tipos de intervención humana, que lo transforman en un excelente caso de trabajo para la integración entre la biología poblacional de la especie y la gestión del hábitat para su conservación.

2. Objetivos.

2.1. Objetivo general.

Cuantificar aspectos de la biología poblacional de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso como base para el diseño de propuestas de manejo para la conservación de la especie en el área.

2.2. Objetivos específicos.

- Describir patrones del uso del hábitat y de la fenología reproductiva de la población de *P. mitchellii* en el valle del río Yeso.
- Estimar abundancia, densidad, sobrevivencia aparente y productividad anual de la población de *P. mitchellii* en el valle del río Yeso, y analizar tendencias de crecimiento poblacional.
- Realizar un diagnóstico de las principales amenazas que enfrenta la población de *P. mitchellii* en el valle del río Yeso.
- Elaborar lineamientos de manejo para la conservación del *P. mitchellii* en el valle del río Yeso.

3. Materiales y métodos.

3.1. Área de estudio.

3.1.1. Ubicación geográfica y superficie.

El área de estudio se restringió a los límites de un predio privado de casi 39.100 ha, en los Andes de Chile Central, específicamente en la comuna de San José de Maipo (Región Metropolitana), en el sector alto del valle del Yeso (33,64° S y 69,93° O; Figura 1). El acceso a la propiedad es a través del Camino al Embalse El Yeso, aunque también se puede ingresar por Argentina mediante el Paso Internacional Portillo de Piuquenes. Dentro del predio existe un parque con cobro de entrada para el uso de las termas naturales, Termas del Plomo, y para la estadía con disponibilidad de servicios sanitarios básicos.

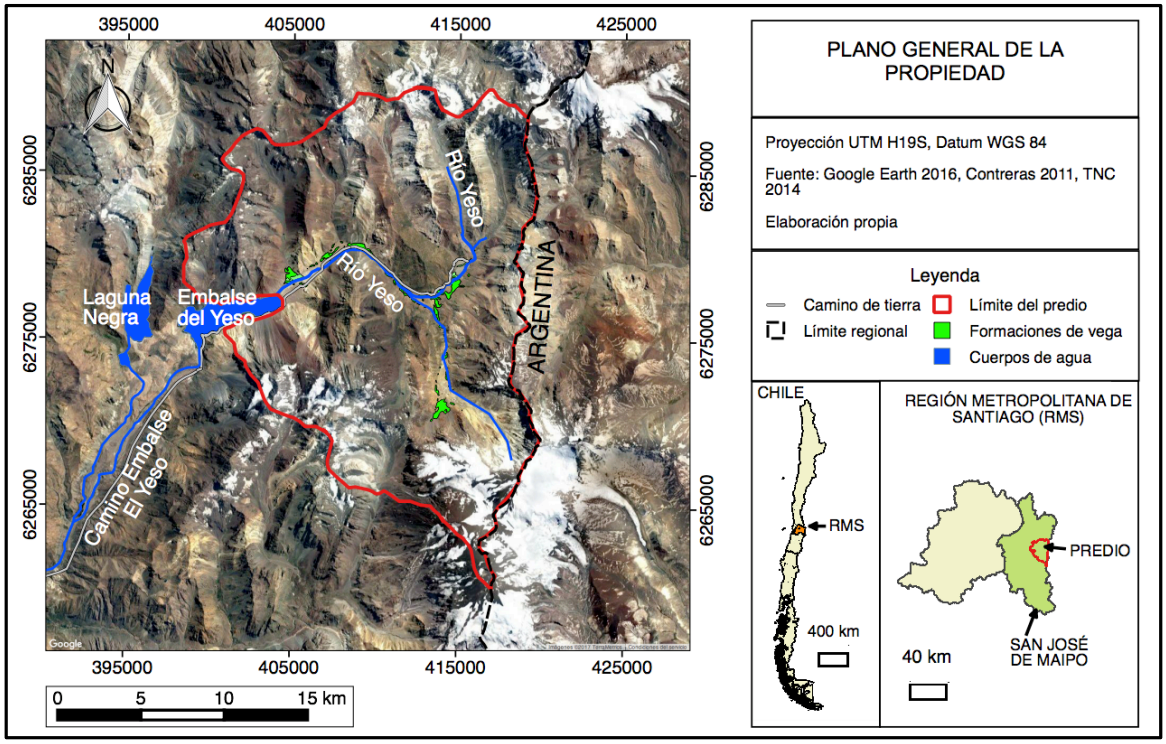

Figura 1. Plano general de la propiedad, donde se encuentra el área de estudio. En el plano se incluyen los caminos, cuerpos de agua, y formaciones de vegas principales.

P. mitchellii habita en las formaciones de vega de la propiedad, durante la época reproductiva. Estas vegas se pueden identificar como 71 parches diferentes, de las cuales en 12 de ellos se registró presencia de la especie, como parte de un estudio de hábitat entre los meses de noviembre 2010 y febrero 2011 (Contreras & Estades, 2011). El área del presente estudio comprendió 50 parches de vegas y bordes de cuerpos de agua (es decir, ríos, riachuelos y termas), constituyendo un total de 278,62 ha de superficie (Figura 2).

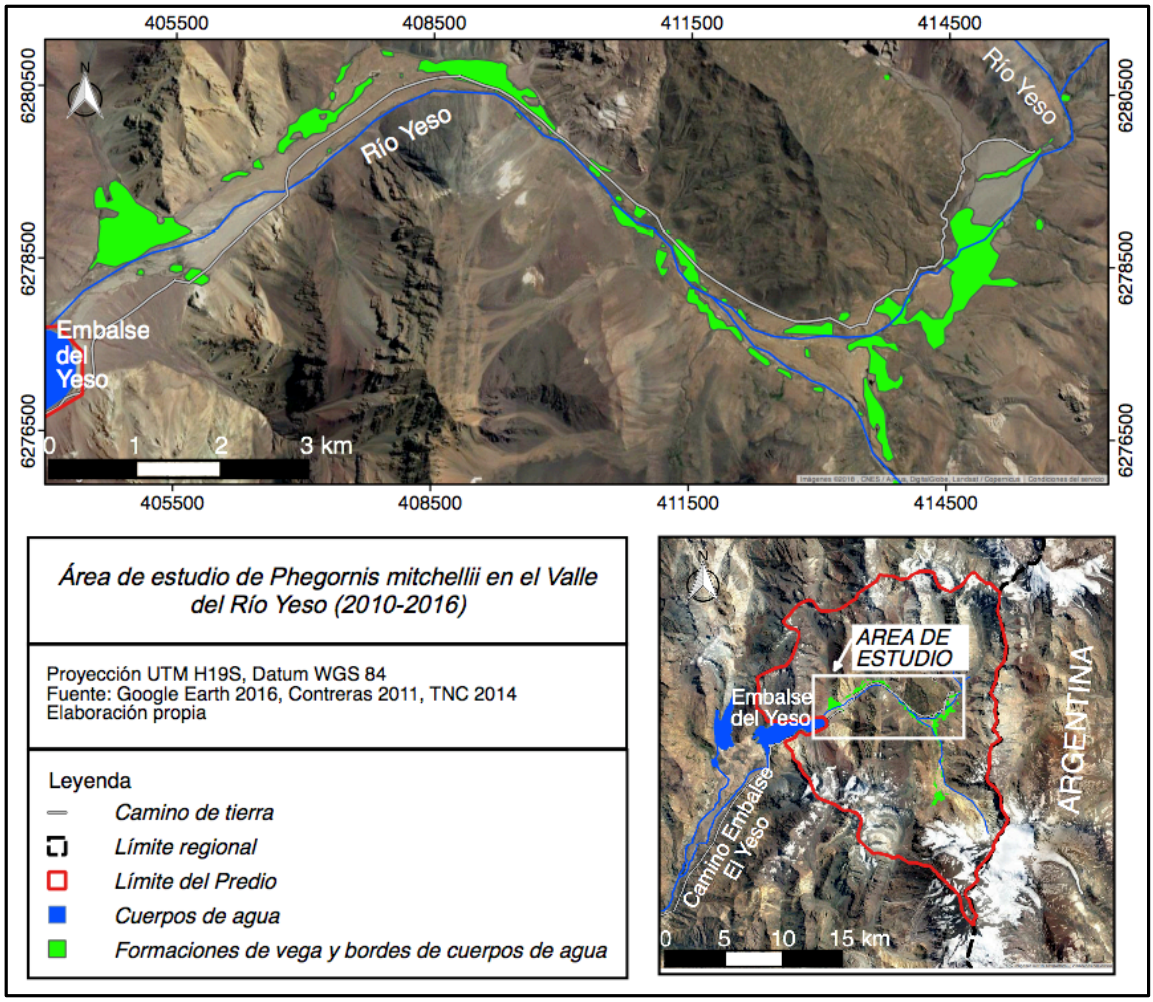

Figura 2. Área de estudio de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, entre 2011-2016, correspondiente a 50 parches de vegas y bordes de cuerpos de agua.

3.1.2. *Características bioclimáticas.*

Esta área se encuentra en una zona bioclimática con un régimen mediterráneo montano de tendencia continental, caracterizado por marcadas fluctuaciones térmicas y un período de mayor actividad biológica en verano (Muñoz-Schick *et al.*, 2000). Cerca de los 3.000-4.000 m s. n. m. se encuentra el rango máximo de desarrollo vegetal en altura, más arriba del cual se mantiene el hielo y la nieve a lo largo de casi todo el año (Quintanilla, 1978). Las precipitaciones nivales en invierno superan los 3,5 metros, y en las estaciones intermedias son cercanas a los 50 cm. A la influencia nival se agrega la pluvial, con precipitaciones en invierno que sobrepasan los 500 mm, y en las estaciones intermedias alcanzan los 100 mm. La temperatura media máxima anual no es mayor a 5^0C, mientras la media mínima anual bordea los -2^0C; sin embargo, en verano el intervalo de temperatura se encuentra entre los $7\text{-}19^0$C (Stehberg, 1980).

3.1.3. *Formaciones vegetacionales.*

Entre los 2.600-3.300 m s. n. m. la vegetación del área de estudio se caracteriza por la presencia de vegas altoandinas azonales (Villagrán *et a*l., 1983), que interrumpen la distribución de estepas y matorrales zonales (Muñoz-Schick *et al.*, 2000). Las vegas se encuentran compuestas por asociaciones, tales como coirón de vega (*Patosia clandestina*) - junquillo (*Juncus balticus*) (Ruthsatz, 1993) y coirón - chaurilla (*Pernettya pumila*; Gajardo 1994). Entre los 3.300-3.900 m s. n. m. la vegetación se encuentra muy dispersa, con características de desierto altoandino (Muñoz-Schick *et al.*, 2000).

3.1.4. Instrumentos de gestión de la biodiversidad.

La propiedad se encuentra dentro del Sitio Prioritario “Zona Alto Andina”, y regulada en su totalidad por el Plan Regulador Metropolitano de Santiago como un Área de Preservación Ecológica (CONAMA *et al.*, 2004; Jadue *et al.*, 2010). La Zona Alto Andina se incluye dentro de un conjunto de sitios prioritarios, que se ha nombrado como Santiago Andino, el cual en su totalidad es un Área de Prohibición de Caza; y, al ser parte de la comuna de San José de Maipo también se considera una Zona de Interés Turístico (GORE and SEREMI-MMA, 2013). Además, al incluir parte del valle del Yeso, internacionalmente se ha identificado como Área Importante para la

Conservación de Aves (BirdLife International, 2015). Otros instrumentos legales asociados a la conservación de humedales incluyen: Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Código de Aguas, Convención Ramsar, y la Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Humedales de Chile (Ahumada *et al.*, 2011).

3.2. Población de *P. mitchellii* en el valle del río Yeso.

3.2.1. Definición de la población.

Una población generalmente se define como un conjunto de individuos de la misma especie que ocupan una determinada área geográfica. Sin embargo, en la práctica los límites de una población dependen del tamaño y la forma de vida de una especie, su modo de reproducción, el modo de dispersión de sus semillas o juveniles, su especificidad de hábitat, y su patrón de distribución dentro de su rango de distribución geográfica. A su vez, las subpoblaciones pueden ser definidas como partes de una población, entre las cuales el flujo de los genes está limitado en algún grado, pero dentro de las cuales un individuo tiene la misma oportunidad de aparearse con cualquier otro individuo (es decir, "población" panmíctica). Es decir, se consideran subpoblaciones cuando los individuos están agrupados, y los grupos se encuentran lo suficientemente lejos entre sí como para que exista una dispersión o reproducción parcialmente limitada entre ellos (Akçakaya *et a*l., 1999).

En términos prácticos, para el presente estudio se llamará "población" al grupo de individuos de *P. mitchellii* que habita las formaciones de vegas del valle del río Yeso. Sin embargo, es probable que este grupo se trate de una de las "subpoblaciones" que compone parte de una población restringida a un área mayor de la cordillera de los Andes, en la zona central de Chile y Argentina.

3.2.2. Definición de pollo, juvenil y adulto.

La Real Academia Española (2017) define "pollo" como la "cría que nace del huevo de un ave" y "ave que no ha mudado aún la pluma", y define "polluelo" como la "cría de ave". Por su parte, los expertos en aves definen al juvenil como el "ave que adquiere su

primer plumaje “real”, que no es plumón” (Howell, 2010). De esta manera, para la presente tesis utilizaremos la definición para “polluelo” y “pollo” como la “cría de ave que aún no adquiere su primer plumaje”, y la definición para “juvenil” como el “ave que adquiere su primer plumaje”. El inicio de la etapa de juvenil, por lo tanto, es cuando el ave puede empezar a realizar vuelos cortos (volantones), y comienza a ser más independiente del adulto progenitor.

De acuerdo al estudio de todos los polluelos y juveniles capturados (n=80) durante las seis temporadas de estudio, se determinó que *P. mitchellii* comienza su etapa de juvenil cerca de las cuatro semanas de edad. Por este motivo, se determinó de manera arbitraria esta edad para establecer el término de la etapa de pollo y el inicio de la etapa de juvenil.

En el presente estudio se consideró a *P. mitchelli* “adulto” desde la siguiente temporada del nacimiento del individuo. A pesar de que en este momento la especie aún no desarrolla su plumaje completo de adulto, sí ha alcanzado la capacidad fisiológica de reproducirse.

3.2.3. Datos existentes a la fecha.

Con respecto a la selección de hábitat, Contreras & Estades (2011) documentan que los sitios con presencia de *P. mitchellii*, durante una temporada reproductiva (2010-2011), tuvieron en promedio una mayor cobertura de pasto (media=49,9%, p=0,05) y fango (media=1,85%, p=0,03), y una menor cobertura de arbustos (media=4,54%, p=0,01) y suelo desnudo (media=8,96%, p<0,001), que los sitios con ausencia de la especie. Además, los sitios ocupados, tendieron a presentar una menor pendiente (media=6,67, p=0,03) y una mayor altitud (media=2.819,28, p=0,01) que el promedio de los sitios no ocupados por la especie.

Para el presente estudio se recopilaron datos de la especie durante seis temporadas reproductivas entre enero de 2011 hasta marzo de 2016: 2011, 2011-2012, 2012-2013, 2013-2014, 2014-2015, y 2015-2016. El esfuerzo de muestreo correspondió a un promedio de 16,5 días en terreno y de 99 horas de observación por temporada, los cuales se repartieron en un promedio de 5 meses dentro del periodo de octubre a mayo.

No se incluyeron los meses de junio-agosto debido a que no había acceso al lugar por acumulación de nieve en el camino de ingreso al predio. Tampoco se logró acceder al predio durante el mes de septiembre, sin embargo, se logró extrapolar información de incubación a este mes.

El estudio en terreno fue efectuado principalmente por profesionales y anilladores voluntarios de Chile y el extranjero, en el marco de tres proyectos financiados por ONGs: Manomet de EEUU (Johnson *et al.*, 2012) y The Rufford Foundation de Reino Unido (Díaz, 2014; Díaz, 2016). En total se recopilaron datos de 104 familias distintas de *P. mitchellii*, registrando el seguimiento de las nidadas, y otras observaciones conductuales generales. La información se ordenó en planillas indicando los siguientes datos: nombre de identificación de los nidos, observador, ubicación georreferenciada, anillos de los padres, fecha y hora, fase reproductiva, número de huevos o pollos, medidas de los huevos y características de flotación del huevo (para evaluar la etapa de incubación), y el destino de la nidada (Apéndices 1 y 2). Además, se anilló un total de 44 adultos y 80 polluelos o juveniles con anillos de metal y combinaciones únicas de anillos de color, y se registró el re-avistamiento de individuos ya anillados. En total se obtuvieron 646 registros, incluyendo los eventos de captura y re-avistamiento, los cuales se ordenaron en una plantilla Excel indicando anillos, fecha, observador, ubicación georreferenciada, edad, y la fase reproductiva (Apéndice 3). Conjuntamente, la información específica de captura y anillamiento se registró en planillas especiales (Apéndice 4).

Además, se registró el número y coordenadas de individuos observados sin anillos, ya sea que fueran adultos, juveniles o polluelos (184 registros). Para completar el estudio, también se agregó información de registros obtenidos desde la plataforma de eBird (2012), en relación a datos reproductivos y no reproductivos de individuos anillados y no anillados desde septiembre de 2010 a mayo de 2016 (14 registros).

Para las observaciones se usaron binoculares y telescopios con zoom entre 20-60x. Para las capturas de las aves se emplearon redes niebla y una trampa de arco para nido (Gratto-Trevor, 2004). Para el marcaje de las aves se utilizaron anillos de metal Incoloy con código alfanumérico, obtenidos del Servicio Agrícola Ganadero (SAG) de Chile, a través del Sistema Nacional de Anillamiento de Aves Silvestres, y anillos de

color de plástico Darvic (Avinet Inc., Nueva York, EEUU). Todas las capturas se realizaron con los permisos respectivos del SAG (Nº 6591/2010, Nº 294/2012, Nº 6561/2013, Nº 447/2015, Nº 559/2016).

3.3. Fenología reproductiva y patrones del uso del hábitat.

Asociado al OBJETIVO I: Describir patrones del uso del hábitat y de la fenología reproductiva de la población de P. mitchellii en el valle del río Yeso.

3.3.1. Fenología reproductiva

Se realizó una caracterización del orden cronológico y de la duración de las etapas de incubación y de cuidado parental de *P. mitchellii*. Para esta estimación se analizaron los datos en gráficas fenológicas representando las fechas en que se concentraron los huevos en incubación, los pollos en crianza, y la presencia de volantones. Los resultados se obtuvieron a partir del promedio de observaciones de parejas reproductivas de la especie entre los meses de octubre a mayo, desde enero de 2011 hasta marzo de 2016, y la extrapolación de los ciclos reproductivos hacia los meses donde faltó información. Las temporadas de estudio sólo incluyeron los meses de septiembre hasta mayo. Para los meses de junio a agosto no se obtuvo información de la especie en el sector debido a que en esas fechas no hubo acceso al lugar por acumulación de nieve en el camino de ingreso.

3.3.2. Distribución espacial

Se describieron los patrones espaciales de la presencia de nidos, y de la presencia de individuos (es decir, adultos, juveniles y pollos) de *P. mitchellii*, mediante un mapa de distribución. Este mapa se obtuvo a partir de los datos de coordenadas de cada nido identificado, y de los datos de coordenadas mensuales de los individuos de la especie, durante las seis temporadas de estudio (2011-2016). De este modo, en el caso de los nidos, el mapa representa cantidad y distribución espacial acumuladas en el tiempo. Sin embargo, en el caso de los individuos, el mapa representa sólo distribución espacial acumulada en el tiempo.

3.3.3. Distancia entre nidos

También se midió la distancia al nido o polluelo(s) de la pareja vecina más cercana en una misma temporada, y la distancia entre los nidos o polluelo(s) de una misma pareja entre temporadas. La medición se realizó mediante el software del Sistema de Información Geográfica "QGIS". Sólo se evaluaron las parejas reproductivas en las que al menos un adulto estaba anillado, y se consideró la misma pareja, entre temporadas, cuando: i) ambos adultos de la pareja se repetían (22 ocasiones en total, 1-3 ocasiones por pareja); y, ii) cuando sólo un adulto de la pareja se repetía, ya sea porque su pareja no tenía anillo o no se registró (11 ocasiones en total, 1-2 ocasiones por pareja), o porque cambió de pareja (siete ocasiones en total, y una ocasión por pareja).

3.4. Parámetros poblacionales.

Asociado al OBJETIVO II: Estimar abundancia, densidad, sobrevivencia aparente y productividad anual de la población de P. mitchellii en el valle del río Yeso, y analizar tendencias de crecimiento poblacional.

3.4.1. Abundancia y densidad poblacional.

La abundancia de adultos y juveniles-pollos de *P. mitchellii* se calculó en cuatro temporadas de estudio, entre los años 2011 a 2015. Para esto se usó la sumatoria del número de individuos no anillados presentes en el mes más abundante de la temporada, más el total de individuos anillados presentes durante toda la temporada. El número de individuos no anillados correspondió al número total de individuos observados en cada vega distinta, tomando en cuenta que en época reproductiva esta especie tiene conductas territoriales y no tiende a moverse grandes distancias.

Con los datos de abundancia se calculó la densidad (individuos/ha), considerando el área total de monitoreo en el valle del río Yeso (278,6 ha de vegas estudiadas).

Además, se representó la abundancia mensual de *P. mitchellii* en un gráfico, como el promedio de individuos adulto, polluelo y juvenil en las seis temporadas de estudio entre los años 2011-2016. Esta información se obtuvo a partir de las observaciones

registradas, y de la extrapolación de los ciclos reproductivos hacia los meses anteriores o posteriores a los registros, de manera de complementar las observaciones de número de individuos mensuales.

3.4.2. Sobrevivencia aparente anual.

Para obtener la tasa de recuperación o re-avistamiento (p), y la tasa de sobrevivencia aparente (ϕ o phi) de los adultos y de polluelos-juveniles de *P. mitchellii* en el valle del Yeso, se utilizó el método de captura-recaptura (en este caso, de captura y re-avistamiento) basado en el modelo de Cormack-Jolly-Seber (CJS; Sandercock, 2003), durante seis temporadas de estudio entre 2011-2016.

Los datos se evaluaron mediante AICc (Akaike's Information Criterion) en el programa informático MARK versión 8.x (White and Burnham, 1999), con lo cual se obtuvo una lista para adultos y otra para polluelos-juveniles, con cuatro modelos distintos en orden de mayor a menor probable y parsimonioso. Los cuatro posibles modelos correspondieron a la combinación de las tasas de recuperación o re-avistamiento (p) y la tasa de sobrevivencia aparente (ϕ), cada una en dos presentaciones diferentes: (t) = la tasa es variable en el tiempo interanual, y, (.) = la tasa es fija en el tiempo interanual.

3.4.3. Productividad anual o éxito reproductivo.

Mediante la estimación de la densidad reproductiva de *P. mitchellii*, el éxito reproductivo per cápita, el tamaño y número de nidadas (Colwell, 2010), y la sobrevivencia o éxito de nidos (Mayfield, 1975) se hizo una estimación de la productividad anual.

La densidad reproductiva se obtuvo como una proporción de los huevos eclosionados/hectárea de hábitat (Colwell, 2010) y los juveniles volantones formados/hectárea, en cada temporada durante cuatro periodos de estudio entre los años 2011-2015, y considerando la superficie total monitoreada en el valle del Yeso (278,63 ha). Como modo de comparación, también se determinó el número de nidos/ha y el número de adultos/ha. El éxito reproductivo per cápita se evaluó como los huevos eclosionados/adulto, y como los juveniles volantones formados/adulto presente en cada temporada (Colwell, 2010), durante cuatro periodos de estudio entre los años 2011-

2015. Para ambos cálculos, los volantones se consideraron como los individuos que sobrevivieron desde polluelos eclosionados hasta juveniles, es decir, alrededor de un mes de edad.

El tamaño de nidadas se pudo evaluar durante cinco temporadas entre los años 2011-2016. El número de nidadas se evaluó en las seis temporadas de estudio entre los años 2011-2016, obteniendo el promedio del total de nidadas/pareja/temporada y el promedio de las nidadas exitosas/pareja/temporada.

La sobrevivencia o éxito de nidos se evaluó mediante el índice de Mayfield (1975) para cuatro temporadas de estudio entre 2011-2015, para lo cual primero se determinó el número de fracasos (F) por temporada y total, y los días de exposición (E) por temporada y total. Los días de exposición son equivalentes a la suma de los días de observación de incubación de todas las parejas y en todo el período de estudio, los intervalos entre dos observaciones de incubación, y los intervalos entre el inicio probable de la incubación y una observación de incubación. Luego se calculó la probabilidad diaria de fracaso, f = F/E, y la probabilidad diaria de éxito de la incubación, e = 1 – f. Finalmente, se calculó el índice de Mayfield mediante la expresión $\mathbf{e^d}$, en que d es el número de días de duración de la incubación de la especie, que en este caso se estableció en 32 días. La duración de incubación se determinó como el equivalente al máximo de días de incubación observados para una nidada, y dentro del rango posible de duración (ver página 26).

3.4.4. Tasa de crecimiento poblacional.

Se analizaron los cambios anuales en el tamaño poblacional de *P. mitchellii* en los sitios de nidificación estudiados, a través de la relación entre el número de adultos observados en cada temporada reproductiva. De esta manera, se obtuvo un valor proporcional indicador de la tasa de cambio de la población.

3.5. Diagnóstico de las principales amenazas.

Asociado al OBJETIVO III: Realizar un diagnóstico de las principales amenazas que enfrenta la población de P. mitchellii en el valle del río Yeso.

Las amenazas que enfrenta *P. mitchellii* en el valle del Yeso, identificadas en terreno, se sistematizaron de acuerdo a la clasificación unificada de amenazas directas propuesta por Salafsky *et al.* (2008), la cual se encuentra jerarquizada en tres niveles. El primer nivel se compone de 11 ítems generales, pero en este caso sólo se utilzaron 10, ya que no se encontró que "especies y genes invasivos u otros problemáticos" constituyera una amenaza notoria sobre la especie. Las amenazas que sí se incluyeron fueron: 1) desarrollo residencial y comercial, 2) agricultura, ganadería y acuicultura, 3) producción de energía y minería, 4) corredores de transporte y servicios, 5) uso de recursos biológicos, 6) intrusiones y perturbaciones humanas, 7) modificaciones de sistemas naturales, 8) contaminación, 9) eventos geológicos, 10) cambio climático y condiciones meteorológicas severas.

Luego de clasificar las amenazas, se procedió a analizar los impactos que generarían estos distintos factores sobre los parámetros poblacionales determinados previamente. El análisis se llevó a cabo mediante la elaboración de una matriz de Leopold (Leopold *et al.*, 1971) simplificada, que requirió de la evaluación de la magnitud del impacto de cada amenaza sobre cuatro parámetros poblacionales de *P. mitchellii*. En la matriz, las amenazas correspondieron a las columnas, y los parámetros poblacionales a las filas. La magnitud se definió como el grado, extensión o escala del impacto, y asignada de manera relativamente objetiva o empírica. La escala numérica utilizada fue de 1-10, siendo 1 el menor valor, y 10 el mayor valor (Leopold *et al.*, 1971). La matriz se entregó a 9 profesionales distintos[1], quienes la completaron cada uno de manera independiente. El criterio para elegir a los profesionales fue su experiencia en el estudio de aves silvestres, su nivel de involucramiento en la investigación de *P. mitchellii*, y/o las horas

[1] Los profesionales que participaron en el diagnóstico fueron: Andrea Minoletti, Médico Veterinario; Andrea Contreras, Mg. Áreas Sivestres y Conservación de la Naturaleza; Fernando Díaz, Anillador Certificado por North American Banding Council; Cristian Estades, Ph.D. Wildlife Ecology; Marisol Seborga, Ingeniero Ambiental; Paulina Arce, Médico Veterinario; Maximiliano Daigre, Médico Veterinario; Anir Muñoz, Lic. Ciencias Ambientales c/m Biología; Víctor Escobar, Mg. Ciencias de la Agricultura.

dedicadas en el área de estudio ayudando en el monitoreo de la especie. El resultado final fue la elaboración de una matriz que promediara todas estas evaluaciones, con la cual se logró determinar cinco amenazas principales sobre la especie en el valle del Yeso, considerando una amenaza como "principal" para este estudio cuando su magnitud de impacto promedió sobre 5,50.

3.6. Propuestas de manejo para la conservación de la especie.

Asociado al OBJETIVO IV: Elaborar lineamientos de manejo para la conservación del P. mitchellii en el valle del río Yeso.

Para el desarrollo de propuestas de manejo se utilizó la metodología de The Nature Conservancy (2007) adaptada, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

3.6.1. Definición de metas de conservación e indicadores.

Antes de definir las acciones de manejo se definieron los resultados específicos y medibles que se pretende lograr con el plan de conservación, de acuerdo a los parámetros poblacionales obtenidos para *P. mitchellii* en el valle del Yeso, y tomando en consideración el diagnóstico de las amenazas que enfrenta esta población.

Se identificó uno o más indicadores para medir la efectividad de cada manejo de conservación definida, y para determinar si se deben hacer ajustes a ellos.

3.6.2. Definición de acciones de conservación y necesidades de investigación.

Para la evaluación de acciones de conservación, primero se identificaron los principales actores asociados a las amenazas directas, y se hizo un análisis de contexto, tomando conceptos de Salafsky *et al.* (2008) y The Nature Conservancy (2007). Para complementar el análisis, se realizaron varias entrevistas con las dueñas del predio y el cuidador del predio, y se contactó a la Escuela Fronteriza San Gabriel y a la Municipalidad de San José de Maipo, para integrar visiones educativas y comunales en el análisis de las mejores acciones de manejo. Además, se evaluaron los resultados preliminares de una encuesta de valoración sociocultural en relación a la

especie y el parque, realizada a 100 personas correspondientes a diferentes categorías de visitantes del parque (es decir, comunidad local, arrieros, montañistas, investigadores, etc.; Díaz, 2016).

Con la información recopilada, y en concordancia con los resultados del estudio de la biología poblacional de la especie, se propusieron 3 líneas generales de acciones de conservación, y se sugirieron las necesidades de investigación que contribuyesen a estas acciones.

4. Resultados.

4.1. Fenología reproductiva y patrones del uso del hábitat.

4.1.1. Fenología reproductiva.

La Figura 3 resume la fenología reproductiva de la especie entre los meses de septiembre a mayo, incluyendo información de las etapas de incubación, crianza de polluelos y crianza de juveniles. En la figura se observa que las parejas en incubación se encontraron en el área de estudio entre principios de septiembre hasta principios de marzo, con un primer gran máximo en noviembre, y un segundo máximo entre diciembre y enero. Las parejas criando pollos se encontraron entre octubre y marzo, también con dos máximos aparentes: el primero en diciembre y el segundo a finales de enero. Las parejas criando juveniles se encontraron entre noviembre y mayo, con un primer máximo en enero, y un segundo en febrero.

La incubación fue realizada por ambos padres, quienes se alternaban en el nido por varias horas cada uno, hasta cumplir un periodo total cercano a los 30-35 días de incubación. Este valor se estimó a partir de la observación de tres nidos iniciando su etapa de incubación (entre uno a cinco días desde iniciada la incubación), y luego la observación de polluelos con pocos días de edad (entre uno a siete días de edad) que eclosionaron de estos mismos nidos. Además, en otros tres nidos se evidenció el máximo de días observados de incubación, equivalente a 32 días. Sin embargo, en estos casos no se logró observar posteriormente a los polluelos recién eclosionados. La

duración del cuidado parental se evaluó para 47 familias, en las cuales se evidenció un rango de 10-77 días para el cuidado parental, y en promedio 40 días.

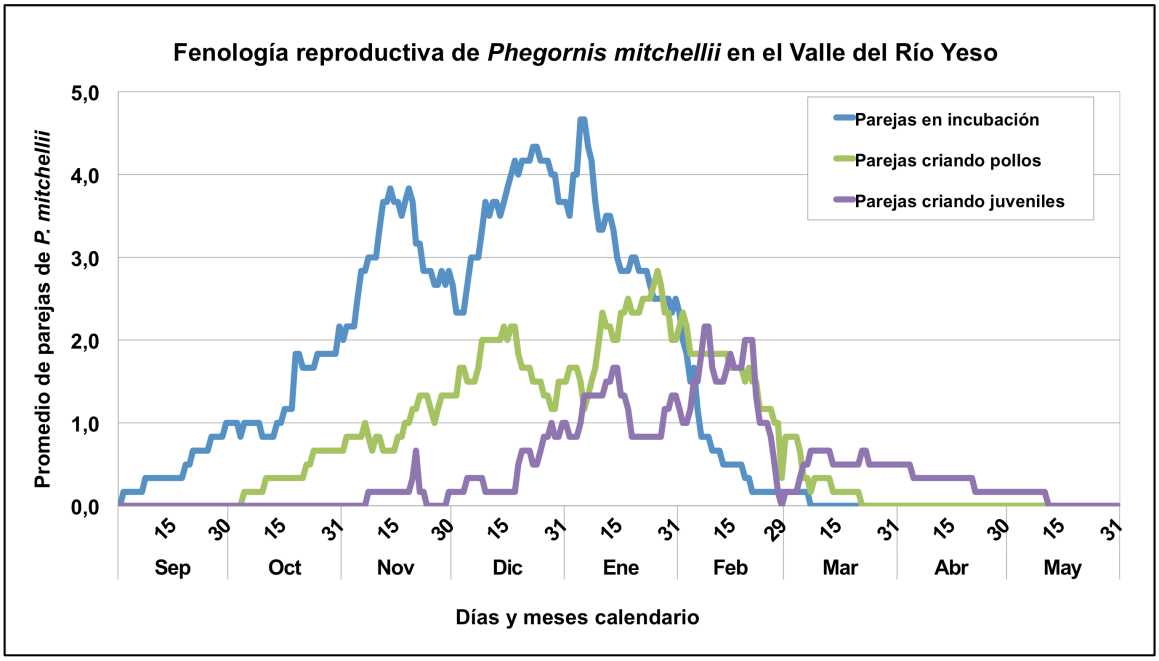

Figura 3. Fenología reproductiva de *Phegornis mitchellii* en el valle del Yeso. En el gráfico se indica el promedio de las parejas reproductivas, por día calendario, que se encontraron incubando, criando polluelos, y criando juveniles, durante seis temporadas reproductivas entre los años 2010-2016.

4.1.2. Distribución espacial

Con respecto a los patrones de uso del hábitat, en la Figura 4 se muestran dos mapas con las áreas monitoreadas en el valle del río Yeso, las cuales constituyeron un total de 278,6 ha. Esta superficie incluyó 50 parches de vegas y bordes de cuerpos de agua (es decir, ríos, riachuelos y termas). En ambos mapas, las áreas de color verde corresponden a las superficies donde se ha observado individuos adultos y crías de *P. mitchellii* hasta mayo del 2016, y equivale a un total de 19 (38%) parches del total de parches. Las áreas de color naranja corresponden a las superficies donde no se ha observado a la especie hasta la misma fecha, y equivale a 31 (62%) parches. Sin embargo, las superficies con presencia de individuos sumaron un total de 243,6 ha

(87,4% de la superficie total muestreada), mientras que las áreas sin presencia de individuos suman un total de 35 ha (12,6% de la superficie total muestreada).

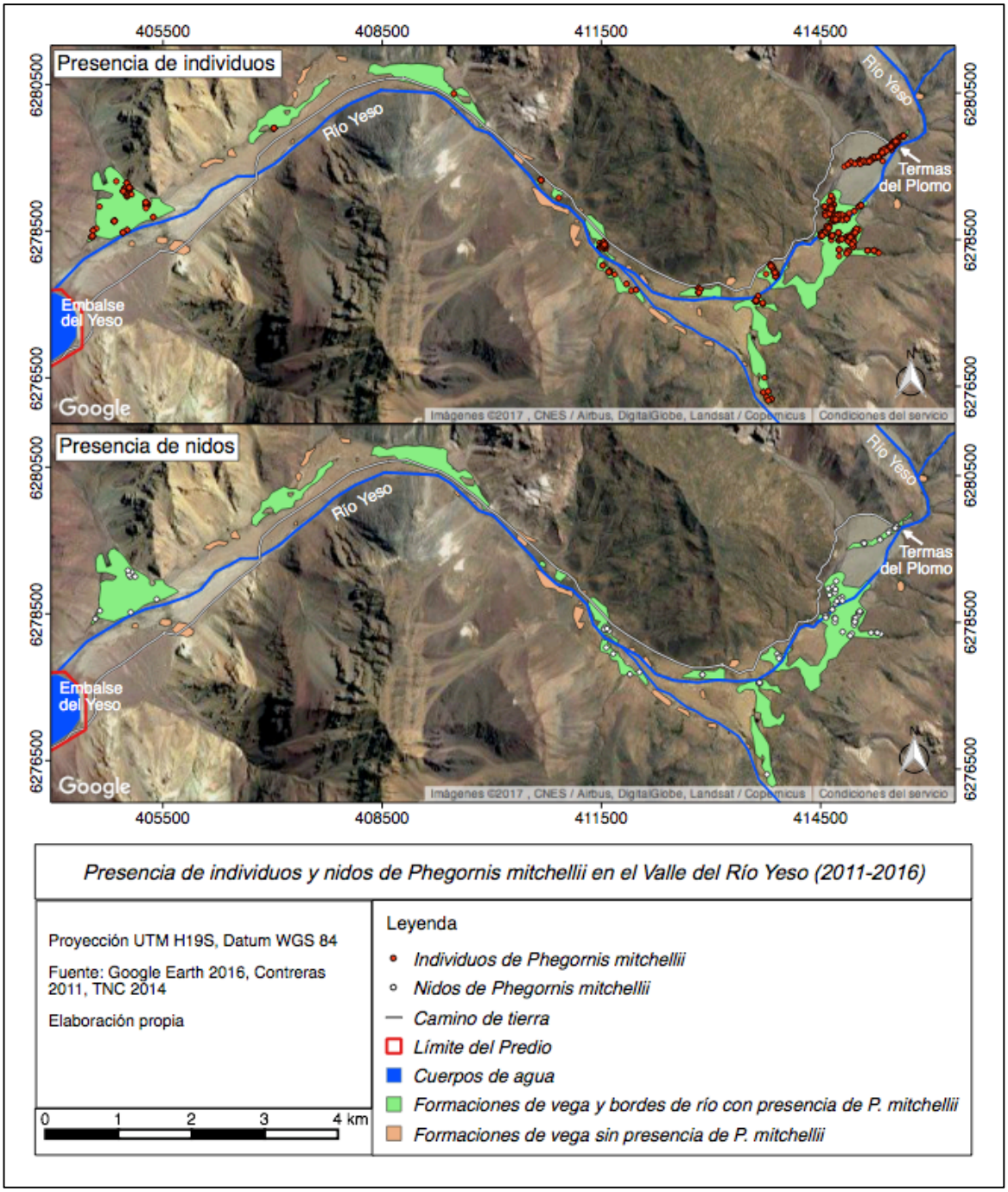

Figura 4. Localización de la presencia de individuos y de nidos de *Phegornis mitchellii* en las áreas monitoreadas del valle del río Yeso, entre los años 2011-2016, durante un total de seis temporadas reproductivas.

En el primer mapa de la Figura 4 se muestra la localización mensual de individuos mediante un círculo rojo dentro de las superficies de color verde, con una clara tendencia de concentración de los individuos en los parches del sector oriente del mapa. Estos parches corresponden a dos áreas principales: (1) un área alargada que bordea un riachuelo, cuyo curso de agua se conecta en parte con la Termas del Plomo, y, (2) un área de mayor tamaño que comprende tres formaciones de vega, y una superficie que conecta estas formaciones de vega constituida por varios riachuelos y parte de dos ríos.

En el segundo mapa se representa, mediante un círculo blanco, la localización de los nidos identificados (n=79), o, en su defecto, la primera localización de uno o los dos polluelos que se encontraron cerca de al menos un adulto (n=16). En este caso también se concentraron las observaciones hacia los parches orientales. Sin embargo, la densidad es mucho menor y se asemeja a la concentración de nidos del parche más occidental del mapa. Este último parche corresponde a tres formaciones de vega, y una superficie que las conecta a través de varios riachuelos y el borde de un río.

4.1.3. Distancia entre nidos

De un total de 25 parejas anilladas (es decir, al menos un adulto anillado de cada pareja) en las primeras cinco temporadas, y registradas incubando en el nido o junto a sus polluelos, el 68% (17 parejas) fueron re-avistadas al menos en una temporada siguiente dentro del área de estudio.

Cada una de las 17 parejas que fueron re-avistadas construyeron sus nidos, entre temporadas, dentro de un rango desde cero (es decir, el nido fue construido sobre el mismo nido que en una temporada anterior) hasta 395,4 metros de distancia entre ellos. Coincidentemente, estos nidos “entre temporadas” constituyeron parte de un mismo parche de vega, excepto en un solo caso en que se trataron de vegas pequeñas (9,7 ha y 2,8 ha) y continuas (50,8 metros de distancia entre ellas).

Las ocho (32%) parejas anilladas restantes no fueron re-avistadas en las temporadas siguientes dentro del área de estudio.

Dentro de una misma temporada, la distancia al nido o polluelo(s) de la pareja vecina más cercana fluctuó entre 42,3 m y 6.632,7 m, siendo la media= 703,0 m y la mediana= 366,9 m (n= 89).

4.2. Parámetros poblacionales.

4.2.1. Abundancia y densidad poblacional.

De acuerdo a la Figura 5, el número de individuos adultos de *P. mitchellii* se mantuvo relativamente estable desde la primera (n=36) hasta la última temporada graficada (n=39), con un leve aumento. Los polluelos y juveniles aumentaron en número desde la primera temporada (n=18) hasta la tercera (n=30), para finalmente disminuir en la última temporada (n=19) a un valor similar al de la primera. La abundancia total de *P. mitchellii* presentó una tendencia similar a la de los polluelos-juveniles pero con cambios menos acentuados, aumentando desde la primera (n=54) a la tercera temporada (n=69), para finalmente disminuir en la última temporada (n=58). La proporción de polluelos-juveniles en relación al total de individuos presentó un rango de 31-43% (es decir, los adultos correspondieron al 57-69% del total de individuos).

La densidad total de individuos en el área de estudio presentó un rango de 0,19-0,25 individuos/ha de vega (media=0,22 individuos/ha), equivalente a 4,0-5,2 ha/individuo (media=4,6 ha/individuos).

La abundancia mensual de *P. mitchelli* se resume en la Figura 6, como el promedio de individuos adultos, polluelos y juveniles en las seis temporadas de estudio entre los años 2011-2016. Entre los meses de junio a agosto se representan cero individuos en el gráfico, debido a que en esos meses no hubo acceso al lugar al estar cubierto de nieve. Se observa que los adultos de *P. mitchellii* aumentan paulatinamente su abundancia desde septiembre hasta enero, para luego disminuir su número hacia marzo de manera relativamente pronunciada. En abril aumenta nuevamente la abundancia de adultos, aunque en menor medida que al inicio. Posteriormente continúa disminuyendo el siguiente mes. Por su parte, los polluelos aumentan gradualmente desde octubre hasta enero, para luego disminuir hacia marzo y presentar cifras de cero en abril y mayo. Los juveniles muestran una curva similar a la del adulto, aunque bastante menos acentuada:

se observan desde noviembre y comienzan a aumentar desde diciembre hasta febrero, disminuyen en marzo, aumentan en abril, y siguen disminuyendo nuevamente hacia mayo.

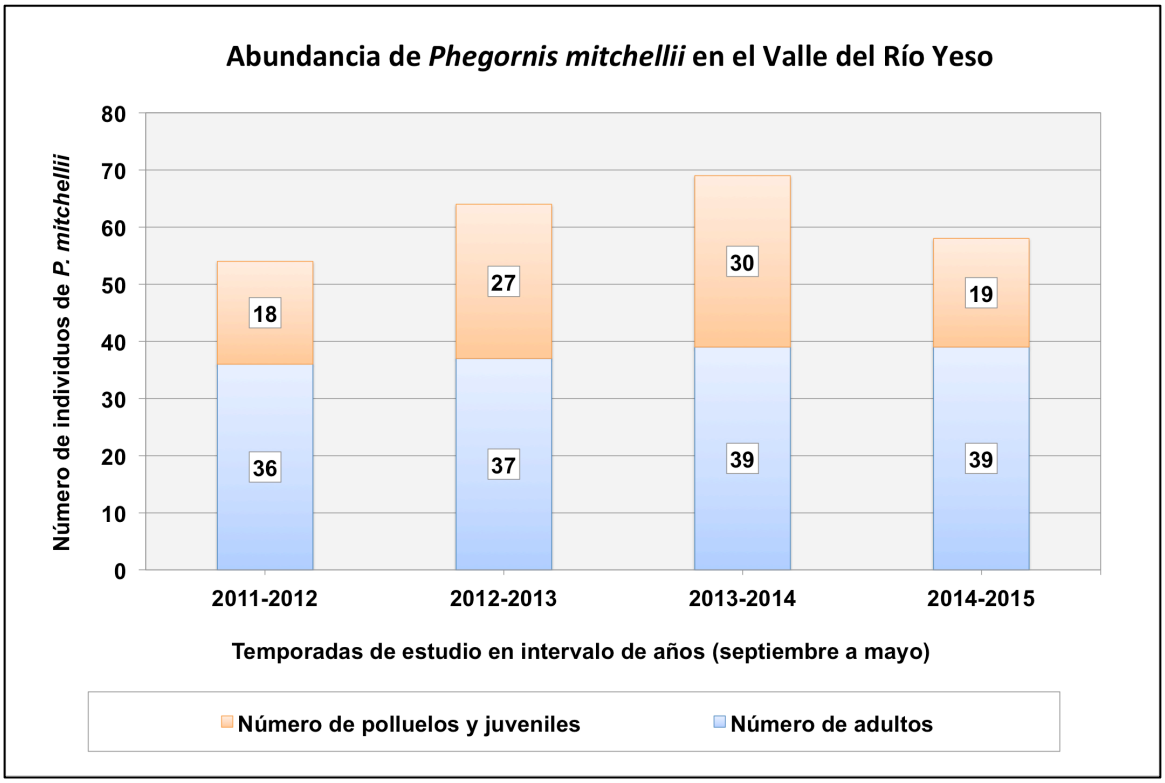

Figura 5. Abundancia de los individuos adultos, y de polluelos y juveniles, de la especie *Phegornis mitchellii* en el área total de estudio en el valle del río Yeso, en cuatro temporadas de estudio entre los años 2011 a 2015.

De esta manera, el mayor número de adultos observados coincide con el mes de mayor abundancia de polluelos (enero), y antecede en un mes a la mayor abundancia de juveniles (febrero). A su vez, el primer descenso en el número de adultos observados coincide con la disminución en la abundancia de los polluelos y juveniles observados (marzo), y el segundo descenso en el número de adultos observados coincide con la segunda disminución en la abundancia de juveniles observados (mayo).

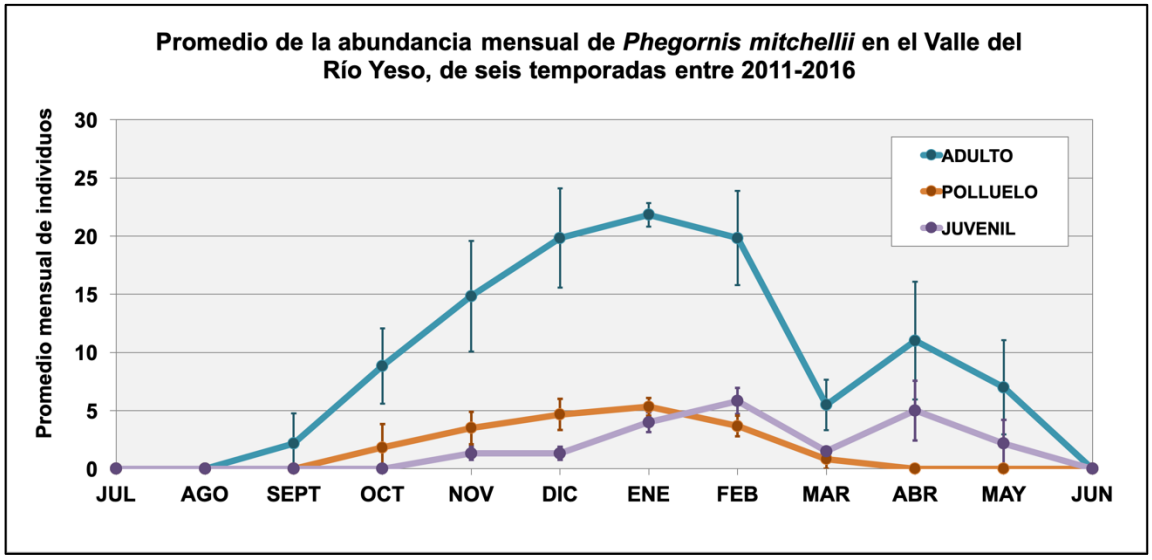

Figura 6. Promedio (y error estándar) de la abundancia mensual de individuos adulto, polluelo y juvenil de *Phegornis mitchellii* en el área de estudio del valle del río Yeso, de seis temporadas entre los años 2011 y 2016.

4.2.2. *Sobrevivencia anual aparente.*

De acuerdo al estadígrafo AICc (Akaike's Information Criterion), con los datos de anillamiento y de recuperación o re-avistamiento de adultos anillados de *P. mitchellii* en seis temporadas, entre 2011-2016, el modelo de mayor probabilidad y parsimonia (Peso de AICc=0,69; Delta AICc=2,94-9,16; Tabla 1), fue aquel en que la tasa de sobrevivencia aparente varía en el tiempo, "ϕ(t)" (es decir, interanualmente), y la tasa de recuperación o re-avistamiento se mantiene fija entre años, "p(.)".

En la Figura 7 se observa cómo cambia la tasa de sobrevivencia aparente de los adultos interanualmente, representándose como la proporción de individuos que llega vivo a la temporada de estudio indicada en el gráfico desde la temporada anterior. El rango de variación interanual se encuentra entre 0,46-0,95 (media=0,73). Las barras de error estándar muestran una baja probabilidad de variación en los valores de tasa de sobrevivencia para cada periodo, encontrándose los mayores valores de sobrevivencia con menor probabilidad de error (SE=0,05-0,07), y las menores tasas de sobrevivencia con mayores probabilidades de error (SE=0,09-0,11). La tasa de recuperación o re-

avistamiento de adultos (Figura 8), equivalente a 0,98, también muestra una baja probabilidad de error (SE=0,02) y es constante en el tiempo.

Tabla 1. Modelos de sobrevivencia aparente (ϕ) y tasa de recuperación/re-avistamiento (p) para dos categorías etarias, adultos y polluelos-juveniles, y sus correspondientes valores de AICc ("Akaike's Information Criterion" corregido) y número de parámetros.

Categoría	Modelo*	AICc	Delta AICc	Peso de AICc	Número de Parámetros
Adultos	ϕ(t) p(.)	147,978	0,00	0,69	6
	ϕ(.) p(t)	150,916	2,94	0,16	6
	ϕ(t) p(t)	151,167	3,19	0,14	9
	ϕ(.) p(.)	157,139	9,16	0,01	2
Polluelos-Juveniles	ϕ(t) p(.)	80,856	0,00	0,46	6
	ϕ(.) p(t)	82,504	1,65	0,20	6
	ϕ(t) p(t)	82,809	1,95	0,17	7
	ϕ(.) p(.)	83,002	2,15	0,16	2

*Los cuatro posibles modelos para cada categoría corresponden a la combinación de las tasas, cada una en dos presentaciones diferentes: (t) = la tasa es variable en el tiempo interanual, y, (.) = la tasa es fija en el tiempo interanual.

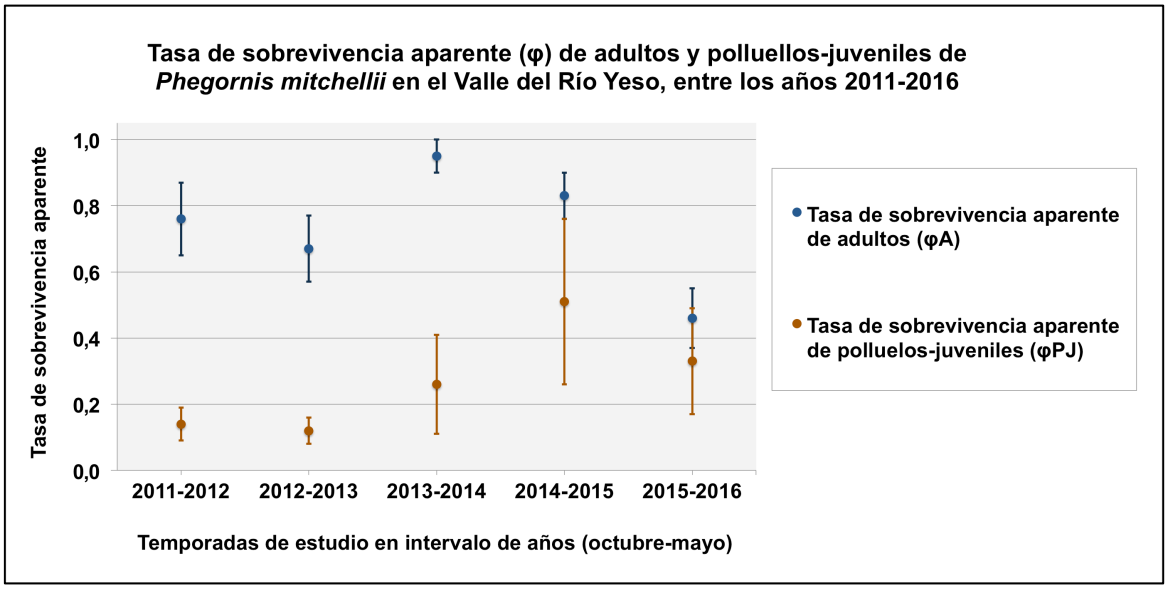

Figura 7. Gráfico de la tasa de sobrevivencia aparente anual de los adultos y de los polluelos-juveniles de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, representada en cinco temporadas de estudio entre los años 2011-2016. En cada caso se indica el rango de +/- 1 error estándar.

En el caso de los polluelos de *P. mitchellii*, el modelo más probable y parsimonioso (Peso de AICc=0,46; Tabla 1) resultó ser de iguales características anteriores, pero con un menor peso, y con una menor diferencia con los valores de AICc de los otros modelos (Delta AICc = 1,65-2,15). Debido a esta situación, y a que los dos primeros parámetros de sobrevivencia del modelo de mayor peso resultaron en valores inválidos, se optó en promediar los parámetros de los diferentes modelos para la categoría de polluelos-juveniles, para obtener así las tasas de sobrevivencia aparente y de recuperación o re-avistamiento para las distintas temporadas de estudio (Figuras 7 y 8).

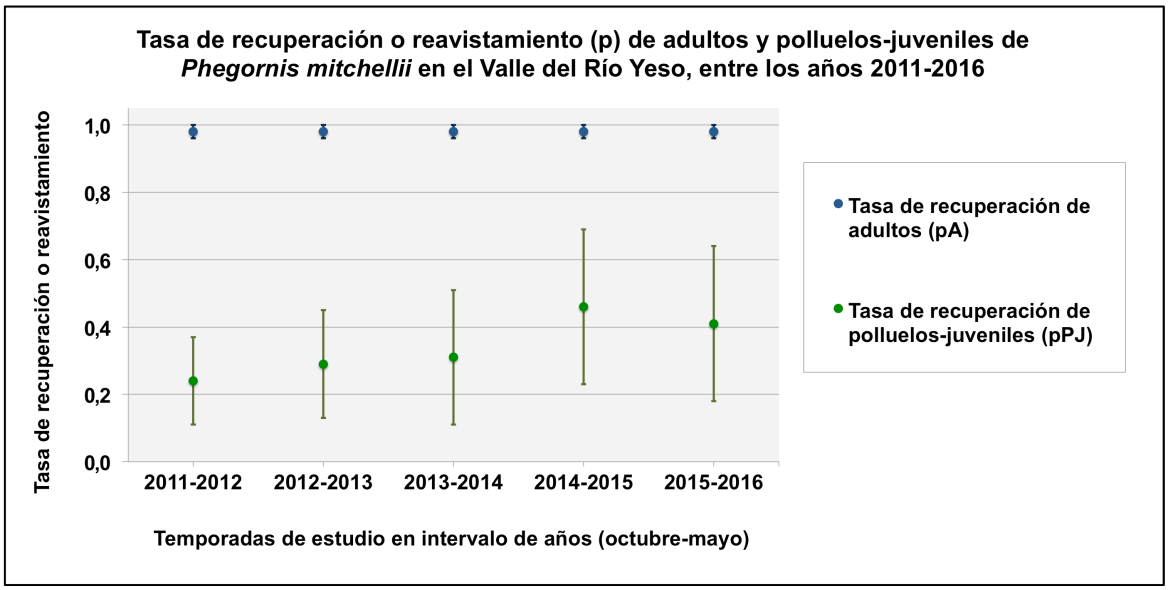

Figura 8. Gráfico de la tasa de recuperación o re-avistamiento anual de los adultos y los polluelos-juveniles de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, representada en cinco temporadas de estudio entre los años 2011-2016. En cada caso se indica el rango de +/- 1 error estándar.

En general, la tasa de sobrevivencia aparente de los polluelos-juveniles (Figura 7) resultó bastante menor que la de los adultos, siguiendo una tendencia diferente a través de los años. El rango de variación interanual se encuentra dentro del rango de 0,12-0,51, y su media=0,27 es casi un tercio de la sobrevivencia media de los adultos. En este caso, las barras de error reflejan una mayor probabilidad de variación para cada periodo cuando las tasas de sobrevivencia son más altas (SE=0,15-0,25), incluso superponiéndose con la sobrevivencia de adultos, y una menor probabilidad de error

cuando las tasas son más bajas (SE=0,04-0,05), es decir, para los primeros dos periodos. Sin embargo, los valores de estos dos primeros periodos pueden asociarse a un bajo porcentaje de polluelos-juveniles anillados.

La tasa de recuperación o re-avistamiento de polluelos-juveniles (Figura 8) también es bastante más baja que la de adultos, fluctuando entre 0,24-0,46 (media=0,34), y con un error estándar relativamente alto, que varía entre 0,13-0,23 (media=0,19).

4.2.3. Productividad anual o éxito reproductivo.

La densidad reproductiva de *P. mitchellii* está expresada en el gráfico inferior de la Figura 9 como huevos eclosionados por hectárea y juveniles volantones formados por hectárea, considerando el total de superficie monitoreada, en cuatro temporadas de estudio entre los años 2011-2015. Estos valores se encuentran dentro del rango de 0,06-0,11 eclosionados/ha (media=0,08 eclosionados/ha), y 0,04-0,08 volantones/ha (media=0,06). En la Figura 9 se representa a los volantones como los individuos que sobreviven desde polluelos eclosionados hasta juveniles. Por lo tanto, la densidad de volantones es menor que la densidad de eclosionados, con una media de volantones/ha que es 72% la media de eclosionados/ha.

A modo de referencia, en la Figura 9 también se grafica el número de nidos/ha y el número de adultos/ha. La densidad de nidos varió levemente en el tiempo (0,04-0,06 nidos/ha, media=0,05 nidos/ha), y su media es casi 40% menor que la densidad media de los eclosionados y casi 20% menor que la densidad media de los volantones. La densidad de adultos presentó mayores valores (0,13-0,14 adultos/ha, media=0,14 adultos/ha) que los anteriores parámetros, con una media que es 75% mayor que la densidad media de eclosionados y casi 130% mayor que la densidad media de volantones.

El éxito reproductivo per cápita se encuentra representado en el gráfico superior de la Figura 9: en azul, los huevos eclosionados por adulto presente en cada temporada de estudio, y, en naranja, los juveniles volantones formados por adulto presente en cada temporada. Los valores de estos parámetros presentaron rangos de 0,50-0,77 eclosionados/adulto (media=0,62 eclosionados/adulto), y de 0,28-0,62 volantones/adulto

(media=0,45 volantones/adulto). La media de volantones/adulto correspondió a un 72% de la media de eclosionados/adulto, lo cual es prácticamente igual a la diferencia entre la densidad de eclosionados y volantones.

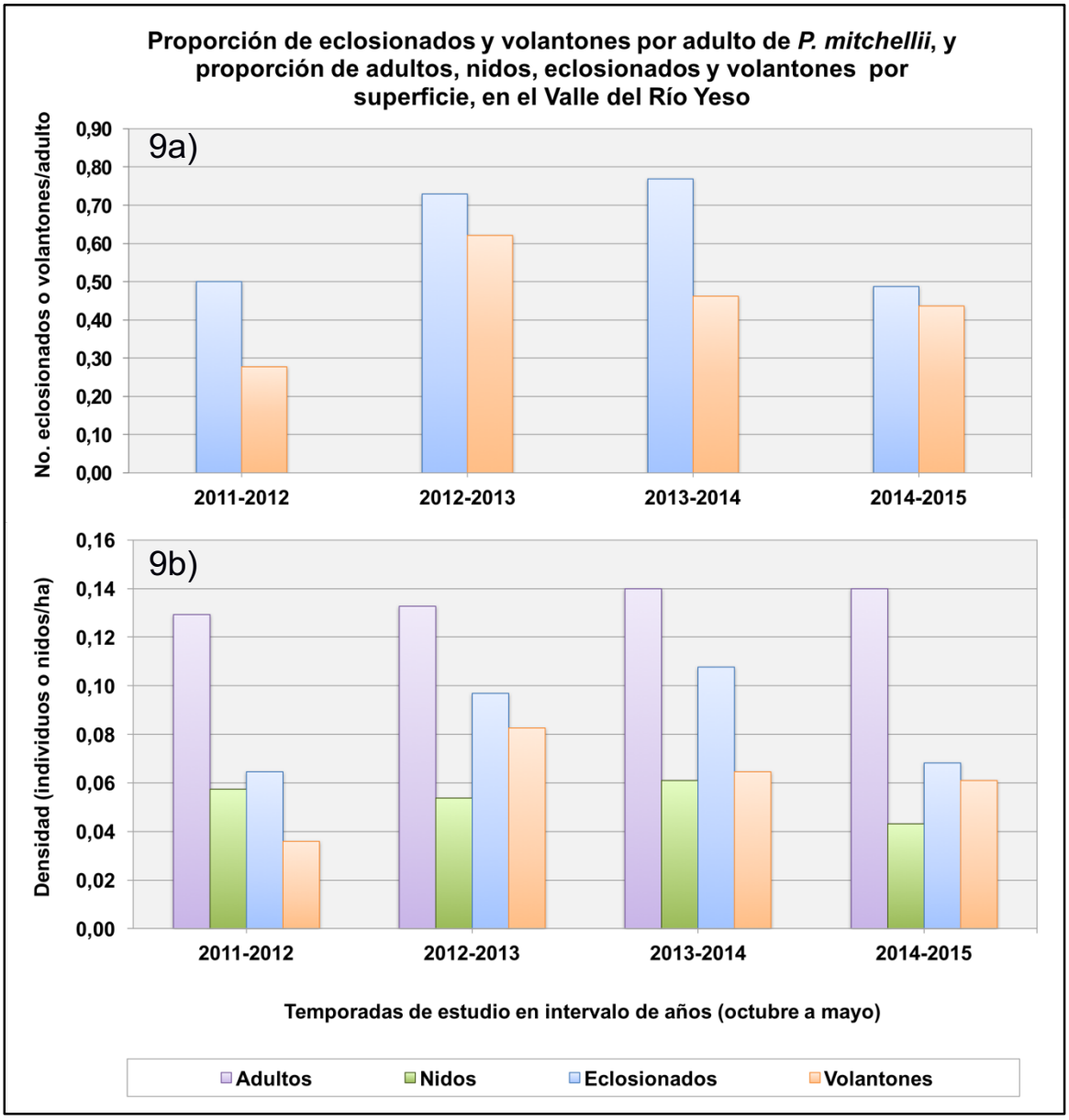

Figura 9. Proporción de huevos eclosionados y juveniles volantones formados por adulto (figura 9a), y densidad de polluelos eclosionados, juveniles volantones, nidos y adultos (figura 9b), de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, para cuatro temporadas de estudio entre los años 2011-2015.

Durante cinco temporadas (2011-2016) se pudo evaluar el número de huevos por nidada. Se observó que la nidada se compone generalmente de dos huevos (media=1,94 huevos/nido, n=63 nidos), y ocasionalmente (4,7%, 3/63) de un huevo. El número de nidadas/pareja/temporada se evaluó en las seis temporadas de estudio entre los años 2011-2016, resultando en la observación de 1-3 nidadas/pareja (media=1,25 nidadas/pareja, n=83 parejas). Tomando en cuenta sólo las nidadas exitosas/pareja/temporada (es decir, las nidadas en que al menos un huevo eclosiona), en total se observó entre 1-2 nidadas exitosas/pareja (media=0,96 nidadas exitosas/pareja, n= 70 parejas).

Para calcular la sobrevivencia o éxito de nidos (Tabla 2), primero se determinó el número de fracasos (F), que fue igual a 2-8 fracasos/temporada y 19 para todo el período de estudio. Los días de exposición (E) variaron entre 98-251 días/temporada, sumando 773 para todo el período. El índice de Mayfield (1975) fluctuó entre 0,355-0,517 por temporada y dando un valor promedio de 0,451 para todo el período (Tabla 2).

Tabla 2. Índice de Mayfield (1975) de éxito de nidos de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, para cuatro temporadas de estudio.

Temporadas de estudio*	Número de fracasos (F)	Días de exposición (E)	Probabilidad diaria de fracaso (f=F/E)	Probabilidad diaria de éxito (e=1-f)	Éxito de nidos o índice de Mayfield (e∧d)**
2011-2012	5 (n=17)	238	0,021	0,979	0,507
2012-2013	4 (n=20)	186	0,022	0,978	0,499
2013-2014	8 (n=25)	251	0,032	0,968	0,355
2014-2015	2 (n=12)	98	0,020	0,980	0,517
Periodo total (2011-2015)	19 (n=74)	773	0,025	0,975	0,451

* Las temporadas de estudio correspondieron a periodos de 7-9 meses entre septiembre a mayo, coincidentes con la temporada reproductiva de la especie.

** El índice de Mayfield equivale a la probabilidad diaria de éxito de la incubación (e) elevado por los días de duración de la incubación de una nidada (d). En este caso d es igual a 32 días.

De las 19 observaciones de fracaso del nido, en ocho ocasiones el nido se encontró con uno o los 2 huevos fríos y pálidos por el sol, y, generalmente, con los adultos lejos o sin ser vistos de nuevo incubando en las próximas horas, indicando un probable abandono del nido. El resto de las observaciones de fracaso (11 ocasiones), se determinaron por

la identificación de nidos vacíos o con pedazos de cáscaras de huevos, la ausencia de pollos cerca, y, generalmente, con los adultos lejos, indicando una probable intervención del nido por pisoteo o depredación.

4.2.4. Tasa de crecimiento poblacional.

En la Tabla 3 se muestra la tasa finita de crecimiento (ʎ) de la población de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, para tres periodos interanuales entre la temporada de reproductiva 2011-2012 y la 2014-2015. La tasa de crecimiento se calculó en base a la proporción entre el tamaño poblacional en un periodo, N(t), y el tamaño poblacional en el periodo anterior N(t-1).

Tabla 3. Tasa finita de crecimiento de la población de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso, para tres periodos interanuales.

Temporadas de estudio*	**2011-2012**	**2012-2013**	**2013-2014**	**2014-2015**	**Media**	**Desviación Estándar**
Número de adultos (N)	36	37	39	39	38	1,50
Tasa finita de crecimiento, ʎ = N(t) / N(t-1)	-	1,03	1,05	1,00	1,03	0,03

* Las temporadas de estudio correspondieron a periodos de 7-9 meses entre septiembre a mayo, coincidentes con la temporada reproductiva de la especie.

La media para los tres periodos fue de ʎ = 1,03 (DS = 0,03), lo cual significa que la población se mantiene o aumenta levemente, modificándose en un rango entre 0–5% interanualmente.

4.3. Diagnóstico de las principales amenazas.

La elaboración de la matriz de Leopold modificada (Tabla 4), con la aplicación del sistema jerarquizado de amenazas propuesto por Salafsky et al. (2008), dio como resultado las siguientes cinco amenazas principales, de mayor a menor magnitud:

Tabla 4. Matriz de Leopold modificada con las amenazas directas versus los parámetros poblacionales de *P. mitchellii* en el valle del Yeso, indicando los valores de magnitud del impacto con una escala numérica del 1 al 10. En color rojo se muestran los resultados promedio de magnitud del impacto ≥ 5,50.

	AMENAZAS DIRECTAS													
	Desarrollo residencial y comercial	Agricultura, ganadería y acuicultura	Minería y producción de energía	Corredores de transporte y servicios	Uso de recursos biológicos		Intrusiones y disturbios humanos			Modificaciones del sistema natural	Contaminación	Eventos geológicos	Cambio climático y tiempo atmosférico severo	
	Áreas de turismo y recreación	Ganadería	Minas y canteras	Caminos y ferrocarriles	Caza y colecta de animales terrestres	Recolección de plantas terrestres	Actividades recreacionales			Represa y manejo / uso del agua	Desechos sólidos y basura	Avalanchas / deslizamientos de tierra	Temperaturas extremas	
	Zonas de camping	Animales domésticos que se sustentan de hábitats naturales, y transitan por éstos	Canteras de yeso y roca	Caminos para vehículos terrestres (perturbación y atropellos)	Caza no permitida de animales silvestres	Recolección ilegal de plantas	Vehículos fuera de camino por motivos recreativos	Mascotas en áreas recreativas	Sitios temporales de camping	Desviación del agua superficial para su consumo	Residuos de zonas de camping y campamentos temporales	Avalanchas, deslizamienos de tierra o de barro	Olas de calor y retroceso de glaciares	
PARÁMETROS POBLACIONALES														
Patrones del uso del hábitat	6,22	6,44	3,89	4,78	3,78	3,00	7,56	6,22	5,78	6,56	4,89	4,00	4,44	**5,20**
Abundancia y densidad poblacional	6,44	7,33	4,00	4,78	4,33	2,89	7,22	6,22	5,78	6,33	4,78	3,78	5,00	**5,30**
Sobrevivencia anual	5,11	5,89	3,67	5,00	4,00	2,67	6,33	6,00	4,78	5,33	4,22	3,22	4,89	**4,70**
Tasas reproductivas	5,47	6,56	3,56	4,86	3,92	3,08	7,22	5,96	5,25	5,78	4,14	3,61	5,42	**4,99**
	5,81	**6,56**	**3,78**	**4,85**	**4,01**	**2,91**	**7,08**	**6,10**	**5,40**	**6,00**	**4,51**	**3,65**	**4,94**	

a) Vehículos fuera de camino por motivos recreativos: Personas que pasan tiempo en la naturaleza, sobre vehículos, y fuera de los corredores de transporte establecidos. El mayor impacto lo generan las personas que andan sobre motos o vehículos 4x4 transitando sobre los parches de vega, o cruzando los ríos, donde los individuos de *P. mitchellii* se alimentan y reproducen, generando perturbación en los procesos fisiológicos y conductuales de la especie, daño del hábitat natural, y destrucción de nidos.
b) Animales domésticos que se sustentan de hábitats naturales, y transitan por éstos: Ganado vacuno, caprino, y equino, que transitan por hábitats naturales para alimentarse, de acuerdo a sistemas de veranadas. El mayor impacto lo genera el ganado que transita sobre, y se alimenta en los parches de vega, al destruir el ambiente donde *P. mitchellii* se alimenta y reproduce, al pisotear los nidos, y al perturbar los procesos fisiológicos y conductuales de la especie.
c) Mascotas en áreas recreativas: Disturbio generado por la presencia de perros que acompañan a los visitantes, y a los arrieros, en las zonas cercanas al hábitat de *P. mitchellii*, y su amenaza como depredador. Además, hay presencia de gatos en un potrero de uso estacional para ganado caprino, localizado cerca de un parche de vega, representando otro peligro de depedración para *P. mitchellii*.
d) Desviación del agua superficial para su consumo: Modificación de los patrones de flujo del agua desde su rango natural de variación. Esto ocurre de manera directa con el arroyo que recorre el área sobre las termas, desde el cual se desvía parte de su caudal para su uso en los servicios sanitarios básicos que se localizan en el sector de camping del parque. Además, puede existir un efecto indirecto como resultado de otras actividades, como son los movimientos de flujo del agua más abajo del sector de vegas, producidos por el Embalse el Yeso y la Hidroeléctrica Alto Maipo, y el posible efecto de la instalación de una minera sobre el rango del hábitat de *P. mitchellii*.
e) Zonas de camping: A pesar de que el sitio establecido de camping evita mayores impactos en el hábitat de *P. mitchellii*, éste sigue siendo un factor de amenaza probable para la especie, al encontrarse muy contiguo a áreas de reproducción y alimentación, por carecer de demarcación y señalética, y posiblemente por la alta carga de visitantes que llega a este sitio. De esta manera, el mayor impacto se genera con el tránsito de personas cerca de, y sobre zonas de vega y bordes de

ríos, generando posibles perturbaciones en los procesos fisiológicos y conductuales de la especie.

En paralelo, la matriz permitió determinar que los parámetros poblacionales más sensibles al impacto de las amenazas son la “abundancia y densidad poblacional”, seguido por los “patrones de uso del hábitat” (Tabla 4).

4.4. Propuestas de manejo para la conservación de la especie.

4.4.1. Definición de metas de conservación e indicadores.

De acuerdo a los parámetros poblacionales obtenidos para *P. mitchellii* en el valle del Yeso, y tomando en consideración el diagnóstico de las amenazas que enfrenta esta población, las metas de conservación propuestas son mantener el status actual de la población, evitando que las amenazas actuales impliquen un detrimento en la población estudiada; es decir:

a) Mantener una abundancia de adultos estable entre una temporada reproductiva y las siguientes, y que el promedio de lambda interanual fluctúe entre 0,95 - 1,05. INDICADOR: La abundancia de adultos de *P. mitchellii* durante cada temporada reproductiva, medido mediante la identificación de individuos con anillos, y la estimación de individuos no anillados durante la época de mayor nidificación, cuando *P. mitchellii* no presenta mayores movimientos espaciales.
b) Mantener los parámetros reproductivos estables en el tiempo, considerando al menos un pollo por cada dos adultos en la población durante cada temporada reproductiva. INDICADOR: Los parámetros reproductivos de *P. mitchellii* durante cada temporada reproductiva, en especial el número de eclosiones por cada pareja reproductiva. La metodología recomendada sería mediante la identificación de nidos, y su seguimiento con una frecuencia de cada dos semanas para una mejor estimación del número de eclosiones y fracasos.
c) Mantener constante la sobrevivencia aparente, es decir, no menor al 50% de sobrevivencia interanual de adultos. INDICADOR: La sobrevivencia aparente interanual de adultos de *P. mitchellii*, estimado a través del método de captura y re-avistamiento basado en el modelo de Cormack-Jolly-Seber (CJS; Sandercock, 2003),

y mediante AICc (Akaike's Information Criterion) en el programa informático MARK (White and Burnham, 1999).

4.4.2. Definición de acciones de conservación y necesidades de investigación.

A continuación se describen las acciones propuestas para la conservación de *P. mitchellii*, derivadas del análisis en conjunto de las metas de conservación, las amenazas directas, y las interacciones que se tuvieron con personas e instituciones asociadas al tema:

a) Plan de manejo del área: Esta propuesta es fundamental para la conservación, no sólo de *P. mitchellii*, sino también de las otras especies y recursos naturales que se encuentran en el predio. En este caso, sería de utilidad un ordenamiento predial para la conservación de la biodiversidad, igual o similar a la metodología que describen Tacón et al. (2004), que combine fines de conservación de la especie y su hábitat, junto a fines productivos para las propietarias. Debería incluir una zonificación, ayudando de esta manera al control en el acceso de vehículos motorizados, visitantes a pie, y animales domésticos sobre los sitios de humedales, así como al uso adecuado del agua y las zonas de camping del predio.

- Manejo en el acceso de vehículos motorizados: Actualmente, existe un notorio daño de la vega que se encuentra sobre el embalse, y perturbación de los nidos y de las parejas de *P. mitchelli* que se reproducen en esta zona, debido al tránsito frecuente de vehículos sobre esta vega. También en la zona de las termas (y zona de camping) hay perturbación por tránsito de vehículos cerca de sitios de nidificación y alimentación de *P. mitchellli*. Sumado a esto, durante el año 2018 se terminó de pavimentar el camino principal hasta un poco antes de la entrada al parque, y pasada la primera vega sobre el embalse, por lo cual el flujo de vehículos podría aumentar. Sin embargo, no existen diferencias notorias entre los parámetros poblacionales de *P. mitchellii* que nidifican en las vegas mencionadas y las que no se encuentran afectadas por el tránsito de vehículos. Por este motivo, se propone restringir el acceso de vehículos a las zonas más afectadas, y continuar monitoreando la biología poblacional de la especie en relación a la frecuencia y tipo de vehículos que aún pasaran sobre o cerca de los sitios de nidificación, para así

cuantificar el daño de los vehículos y las posibles mejoras de los parámetros en las zonas restringidas.

- Manejo en el acceso del ganado: Durante al menos 300 años se conoce de la trashumancia en la zona central del país, y por muchas personas el ganado se considera como parte natural del paisaje altoandino. Sin embargo, en esta tesis se ha evaluado como una amenaza para la población de *P. mitchellii* que habita en el valle del Yeso, debido al gran número de animales que pasan sobre los sitios de nidificación, generando un gran deterioro de la conformación vegetal de vegas, y provocando perturbaciones en la conducta de la especie (conductas de territorialidad y posible abandono de nidos). Debido a estas consideraciones, se recomienda un estudio asociando los parámetros biológicos de la especie con la frecuencia, número y tipo de animal de ganado que transita sobre los sitios de nidificación, continuando la línea de investigación que iniciaron Contreras et al. (2013). De este modo se podrá tomar una decisión para el diseño del plan de manejo del predio, con respecto a restringir de manera completa o parcial el acceso de ganado, y evaluar posibles rutas de tránsito. Actualmente, la administración del predio ha decidido discontinuar el acceso total del ganado al predio. Si este fuera el caso, se recomienda evaluar los cambios que esta decisión generará en los parámetros biológicos de *P. mitchellii.*
- Manejo del acceso de mascotas: Una vez que se controle el acceso del ganado, consecuentemente se restringirá también el ingreso de las mascotas que acompañan a los arrieros. Generalmente estas mascotas son perros que acompañan al ganado caprino, los cuales transitan con poca frecuencia por los sitios de nidificación pero que podrían generar un gran daño al depredar los huevos o pollos de *P. mitchellii*, o alterar conductas de la especie. De igual manera, al predio ingresan muchos perros junto a otros tipos de visitantes, como pescadores y familias, representando el mismo tipo de amenaza sobre *P. mitchellii* que las mascotas de los arrieros. Durante el periodo de estudio de la presente tesis hubo evidencia de depredación de huevos, la cual podría haber ocurrido tanto por zorros como por perros. Por este motivo se sugiere que el plan de manejo incluya la prohibición de la entrada de mascotas, tanto de arrieros como de otros visitantes del predio, y continuar el monitoreo de los parámetros poblacionales de la especie, junto a un estudio con cámaras trampa para determinar la dimensión del impacto de la presencia de zorros, y de perros no autorizados, sobre estos parámetros.

- Manejo de los cursos de agua y humedales: Con un plan de manejo del predio, se podría asegurar un uso más eficiente y sustentable del agua, recurso que influye directamente en la sobrevivencia de *P. mitchellii* y otras especies silvestres que habitan en el predio. La planificación debería considerar una evaluación previa de la influencia del uso actual del agua sobre los parámetros poblacionales de *P. mitchellii* (por ejemplo, servicios higiénicos, lavado de utensilios de camping), y los posibles efectos con otros tipos de usos del agua en el predio (por ejemplo, minería, hidroeléctricas, nuevas fuentes para uso del agua).
- Manejo de las zonas de camping: No se han observado diferencias significativas con respecto a los parámetros poblacionales de *P. micthellii* cerca de la zona de camping o sitios temporales de camping, en relación con los individuos de la especie que están más alejados. Sin embargo, se observan amenazas notorias, como son una mayor presencia de mascotas, residuos contaminantes, ruidos, movimiento de personas y vehículos motorizados, cerca y sobre los sitios de nidificación. Por este motivo, se sugiere estudiar las consecuencias directas de estas perturbaciones sobre los parámetros poblacionales de *P. mitchellii*. De este modo, se podrán tomar medidas más adecuadas en el plan de manejo, respecto a los mejores lugares para instalar zonas de camping, de qué manera subdividir estas zonas (por ejemplo, estacionamiento, disposición de basura, áreas de carpas), y si se debe limitar el acceso de personas y vehículos a ciertas áreas contiguas a las zonas de camping.

b) Educación ambiental: Se sugiere que el conocimiento adquirido de la biología poblacional de *P. mitchellii*, así como de sus amenazas, se transmita a los actores involucrados en el manejo del predio, para así generar cambios de conducta que ayuden a la conservación de la especie en el predio.

- Capacitaciones: La mejora del conocimiento por parte de los propietarios, administradores y cuidadores del predio, sobre los recursos naturales del lugar y sus principales amenazas, sería de gran ayuda para la gestión del área y regular el uso que los visitantes dan al lugar. Esto complementaría la propuesta anterior con respecto a la creación de un plan de manejo del predio. Además, los guardaparques podrían obtener las habilidades para fiscalizar, informar y enseñar a los visitantes. En paralelo, se propone la realización de talleres de educación ambiental en las escuelas locales, con visitas al parque, que potencien la educación formal con respecto al cuidado de los recursos naturales.

- Concientización y comunicaciones: Se sugiere que dentro del predio, se instalen señalética y se entreguen documentos informativos que complementen también el plan de manejo propuesto, indicando los distintos sitios de uso del parque, los principales recursos naturales que lo componen, su importancia y sus cuidados. Además, es importante algún sistema de información previa a la llegada de los visitantes, para una mejor planificación de viaje y expectativas (por ejemplo, página web que indique la prohibición del ingreso de mascotas).

c) Cumplimiento y aplicación de regulaciones actuales: Se propone verificar que se cumplan las regulaciones que considera un Área de Preservación Ecológica (APE), mediante los estudios mencionados anteriormente que relacionan los vehículos motorizados, el ganado, y el uso del agua, con sus efectos sobre la biología poblacional de *P. mitchellii* y otras especies. De esta manera, a través de un cuerpo legal se podría proteger a *P. mitchellii*, no sólo en este predio, si no en muchos otros que presentan perturbaciones antrópicas desmedidas para estas frágiles zonas naturales. En las APE sólo se permite el desarrollo de actividades que aseguren la permanencia de los valores naturales, y las actividades agrícolas, ganaderas o forestales, pueden desarrollarse en forma controlada. En ambos casos, se debe presentar un estudio de impacto ambiental para su aprobación (Jadue *et al.*, 2010).

Se debe analizar la factibilidad de cada una de las estrategias propuestas, de acuerdo a las condiciones en el momento en que se desea poner en ejecución un plan de conservación. De este modo, se puede decidir de manera apropiada si se deben poner en práctica todas estas acciones o sólo algunas, dependiendo de los recursos humanos y económicos de los cuales se disponen, la realidad social, política y legal en el momento, y las condiciones naturales del predio (es decir, clima, hidrología, geología, biodiversidad, etc).

5. Discusión.

5.1. El aporte de los resultados obtenidos en la planificación de acciones de conservación.

Para generar los lineamientos de conservación de *P. mitchellii* en el valle del Yeso se tomó como base los resultados obtenidos del estudio de la biología poblacional de la especie. A continuación se discute cada uno de estos resultados, y las investigaciones complementarias que ayudarían en la planificación de acciones de conservación:

Los resultados de la fenología reproductiva muestran que la temporada reproductiva probablemente se inicia en agosto con el encuentro y cópula de las primeras parejas, con los primeros huevos en incubación presentes en septiembre, los primeros polluelos en octubre, y terminando con las últimas parejas que cuidan de juveniles en mayo. Sin embargo, existen dos periodos evidentes de crianza (incubación-polluelo-volantón); uno de noviembre a enero, y el otro de diciembre a febrero. De este modo, el periodo entre noviembre a febrero es crítico en relación a las amenazas identificadas que puedan afectar la reproducción de la especie, y se debe tomar en cuenta en cualquier plan de conservación de *P. mitchellii* en el predio. Por otro lado, previo a la planificación, se debe considerar la factibilidad de complementar los registros obtenidos mediante un levantamiento de información entre los meses de junio a septiembre, evaluando las opciones logísticas para realizar las observaciones y/o capturas con nieve y hielo en el área de estudio.

Con respecto a la distribución espacial de *P. mitchellii* en el valle del Yeso, existen tres zonas a las cuales hay que prestar mayor atención en el momento de planificar acciones de conservación de la especie, que corresponden a: i) el borde de un arroyo inmediatamente aguas abajo de las termas del Plomo, ii) las formaciones de vega que siguen este río aguas abajo, y iii) las primeras formaciones de vega aguas arriba del Embalse del Yeso (Figura 10). En estas áreas es donde se concentran mayormente los sitios de nidificación de la especie, así como los sitios de alimentación y descanso. Cabe destacar que la primera y la última de las áreas mencionadas son las que se encuentran más cercanas a la zona de intervención humana directa (e.g, vehículos motorizados, zonas de camping). Sin embargo, no se debe concluir que esta intervención no sea una amenaza para *P. mitchellii*, ya que esta coincidencia también

puede deberse a la conjugación de otros factores, como baja pendiente y abundancia de alimento.

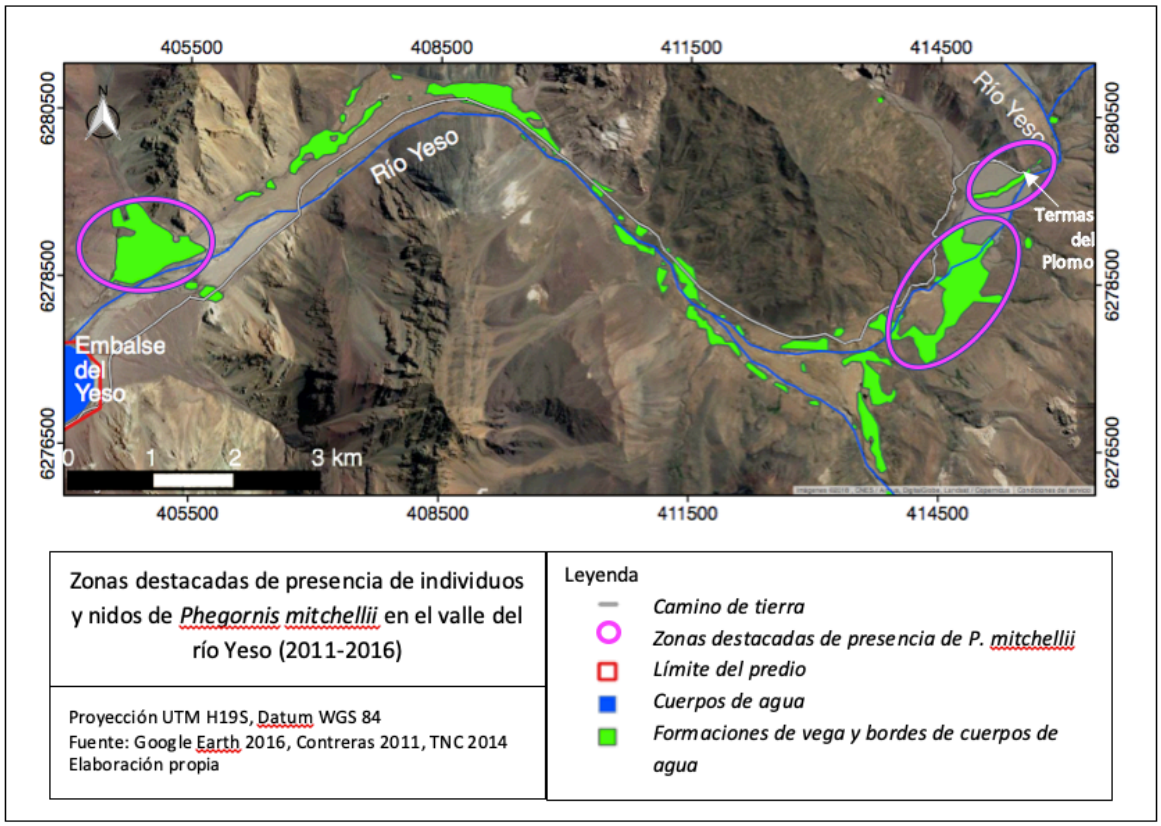

Figura 10. Zonas destacadas de la presencia de individuos y de nidos de *Phegornis mitchellii* en las áreas monitoreadas del valle del río Yeso, entre los años 2011-2016, durante un total de seis temporadas reproductivas.

Cuando se analiza la distancia entre nidos, se encuentra que la mayoría (68%) de las parejas estudiadas volvieron a reproducirse en las cercanías (<400 m) del sitio de nidificación de la temporada previa, y las ocho parejas que no lo hicieron, tampoco se observaron en el área de estudio. La presencia de una alta tasa de re-avistamiento de *P. mitchellii* en el valle del Yeso (98%), hace suponer que las parejas no observadas nuevamente en el sitio no sobrevivieron de una temporada a otra, o se movieron a otra subpoblación fuera del área de estudio. La alta preferencia por estas vegas, por individuos que ya nidificaron antes en ellas, justifica en parte la relevancia de conservar y estudiar a la especie en este sitio.

A pesar de que se observó una población relativamente estable de *P. mitchellii* en el valle del Yeso, el escaso número de adultos (máximo observado = 39 adultos), y la baja densidad poblacional (4,6 ha/individuos) y de nidos (20 ha/nido), son un claro reflejo de la fragilidad de la población, y de que se requiere planificar acciones de conservación que permitan disminuir o eliminar las amenazas existentes.

La alta tasa de sobrevivencia aparente de adultos de *P. mitchellii* (media=0,73) ha permitido la mantención de la población en el área de estudio y, por consiguiente, parece ser uno de los parámetros de menor sensibilidad ante las amenazas existentes en el área. Sin embargo, existen otros parámetros por los cuales se debe tener una mayor preocupación en el momento de planificar acciones de conservación. La tasa de sobrevivencia interanual de pollos-juveniles (media=0,27) refleja el porcentaje de las crías que eclosionaron en una temporada y que lograron adicionarse a la población en la siguiente temporada. En este caso, el porcentaje fue bajo, y debe ser un parámetro de mayor preocupación en cuanto a las amenazas que lo afectan. Sin embargo, se debe considerar que es probable que parte de los juveniles que no se mantuvieron en la población se hayan dispersado a otras poblaciones o "metapoblaciones". Existen registros de juveniles anillados que se encontraron en la localidad de Yerba Loca durante la siguiente temporada (50 km del área de estudio).

Las cifras de éxito reproductivo fueron bajas, y deben de tenerse en cuenta con mayor atención en el momento de planificar acciones de conservación, y evaluar factores de amenaza. En promedio, se observó la formación de 1,94 huevos/nido, y de 1,25 nidos/pareja/temporada, con una probabilidad de 45% de éxito de los nidos. Por otro lado, la producción per cápita indicó una media de 0,62 eclosionados/adulto, de los cuales 72% llegaron a ser volantones (media= 0,45 volantones/adulto), y como se indicó sobre la sobrevivencia interanual de eclosionados, sólo 27% llegó a ser adulto en la población en estudio. En consecuencia, se puede estimar una tasa media de 0,17 eclosionados que al siguiente año llega a ser adulto en la población/adulto de la temporada actual.

En relación a la tasa de crecimiento poblacional, los resultados indican que la población se mantuvo estable (lambda promedio= 1,03), lo cual indica que este no es un criterio por el cual dar urgencia o prioridad pero que se debe seguir investigando para

determinar el efecto de las amenazas en el crecimiento de la población. Además, al considerar los parámetros de sobrevivencia de adultos y el aporte de eclosionados en el tamaño poblacional de los siguientes años, se puede suponer la entrada de adultos de otras subpoblaciones desde fuera del área de estudio (estimación media de 0,13 adultos nuevos/adulto de la temporada original), para así lograr la estabilidad reflejada.

5.2. Acciones de conservación para una población estable.

Es importante tomar en cuenta que una población puede requerir alguna acción de conservación, aun cuando no se haya observado su disminución en tamaño. De igual manera, una población puede encontrarse en riesgo de extinción por factores de amenaza futuros, y éstos deberían ser identificados mediante la aplicación de los criterios de la UICN, como son las distribuciones reducidas; así como, algunas amenazas pueden generar efectos irreversibles, por lo cual se deben tomar acciones de conservación a tiempo (UICN, 2012).

Sumado a lo anterior, se debe considerar la posibilidad de que la población estudiada esté actuando como una fuente poblacional, y que parte de los individuos no re-avistados se estén dispersando a poblaciones sumideros. Si esto fuera la situación, sería aún más importante proteger a *P. mitchellii* en el valle del Yeso.

En el caso de *P. mitchellii*, su restringida área de ocupación y extensión de presencia, junto a su pequeño tamaño poblacional (es decir, criterios B y D de la lista roja de la UICN), ya hace a la población más sensible a factores estocásticos, como son ciertos eventos demográficos (por ejemplo, disminución en el encuentro de las parejas), ambientales (por ejemplo, inundaciones o sequías extremas, enfermedad emergente), y genéticos (por ejemplo, excesiva endogamia que genere disminución en la fertilidad o viabilidad, y baja variabilidad genética que disminuya la capacidad de la población a adaptarse a cambios en el futuro). Si además se considera que las amenazas que enfrenta la especie en el valle del Yeso actúan como factores determinísticos, toma relevancia la probabilidad de extinción o disminución de la población, y se justifica el interés por controlar o erradicar las perturbaciones humanas que amenazan a la población (Colwell, 2010).

El diagnóstico de amenazas muestra que las condiciones ambientales de la especie no son estables, y que existen diversas perturbaciones que pueden significar un riesgo futuro, o que en algún momento pudieron generar una disminución de la población hasta alcanzar una “aparente estabilidad” en el tamaño interanual de la población. Por este motivo no se puede descartar que la población pudiera aumentar en número luego de ejecutar ciertos manejos en el predio, y así lograr un tamaño de población que signifique una mayor estabilidad ante potenciales riesgos.

También es fundamental considerar las amenazas que pueden afectar a la población a lo largo de toda su distribución, y, al menos en Chile, existe un permanente crecimiento de las actividades mineras, de las cuales un gran porcentaje ocurre a lo largo de la cordillera de los Andes (Brenning y Azócar, 2010; COCHILCO, 2016; Corporación Alta Ley, 2019), incluyendo los ecosistemas donde habita *P. mitchellii*. De este modo, genera importancia la protección de la subpoblación que se encuentra en el valle del Yeso, ya que ante algún pequeño aumento en las perturbaciones que ya afectan a la especie en este lugar, los individuos no tendrán muchas opciones de moverse a otro sitio para nidificar dentro del territorio nacional.

Por último, es importante destacar que el predio estudiado en el valle del Yeso ofrece una gran oportunidad de conservar el sitio como un ecosistema en su conjunto, y si esto es posible, sería fundamental enfocar el manejo del sitio de manera integral, o utilizando a *P. michellii* como especie bandera para hacerlo. Esto debido a que el predio está constituido por un sistema de humedales altoandinos de alta fragilidad, y de gran importancia social y económica, y su conservación beneficiaría a muchas especies que habitan en este sitio, y a las generaciones futuras de las poblaciones humanas locales y aledañas.

5.3. Necesidad de futuras investigaciones.

Sería importante profundizar en estudios sobre la selección de hábitat (Contreras & Estades, 2011), y el efecto de la intervención humana sobre el éxito reproductivo, la sobrevivencia y los cambios conductuales de la especie en el sitio, comparando vegas con distintos grados de amenazas (Contreras *et al.*, 2013). Para esto habría que determinar la frecuencia e intensidad de cada factor de amenaza, como son el paso de

vehículos y la presencia de ganado sobre las vegas, la presencia de mascotas, el uso del agua y las diversas intervenciones asociadas a las zonas de camping cerca de las vegas; y, de esta manera, asociarlo con el seguimiento de los parámetros poblacionales, como son la sobrevivencia de adultos y juveniles, los parámetros reproductivos, y la tendencia de crecimiento poblacional. Además, sería un gran aporte la investigación de los movimientos entre subpoblaciones, e identificar otras posibles amenazas a la estabilidad actual de la población.

6. Conclusiones.

Con el análisis de las observaciones directas y de la extrapolación de los datos reproductivos a los meses sin visitas al área de estudio, se pudo concluir que la temporada reproductiva de *P. mitchellii* en el valle del Yeso se extiende entre agosto y mayo. Se observó un tamaño de población pequeño (máximo observado= 39 adultos), y una baja densidad poblacional (4,6 ha/individuo) y de nidos (20 ha/nido), concentrándose principalmente en siete de los 50 parches estudiados: el borde de un arroyo, y dos áreas comprendidas por tres parches de vega cada una.

La tasa de crecimiento poblacional está determinada principalmente por la sobrevivencia de adultos y su emigración (tasa media anual de sobrevivencia aparente= 0,73), los parámetros reproductivos (tasa media anual= 0,17 eclosionados que al siguiente año llega a ser adulto/adulto de la temporada actual), y la inmigración de nuevos adultos a la población (0,13 adultos nuevos/adulto de la temporada original), resultando en una tendencia de la población de mantenerse estable en el tiempo (lambda medio= 1,03).

Aunque la población en estudio no se encuentre en disminución, requiere de acciones de conservación porque, sumado a las amenazas que enfrenta - vehículos y ganado que transitan sobre el hábitat de la especie, presencia de mascotas, uso inadecuado del agua, y perturbaciones humanas asociadas a zonas de camping -, la población ocupa un área y extensión de presencia restringidos, y su tamaño poblacional es pequeño, haciéndolo susceptible a factores estocásticos. Esto significa, que la población podría haber sido de mayor tamaño originalmente, y al implementar acciones de conservación efectivas, la población podría volver a su tamaño y tasa de crecimiento previos.

Las acciones de conservación sugeridas incluyen: un plan de manejo del área que reduzca los factores de riesgo para la especie, la implementación de actividades e infraestructura que posibiliten la educación ambiental de la comunidad local y de los visitantes, y el desarrollo de procesos que ayuden en el cumplimiento de las normativas asociadas a las Áreas de Preservación Ecológica que rigen para el predio. Para una planificación de acciones de conservación efectivas, se sugiere complementar la presente tesis con investigaciones futuras que profundicen principalmente en la cuantificación del efecto de las amenazas sobre los parámetros poblacionales.

Tomando en cuenta la fragilidad del ambiente donde habita la especie en toda su extensión, y las intervenciones humanas y efectos del cambio climático a los cuales se ven enfrentados los humedales altoandinos, toman una mayor relevancia las acciones que se desarrollen en el valle del Yeso para conservar la población local de *P. mitchellii.*

7. Bibliografía.

Ahumada, M. *et al.* (2011) *Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos*. Chile: Ministerio del Medio Ambiente, Servicio Agrícola y Ganadero, y Dirección General de Aguas.

Ahumada, M. y Faundez, L. (2009) *Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT).* Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero.

Akçakaya, R., Burgman, M. y Ginzburg, L. (1999) *Applied Population Ecology: Principles and Computer Exercises Using Ramas® EcoLab 2.0.* 2nd edn, *Applied Biomathematics*. 2nd edn. New York, US.

Alegría, C. y Lillo, C. (1996) 'Protección legal de los humedales altoandinos (vegas y bofedales) en Chile', en *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la vida y el desarrollo sostenible*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle/Instituto Cinara, pp. 89–96.

Begon, M., Townsend, C. R. y Harper, J. L. (2006) *Ecology: from individuals to ecosystems*. 4th ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing.

BirdLife International (2021) *Species factsheet: Phegornis mitchellii*. Disponible en: http://www.birdlife.org (ref. de 8 junio 2021).

BirdLife International (2015) *Important Bird and Biodiversity Area factsheet: Valle del Yeso.* Disponible en: http://www.birdlife.org (ref. de 14 noviembre 2015).

Bonacic, C. e Ibarra, J. T. (2010) *Fauna Andina: historia natural y conservación. Serie Fauna Australis.* Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. División Andina, Codelco Chile.

Brenning, A. y Azócar, G. (2010) "Minera y glaciares rocosos: impactos ambientales, antecedentes políticos y legales, y perspectivas futuras". *Revista de Geografía Norte Grande*, Nº 47, p. 143-158

Canevari, P. *et al.* (2001) *Guía de los chorlos y playeros de la región netropical*. Santiago de Cali, Colombia: American Bird Conservancy, WWF-US, Humedales para las Américas, Manomet Conservation Science, y Asociación Calidris.

Colwell, M. A. (2010) *Shorebird ecology, conservation, and management*. California, US: University of California Press.

COCHILCO (2016) *Propiedad minera en Chile: estado y medidas de perfeccionamiento.* Santiago, Chile: Dirección de Estudios y Políticas Públicas. DE 10/2016, 38 p.

CONAMA *et al.* (2004) *Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago.* Edited by P. Urtasun and D. Urrejola. Santiago, Chile: CONAMA Metropolitana de Santiago.

Contreras, A., Díaz, F. y Johnson, J. (2013) 'Influencia de factores antrópicos en la nidificación de chorlito cordillerano (Phegornis mitchellii) en el valle de El Yeso, Andes centrales de Chile', *Quinta reunión del Grupo de Aves Playeras del Hemisferio Occidental, Santa Marta, Colombia*. Santa Marta, Colombia.

Contreras, A. y Estades, C. (2011) *Modelo de hábitat para chorlito cordillerano (Phegornis mitchelli) en los Andes centrales de Chile*. Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile.

Contreras, J. P. (2002) 'Norte de Chile : conservación de humedales altoandinos para un desarrollo productivo sustentable', *Revista Ambiente y Desarrollo*, XVIII, pp. 125–131.

Convencion de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA (2008) *Estrategia Regional para la Conservación y Uso sostenible de Humedales Altoandinos*. Convención de RAMSAR, Gobiernos de Ecuador y Chile, CONDESAN y TNC-Chile.

Corporación Alta Ley (2019) *Hoja de Ruta 2.0 de la Minería Chilena, Actualización y consensos para una mirada renovada.* Santiago, Chile. 201 p.

Díaz, F. (2014) *Diademed Sandpiper Plover (Phegornis mitchellii): Conservation and Research of a Rare Andean Shorebird in Central Chile. Final Report for The Rufford Small Grants Foundation.* Disponible en: https://www.rufford.org/projects/fernando-d%C3%ADaz-segovia/diademed-sandpiper-plover-phegornis-mitchellii-conservation-and-research-of-a-rare-andean-shorebird-in-central-chile/ (ref. de 7 junio 2021).

Díaz, F. (2016) *Diademed Sandpiper Plover (Phegornis mitchellii): Conservation and Research of a Rare Andean Shorebird in Central Chile. Final Report for The Rufford Small Grants Foundation.* Disponible en: https://www.rufford.org/projects/fernando-d%C3%ADaz-segovia/diademed-sandpiper-plover-phegornis-mitchellii-conservation-and-research-of-a-rare-andean-shorebird-in-central-chile-OTE5MQ/ (ref. de 7 junio 2021).

eBird (2012) 'eBird: Una base de datos en línea para la abundancia y distribución de las aves [aplicación de internet]'. Ithaca, New York: eBird. Disponible en: http://www.ebird.org (ref. de 10 febrero 2017).

Evans, P. R. y Pienkowski, M. W. (1984) 'Population Dynamics of shorebirds', in Burger, J. and Olla, B. L. (eds) *Shorebirds: Breeding behavior and populations*. New York, US: Plenum Press, pp. 83–123.

Ferrer, D. G. *et al.* (2013) 'Observaciones sobre la presencia y reproducción del chorlito de vincha (*Phegornis mitchellii*) en el Parque Provincial Aconcagua, Mendoza, Argentina', *Nótulas faunísticas*, 116(2), pp. 1–12.

Gajardo, R. (1994) *La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica.* Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

GORE and SEREMI-MMA (2013) *Estrategia Regional para la Conservación de la Biodiversidad en la Región Metropolitana de Santiago 2015-2025*. Santiago, Chile: Gobierno Regional Metropolitano de Santiago y Secretaría Regional Ministerial del Ministerio del Medio Ambiente, Región Metropolitana de Santiago. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

Gorgoglione, E. C. (1997) *Guía de campo para la identificación de las aves del Neuquén*. Junín de los Andes, Argentina.

Gratto-Trevor, C. L. (2004) 'Manual del Anillador de Norteamérica para Aves Playeras', *North American Banding Council*, p. 47.

Hayman, P., Marchant, J. y Prater, T. (1986) *Shorebirds: an identification guide*. Boston, US: Houghton Mifflin.

Hernández, J. *et al.* (2014) *Biodiversidad terrestre de la Región de Arica y Parinacota*. Edited by J. Hernández et al. Chile: Universidad de Chile; Gobierno Regional Arica y Parinacota; MMA, Gobierno de Chile.

Hitchcock, C. L. y Gratto-trevor, C. (1997) 'Diagnosing a Shorebird Local Population Decline with a Stage-Structured Population Model', *Ecology*, 78(2), pp. 522–534.

Howell, S. (2010) *Molt in North American Birds*. New York, US: Houghton Mifflin Harcourt.

del Hoyo, J., Elliot, A. y Sargatal, J. (Eds.; 1996) *Handbook of the birds of the world. Volume 3*. Barcelona, España: Lynx Editions.

Jadue J., D. *et al.* (2010) *Plan de Desarrollo Comunal, San José de Maipo, 2010-2014. Tomo I, Caracterización Diagnóstico Técnico Comunal*. Santiago, Chile: Ilustre Municipalidad de San José de Maipo, Chile.

Jaramillo, Á. (2005) *Aves de Chile*. Barcelona, España: Lynx Editions.

Johnson, A. W. (1964) 'Notes on Mitchellii's plover Phegornis mitchelli', *Ibis*, 106(2), pp. 249–251.

Johnson, J., Díaz, F. y Contreras, A. (2012) *Diademed Sandpiper-Plover (Phegornismitchellii): breeding ecology and habitat relationships of an enigmatic Andean shorebird—2011–2012 summary report.* Manomet Inc., Shorebird Recovery Project

Kersten, M. y Brenninkmeijer, A. (1995) 'Growth, fledging success and post-fledging survival of juvenile Oystercatchers Haematopus ostralegus', *Ibis*, 137(3), pp. 396–404. doi: 10.1111/j.1474-919X.1995.tb08039.x.

Leopold, L. B. . *et al.* (1971) *A procedure for evaluating environmental impact*, *Geological Survey Circular*. Washington, D.C.

Martin, T. E. (1993) 'Nest Predation and Nest Sites: new perspectives on old patterns', *BioScience*, 43(8), pp. 523–532. doi: Doi 10.2307/1311947.

Mayfield, H. F. (1975) 'Suggestions for Calculating Nest Success', *The Wilson Bulletin*, 87(4), pp. 456–466. doi: 10.1080/00131726109338398.

Ministerio de Agricultura, MINAGRI (1998) *Reglamento de la Ley de caza, D. S. N° 5*. República

de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente, MMA (2020) *Aprueba y oficializa clasificación de especies según estado de conservación, decimoquinto proceso.* Normas generales CVE 1782634**.** Diario Oficial número 42.702, República de Chile.

Muñoz-Schick, M. *et al.* (2000) 'Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile Central.', *Boletín del Museo de Historia Natural*, 49, pp. 9–50.

Narosky, T. y Yzurieta, D. (2010) *Aves de Argentina y Uruguay: guía de identificación*. 16a ed. Buenos Aires, Argentina: Vázquez Mazzini Editores.

Nol, E. (1986) 'Incubation Period and Foraging Technique in Shorebirds', *The American Naturalist*, 128(1), pp. 115–119.

Quintanilla, V. (1978) 'El escalonamiento vegetal de los Andes Occidentales a la latitud de Valparaíso (33oS).', *Informaciones Geográficas*, 25, pp. 53–66.

Real Academia Española (2017) *Diccionario de la Lengua Española*. 22a ed. Disponible en: http://dle.rae.es/ (ref. de 6 octubre 2017).

Ruthsatz, B. (1993) 'Flora and ecological conditions of high andean mires of Chile between 18°00' (Arica) and 40°30' (Osorno) s. lat.', *Phytocoenologia*, 23, pp. 157–199.

Salafsky, N. *et al.* (2008) 'A standard lexicon for biodiversity conservation: Unified classifications of threats and actions', *Conservation Biology*, 22(4), pp. 1–15. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.00937.x.

Sandercock, B. K. (2003) 'Estimation of survival rates for wader populations: a review of mark-recapture methods', *Wader Study Group Bulletin*, 100(April), pp. 163–174.

Schulenberg, T. S. *et al.* (2007) *Birds of Peru*. Revised an. New Jersey, US: Princeton University Press.

Sodhi, N. S. y Ehrlich, P. R. (2010) *Conservation biology for all*, *Conservation Biology*. Edited by N. S. Sodhi and P. R. Ehrlich. Oxford, New York: Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199554232.001.0001.

Stehberg, R. (1980) 'Aproximación metodológica al estudio del poblamiento humano de los Andes de Santiago (Chile)', *Boletín Museo Historia Natural*, 37, pp. 9–41.

Tacón, A. *et al.* (2004) *Manual de ordenamiento predial para la conservación de la*

biodiversidad en áreas protegidas privadas, *Proyecto CIPMA-FMAM*. Edited by P. Villarroel and S. Törey. Valdivia, Chile.

The Nature Conservancy (2007) 'Conservation Action Planning - Developing Strategies, Taking Action, and Measuring Success at Any Scale', *Work*, (February), pp. 1–20.

UICN (2012) *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1.pdf*. Segunda ed. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. Disponible en: www.iucn.org/publications (ref. de 7 junio 2021).

Villagrán, C., Arroyo, M. and Morticorena, C. (1983) 'Efectos de la desertización en la distribución de la flora andina de Chile', *Revista Chilena Natural*, 56, pp. 137–157.

White, G. C. y Burnham, K. P. (1999) 'Program MARK: survival estimation from populations of marked animals', *Bird Study*, 46, pp. 120–139. doi: 10.1080/00063659909477239.

8. Apéndices.

Apéndice 1: Primera hoja de la planilla de registro de los nidos de *Phegornis mitchellii*, y el seguimiento de la nidada, en el valle del río Yeso.

	Page
Nest ID	Observer
	Date Found
GPS N (DD WGS84)	Plot # / Locale
GPS W (DD WGS84)	Located WITHIN or OUTSIDE Plot
Est. Hatch Date	Found by SEARCHER / ROPE / BANDER
Bands (UL/LL:UR/LR sex)	Bands (UL/LL:UR/LR sex)

Nest Visits including discovery

Day & Month	Time 24 hr	Obs. Initials	Stage	Nest Seen (Y/N)	# Eggs/ Chicks	Pip Star Crack	Done this visit	Next visit date	To do next visit

Map of Nest Location:

Apéndice 2: Segunda hoja de la planilla de registro de los nidos de *Phegornis mitchellii*, y el seguimiento de la nidada, en el valle del río Yeso.

Nest ID: _____ **Book** _____ **Page**

Eggs

		1	2	3	4		
	length (mm)						
	width (mm)						
Date:	float angle					Est. Age	Initiation Date
	surfaced (Y/N)					days	Incubation Date
	# mm above						

NEST FATE DAY & MONTH:

Nest: INTACT / SCATTERED / FLATTENED & WIDENED
Predator: URINE / SCAT / NO
Egg Frags found: YES NO
Egg Bits in nest: YES NO
Membranes: ATTACHED / SEPARATE / NONE
Membranes /shell with attached: BLOOD / YOLK / NONE
Weather Induced: YES NO
Livesotck trampling: YES NO
Adult broody: YES NO
Brood seen: YES NO
# of young _____
distance from nest (m) _____
Final Nest Fate: HATCH / FAILED /ABANDON / UNKNOWN / UNDETERMINED
Cause of failure: WEATHER / PREDATION / TRAMPLING / OBSERVER / OTHER

NOTES:

Apéndice 3: Planilla de registro de captura y re-avistamiento de individuos de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso. La planilla se muestra en dos secciones para su representación.

ID	BAND	COLOR CODE	DATE	OBSERVER	LOCATION	AGE	STATUS	CICLO	PAIR

LAT	LONG	ENC_TYPE	PER_1 2010-2011	PER_2 2011-2012	PER_3 2012-2013	PER_4 2013-2014	PER_5 2014-2015	PER_6 2015-2016	OBS

Apéndice 4: Planilla de registro de las características de la captura y anillamiento de individuos de *Phegornis mitchellii* en el valle del río Yeso.

PHMI 2012-13 Banding data form Page____

Bander | DD-MO-YY | Time 24hr

NestID | PlotID | ON / OFF Plot

Capture Method: Bownet / Walkin / Mistnet / Woosh Net / Collected (Circle)

Capture Status: Pre-laying or Laying / Incubation / Brood / Post-breeding / Unknown

Band Location: latitude: _____longitude:_____(DD WGS84)

Band Number	Species Code	Color Combo UL	LL	UR	LR

Recapture from prior year: Y N

Recapture from this year: Y N

Picture: Book: Y N Flag: Y N

Upper parts & Vent: Y N

Flight Feather Molt (0-5)

Secondaries inner←middle										Primaries middle→outer										Tail (right side) middle→outer					
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6

Body Feather Molt (0, 2-5)	Head	Neck	Back	Breast	Abdomen

Morphometrics

Culmen 0.1 mm	Total Head 0.1 mm	Diagonal Tars 0.1 mm	Wing 1 mm	Weight 0.1g	Bag Weight 0.1g	Fat 0-7
:	:	:			X X X	

Blood in RNA Later	Blood for DNA	AI Swab (N/A)	Feathers
Y / N	Y / N	Y / N	Y / N
		Sample #	
Capillary: Plain			
No. of tubes:	% of tube:	CP only /OP only/both	Outer 2/3 P6 cov

Sex: M F Unknown

How Sexed: Plumage / Cloacal Size / Wing / Egg Laying

Age: SY / ASY / AHY / Hatch Year / Chick That Can't Fly (Circle)

How Aged: Plumage (notes required for SY & ASY) / Recapture

Notes: