

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/262584520>

Evaluación de un escenario de extinción para la última población de *hippocamelus bisulcus* (Molina, 1782) de Chile central

Article in *Interciencia* · February 2008

CITATIONS

4

READS

163

4 authors:



Karla P. García

Universidad Católica de la Santísima Concepción

11 PUBLICATIONS 91 CITATIONS

SEE PROFILE



Alfonso Jara-Flores

University of Concepción

27 PUBLICATIONS 131 CITATIONS

SEE PROFILE



Juan Carlos Ortiz

University of Concepción

97 PUBLICATIONS 815 CITATIONS

SEE PROFILE



Pedro F. Victoriano

University of Concepción

66 PUBLICATIONS 1,980 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



“Reproducción de la ranita de darwin (*Rhinoderma darwini*)”. [View project](#)



Bases ambientales, jurídicas y comerciales para el desarrollo sustentables de las turberas en Magallanes [View project](#)

EVALUACIÓN DE UN ESCENARIO DE EXTINCIÓN PARA LA ÚLTIMA POBLACIÓN DE *Hippocamelus bisulcus* (MOLINA, 1782) DE CHILE CENTRAL

Karla García, Alfonso Jara, Juan Carlos Ortiz y Pedro Victoriano

RESUMEN

Se aplicó un modelo de simulación estocástico para evaluar la proyección numérica de la población del huemul del sur (*Hippocamelus bisulcus*) en Chile Central (Nevados de Chillán), población en la que se ha observado una disminución persistente durante las últimas décadas. Estimaciones empíricas sugieren que en poco tiempo sus relictos actuales se extinguirían localmente. Se aplicó un modelo de simulación que incluye datos de historia de vida y de variaciones ambientales. La tasa de supervivencia, el tamaño medio de camada y capacidad de carga fueron modelados a lo largo de 100 años. Se determinó la estructura de edades y sexo de la población actual y la tendencia

de la densidad promedio por sitio en base a registros históricos (1975-2002). El modelo aplicado indicó que esta población de huemules se encuentra en alto riesgo, con un tiempo medio de extinción entre 27 y 42 años. La disminución de la población de huemules podría ser explicada por efectos generados principalmente por factores antrópicos, que se mantienen en la mayoría de los sitios de hábitat primario, y por perturbaciones ambientales estocásticas. Se discute la importancia de medidas de protección, como ampliación del área de hábitat primario disponible, conservación de corredores entre fragmentos y traslocación de huemules desde la población sur (XI Región).

EVALUATION OF AN EXTINCTION SCENARIO FOR THE LAST POPULATION OF *Hippocamelus bisulcus* (MOLINA, 1782) IN CENTRAL CHILE

Karla García, Alfonso Jara, Juan Carlos Ortiz and Pedro Victoriano

SUMMARY

In order to evaluate the population projection for the huemul of the south (*Hippocamelus bisulcus*) in Central Chile (Nevados de Chillán), a stochastic simulation model was applied. This population has continually decreased in size over the last decade and empirical estimates suggest that in a short time the current relicts of this population would extinguish locally. The simulation model was applied using life history and environmental data. Survival rate, mean fecundity and carrying capacity were modeled over a time span of 100 years. The population age structure, sex ratio and local density average were deter-

mined on the basis of historical (1975-2003) records. The results indicate that this is a high risk population with a mean extinction time between 27 and 42 years. The population decline could be explained by effects generated mainly by sustained anthropic perturbation occurring in a large proportion of primary habitats and by stochastic environmental perturbations. The relevance of several protection measures is discussed, including increment for the area of available primary habitat, conservation of corridors among fragments, and translocation of individuals from the existing southern populations in XI Region of Chile.

Introducción

La pérdida y fragmentación de hábitat han sido considerados factores claves en la supervivencia de las diversas especies de animales. Estos son aun más importantes en el caso de consumidores primarios, especialistas de hábitat, como *Hippocamelus bisulcus*,

conocido como huemul del sur, ciervo nativo del sur de América del Sur que habita principalmente en los bosques andino-patagónicos de Argentina y Chile (Cabrera y Yepes, 1960; Frid, 2001). El huemul del sur es una especie en peligro de extinción, según la Lista Roja de Animales Amenazados (IUCN, 2006)

y el Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Chile (Glade, 1993). Este estado de conservación está basado tanto en su disminución numérica como en la reducción de su rango de distribución original (Aldridge, 1988; Povilitis, 1998, 2002), asociados a la fragmentación y aislamiento de sus poblaciones. Otros

elementos derivados de factores antrópicos, tales como presencia y sobrepastoreo por parte del ganado doméstico, transmisión de enfermedades provenientes de éste, ataques por perros (Aldridge y Montecinos, 1988; Povilitis, 1998; 2002; Frid, 2001) y la fuerte competencia que representa la introducción de ciervos exó-

PALABRAS CLAVE / *Hippocamelus bisulcus* / Huemul / Peligro de Extinción / Simulación Poblacional /

Recibido: 01/12/2006. Modificado: 10/01/2008. Aceptado: 11/01/2008.

Karla García. Bióloga y cursante de Magíster en Ciencias, Universidad de Concepción (UDEC), Chile. Dirección: Departamento de Zoología.

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, UDEC. Casilla 160-C. Concepción, Chile. e-mail: kgarcia@udec.cl

Alfonso Jara. Biólogo, Universidad de Bío-Bío, Chile. Cursante de Magíster en Ciencias, UDEC, Chile.

Juan Carlos Ortiz. Dr. en Ciencias, Université de París VII, Francia.

Profesor, Centro de Investigación en Ecosistemas Patagónicos (CIEP), UDEC, Chile.

Pedro Victoriano. Doctor en Ciencias, UDEC, Chile. Profesor, CIEP-UDEC, Chile.

AValiação DE UM CENÁRIO DE EXTINÇÃO PARA A ÚLTIMA POPULAÇÃO DE *Hippocamelus bisulcus* (MOLINA, 1782) DO CHILE CENTRAL

Karla García, Alfonso Jara, Juan Carlos Ortiz e Pedro Victoriano

RESUMO

Aplicou-se um modelo de simulação estocástico para avaliar a projeção numérica da população do huemul do sul (*Hippocamelus bisulcus*) no Chile Central (Nevados de Chillán), população na que se tem observado uma diminuição persistente durante as últimas décadas. Estimaciones empíricas sugerem que em pouco tempo seus relictos atuais se extinguiriam localmente. Aplicou-se um modelo de simulação que inclui dados de historia de vida e de variações ambientais. A taxa de sobrevivência, o tamanho médio de camada e capacidade de carga foram modelados ao longo de 100 anos. Determinou-se a estrutura de idades e sexo da população atual e a tendência da densidade

média por lugar baseados em registros históricos (1975-2002). O modelo aplicado indicou que esta população de huemules se encontra em alto risco, com um tempo médio de extinção entre 27 e 42 anos. A diminuição da população de huemules poderia ser explicada por efeitos gerados principalmente por fatores antrópicos, que se mantêm na maioria dos lugares de hábitat primário, e por perturbações ambientais estocásticas. Discute-se a importância de medidas de proteção, como ampliação da área de hábitat primário disponível, conservação de corredores entre fragmentos e translocação de huemules desde a população sul (XI Região).

ticos como *Cervus elaphus*, han contribuido a acentuar el decrecimiento poblacional, hasta llevar a un escenario de probable desaparición. La situación es aún más dramática para la única población sobreviviente del huemul en Chile Central, en el área de Los Nevados de Chillán - Laguna del Laja, en la Cordillera de los Andes de la Región del Bío-Bío. Esta población se distribuye (Povilitis, 2002) entre el río Ñuble al norte hasta la parte alta del río Laja al sur (36°-37°S).

Por el elevado grado de aislamiento que presenta esta población respecto a las que se ubican más al sur, el núcleo de los Nevados de Chillán muestra serios problemas de viabilidad poblacional y una alta probabilidad de extinción (Aldridge, 1988; Povilitis, 1998; 2002). Su condición de población más septentrional, le otorga un alto valor de conservación y, además, puede constituir un grupo periférico de especial importancia genética al actuar como una unidad evolutivamente significativa (ESU; Lesica y Allendorf, 1995; Crandall *et al.*, 2000; Nielsen *et al.*, 2001).

En la zona de estudio los huemules han ocupado históricamente al menos 26 sitios, distribuyéndose sus hábitats primarios en la zona oeste del área (Povilitis, 1998). Esto correspondería al límite de la zona con bosque nativo, donde la especie utiliza

predominantemente sectores del ecotono entre las áreas boscosas y esteparias. Actualmente, los huemules ocupan solo un 27% del hábitat original, correspondiendo solo a 11 sitios, en los que se ha estimado una población total promedio de 40 individuos (Povilitis, 2002).

Los datos de prospecciones obtenidos entre 1975 y 2002 por Povilitis (2002) han señalado que la población de huemules de Chile Central puede extinguirse en la próxima década. Sin embargo, debido a la complejidad que conlleva este proceso, es necesario considerar una mayor cantidad de factores que influyen en la dinámica poblacional. Cabe destacar que el desarrollo de estudios empíricos encuentra numerosas dificultades para reunir suficiente información relacionada con todos los factores involucrados en la variación del tamaño de las poblaciones, lo cual se debe fundamentalmente a las complejas relaciones interdependientes en juego,

que se correlacionan entre los niveles biológico, estocástico y evolutivo. Esto justifica la estimación de los cambios de abundancia poblacional por medio del modelado, priorizando el papel de unos pocos factores relevantes. Para el caso del huemul, considerando los antecedentes poblacionales preliminares y el comportamiento de otras poblaciones

de mamíferos con un estatus de conservación y biología similar, se evaluó la hipótesis que la población de huemules de Chile Central se extinguirá dentro de las próximas décadas, lo que debiera reflejarse en las proyecciones obtenidas de un modelo multivariado.

El objetivo de este trabajo fue evaluar un potencial escenario de extinción para *Hippocamelus bisulcus* en Chile Central, a través de un modelo de simulación estocástico alimentado con datos de biología poblacional y datos ambientales históricos. Con ello se pretende además analizar la viabilidad actual de la población y la tendencia de la población de huemules en la zona de los Nevados de Chillán.

Área de estudio

La población de huemules en Chile Central está ubicada en Los Nevados de Chillán en el área del Valle Montañas Polcura (36°35' - 37°30'S; Figura 1). El área comprende cerca de 3000km² y está bordeada por la depresión intermedia por el oeste, regiones montañosas de este al este, y los ríos

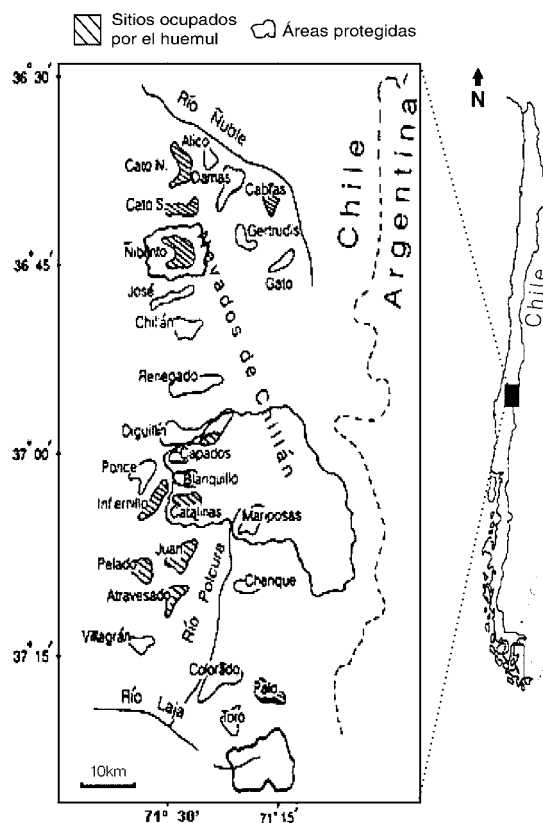


Figura 1. Distribución de hábitat primario del huemul en Los Nevados de Chillán, Chile. Los sitios ocupados por el huemul aparecen rayados.

Ñuble y Laja al norte y sur, respectivamente. Para verificar datos de estructura del hábitat y vegetación asociada, se efectuaron observaciones en el Santuario de la Naturaleza y Reserva Nacional "Los Huemules de Niblinto" (36°42' - 36°47'S).

La vegetación del área se caracteriza por un bosque relativamente abierto dominado por *Nothofagus dombeyi* y secundariamente por *N. pumilio* y *Podocarpus saligna*. En el estrato arbustivo, en la vegetación semiabierto, predomina *Ribes cucullantum* y *Chusquea quila*, mientras que el estrato herbáceo está dominado por *Osmorhiza chilense*, *Alstromeria* sp. y *Acaena* sp., además de plántulas de *Luma apiculata* y *Orites myrtoidea*. En las zonas de mayor altitud predominan parches de bosque achaparrado de *N. antartica* y *N. pumilio*, además de *Embothrium coccineum* y *Maytenus magellanica*, y alrededor de ellas abundante *R. cucullantum*, *Berberis montana* y *Adesmia emarginata*. Por otro lado, con cartas IGM 1:50000 se estimó un área total disponible de alrededor de 167km², los cuales corresponderían al área de cada uno de los sitios de hábitat primario de Los Nevados de Chillán. Al considerar por separado los núcleos poblacionales norte y sur se estimaron áreas de 120km² y 300km², respectivamente.

Antecedentes del área sugieren que, durante un invierno normal, a comienzos de junio los huemules bajan a los valles (hábitat invernal) como producto de las fuertes nevadas que cubren las cimas de los cerros.

Metodología

Obtención de la información

Los datos requeridos, tales como la información de historia de vida, tasas de natalidad y mortalidad, fluctuaciones ambientales, abundancia y disponibilidad de alimento, fueron recopilados a partir de investigaciones realizadas entre los años 1975 y 2002

por Povilitis (1998, 2002), CONAF, CODEFF y el *Sierra Institute*, estos últimos no publicados. Los datos de precipitación anual fueron obtenidos de bases de datos de la Dirección General de Aguas (DGA) y considerados para la determinación de la frecuencia de ocurrencia de años catastróficos, a fin de estimar la recurrencia de años con alta mortalidad de huemules.

Modelo de simulación

Se utilizó un modelo de simulación estocástico incluido en el software PUMA (Beier, 1993) por medio del cual se analizaron los procesos que influyen en la dinámica de la población de huemules en el sector de Los Nevados de Chillán. El objetivo del modelo es aproximarse a la comprensión de los mecanismos que influyen en la variación numérica de la población en Chile Central, determinando además el estado actual de la población y su tendencia. Este modelo considera datos de historia de vida, tasas de inmigración, área del hábitat y fluctuaciones ambientales. La opción del uso del logicial VORTEX fue descartada por requerir de datos no obtenibles en la actualidad.

El modelo de simulación utilizado comienza con una matriz-Lesslie computacional, con subprogramas que controlan inmigración y un ajuste en las tasas de supervivencia y fertilidad para densidad dependiente, estocasticidad demográfica y ambiental, y un efecto de Allee. Para cada combinación de condiciones de entrada, la dinámica poblacional fue simulada en 100 iteraciones y cada simulación fue de 100 años de duración. En cada caso el número inicial de adultos (≥ 2 años) fue un "set" igual a la capacidad de carga y eventualmente distribuido en diferentes clases de edad.

Por cada "set" de 100 corridas, el programa recorre la trayectoria de la población por sexo y clases de edad.

TABLA I
DATOS DE ENTRADA PARA LOS PARÁMETROS BIOLÓGICOS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DE HUEMULES

| Parámetro | Valores considerados |
|---|--|
| Tamaño medio camada | 1,00 - 0,50 |
| Supervivencia juvenil | 0,45; 0,60 - 0,75 |
| Supervivencia adultos | 0,75 - 0,85 |
| Capacidad de carga (adultos reproductores/100km ²) | 6,9 hembras; 6,9 machos 11,4 hembras; 11,4 machos |
| Severidad de la catástrofe (pérdida de capacidad de carga) | 20% cada 20 años |

Además, estima el número de corridas en la cual la población fue extinta, el tamaño medio poblacional (TMP) en 100 años y el tiempo promedio de extinción (Te). Para el caso del riesgo de extinción (RE), se estimó el promedio del porcentaje de extinción a tres combinaciones de supervivencia, dos disponibilidades de hábitat y dos categorías de fertilidad promedio.

Estructura del modelo

La estructura del modelo requiere la caracterización por separado de cada sexo y por clases de edad a través de variables de tasas de supervivencia, tamaño medio de camada, tasa de inmigración, capacidad de carga, área del hábitat y atributos medioambientales (Tabla I). Los rangos determinados para cada una de las variables y parámetros incluidos en el modelo se basaron principalmente en publicaciones e informes técnicos no publicados de la población de huemules en la zona de Chile Central, y dado que la información sobre los parámetros de historia de vida existente para la población son escasos, se asumieron valores de supervivencia y capacidad de carga iguales para ambos sexos.

– *Tamaño de camada*. De acuerdo a los datos disponibles acerca de la biología del huemul, luego de 210 días dan a luz una única cría. El intervalo entre nacimientos (excepto cuando las crías mueren) es usualmente ~24 meses. El mo-

delo asume que las hembras cuyas crías mueren comienzan el estro y se reproducen al año siguiente.

– *Tasas de supervivencia para los juveniles*. Se desconocen las estimaciones para la supervivencia de individuos de 0-2 años, por lo que se han estimado tres posibles valores para la supervivencia de los juveniles (0,45; 0,6 y 0,75). El programa asume como muertas a las crías cuyas madres han muerto antes de que alcancen los seis meses de edad.

– *Tasas de supervivencia para adultos*. Al igual que para los juveniles no se cuenta con tal información. Se consideraron tasas de supervivencia de 0,65 y 0,75.

– *Longevidad*. Un máximo de 12 años fue asumido en todas las simulaciones. El programa da muerte a todos los individuos con edad >12 años. El mayor promedio de vida registrado para la especie (*Hippocamelus bisulcus*) corresponde a 10 años 11 meses (Nowak, 1999).

– *Capacidad de carga*. Esta dada por el número de adultos por unidad de área (km²). La densidad de hembras se regula principalmente por los recursos de alimentos, mientras que la densidad de machos esta dada por las interacciones territoriales. Por consiguiente, el modelo requiere las estimaciones de la capacidad de carga separadas para hembras y para machos. En el caso de la población de huemules de

Los Nevados de Chillán se asumieron capacidades de carga iguales para ambos sexos debido a que la población posee actualmente una proporción de sexos de 1:1. Las estimaciones de densidades tanto para hembras como para machos fueron deducidas a partir del área del hábitat real utilizado, calculada en base a cartografía de la zona de Los Nevados de Chillán con escala 1:50000.

– *Catástrofes que reducen la capacidad de carga.* En cada corrida se consideró una reducción de K de un 20% en años de catástrofes. La frecuencia de años catastróficos se estimó cada 20 años y con un año de duración de cada evento, basado en las estadísticas climáticas obtenidas mediante un índice medio-ambiental (Picton, 1978) y de registros esporádicos de años extremos.

Natalidad denso-dependiente

En el modelo se asume que el número de hembras juveniles que exceden la capacidad de carga normalmente inhiben su gestación hasta que el ámbito de hogar se estabiliza. El modelo permite que tales hembras puedan engendrar con una probabilidad igual a 0,2. Por otra parte, otro mecanismo que inhibe la gestación ocurre cuando una hembra se encuentra acompañada por crías.

Tasas de supervivencia denso-dependiente

En análisis preliminares se corrieron simulaciones con tasas de supervivencia denso-independientes, resultando tasas de extinción hasta 10 veces superiores que las realizadas con tasas de supervivencia con denso-dependencia para todas las edades. Otras simulaciones fueron corridas con tasas de supervivencia con mediana denso-dependencia para los juveniles y tasas de supervivencia denso-independientes para los adultos, produciendo tasas de extinción hasta 5 ve-

ces más que las obtenidas con tasas de supervivencia con denso-dependencia para todas las edades. En simulaciones con tasas de supervivencia sin denso-dependencia, el número medio de adultos en 100 años excedió en mucho la capacidad de carga porque la denso-independencia produce un tamaño poblacional poco realista (Beier, 1993), y en la población simulada el área de hábitat disponible parece ser un recurso limitado. Todas las simulaciones incluidas en este trabajo se realizaron con tasas de supervivencia dependiente de la densidad, utilizando una alta denso-dependencia para juveniles y una moderada denso-dependencia para los adultos.

En el modelo, la denso-dependencia opera más fuertemente entre 0 y 1 años de edad, cuyas tasas de supervivencia dependen del número de hembras adultas; la supervivencia de los machos de 1 año de edad también varía con el número de machos adultos (reflejando la denso-dependencia de la mortalidad de los machos juveniles durante la dispersión). El modelo regula todas las tasas de supervivencia a valores entre 0,3 y 0,9 para animales de <2 años y entre 0,4 y 0,95 para adultos.

Variación estocástica

Muchos modelos de simulación introducen la varia-

ción estocástica dentro de las tasas de supervivencia para seleccionar al azar las tasas a partir de una distribución normal y luego multiplican esas tasas por el número de individuos en clases de edad y sexo. Cuando hay uno o dos animales por cada clase de edad y sexo, estas aproximaciones introducen errores que aumentan las tasas de supervivencia a valores cercanos al 100% e irónicamente eliminan la variación estocástica (Beier, 1993). Para evitar este problema el modelo aplica una probabilidad apropiada a cada individuo de la población. Procesos similares introducen la estocasticidad a la proporción de sexo, tamaño de camada y tasas de inmigración. En el caso del tamaño de la camada, por regla es de solo una cría en condiciones ideales, con la misma probabilidad para todas las hembras adultas.

Estimaciones empíricas de abundancia y estructuras de edades

Como una forma de complementar los análisis mediante la aplicación del modelo, se consideraron datos reales de abundancia a través del tiempo (Povilitis, 2002) y de estructuras de edades (CONAF, CODEFF, datos no publicados). A partir de los datos de abundancia por sitio de muestreo se estimó

la densidad promedio de huemules expresadas en número de individuos/100km². Esto permitió construir una gráfica que estima la progresión real de la abundancia de huemules a través del tiempo. Por otro lado, se realizó un ANOVA para estimar si existen diferencias significativas de densidades entre los distintos periodos considerados. Junto con esto, a fin de apreciar diferencias de abundancia entre comparaciones pareadas de periodos, se aplicó el test de Tukey (Sokal y Rohlf, 1995). Con los datos empíricos de números mínimos de individuos por sitio de hábitat se aplicó un modelo de regresión para la densidad promedio a fin de tener una proyección de este parámetro en el tiempo.

Resultados

Estimaciones empíricas de abundancia y estructura poblacional

De acuerdo a los conteos efectuados en el 2003 por CONAF y CODEFF, se estimó una población total aproximada de 24 huemules para el sector de Los Nevados de Chillán (Tabla II). El total estimado puede ser levemente superior al conteo mínimo ya que, por una parte, no se han realizado múltiples prospecciones en los sitios de hábitat primario durante los últimos

TABLA II
ESTRUCTURA DE EDADES Y PROPORCIÓN DE SEXO PARA LA POBLACIÓN DE HUEMULES DE LOS NEVADOS DE CHILLÁN, REGIÓN DEL BÍO-BÍO, CHILE

| Sitio | N° Individuos | Sexo | | | Clase de edad | | | | | |
|--|---------------|------|----|--------|---------------|-----|-----|-----|------|-------|
| | | M | H | indet. | 0-2 | 2-4 | 4-6 | 6-8 | 8-10 | 10-12 |
| | | | | | | | | | | |
| Río Cato Sur | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | 2 | - | - |
| Río Niblinto – El Baúl | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | - | 2 | - | - |
| Las Cabras | 2 | 1 | 1 | - | - | - | 2 | - | - | - |
| C° Pelado | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | 2 | - | - |
| Las Catalinas – San Juan | 4 | 2 | 2 | - | - | - | 4 | - | - | - |
| Río Diguillín – Las Parias | 5 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | - | 2 | - | - |
| Los Atravesados | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | 2 | - | - |
| Laguna del Laja – Los Machos Infiernillo | 1 | 1 | - | - | - | - | 1 | - | - | - |
| | 2 | 1 | 1 | - | - | - | 2 | - | - | - |
| Total: | 24 | 12 | 10 | 2 | 3 | 2 | 9 | 10 | - | - |

Fuente: CONAF y CODEFF, datos sin publicar.

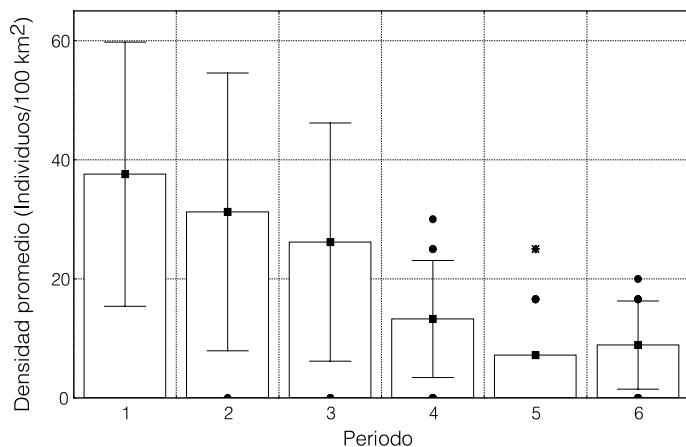


Figura 2. Densidad promedio (individuos/100km²) señalada para cada período prospectado. (1: 1975-1976, 2: 1980-1989, 3: 1990-1993, 4: 1994-1997, 5: 1998-2002, y 6: 2002-2003). Datos obtenidos en base a prospecciones periódicas en terreno. Tomado de Povilitis (2002) para los periodos 1 al 5 y de datos sin publicar (CONAF, CODEFF) de prospecciones realizadas en los últimos años para el periodo 6.

años y, por otra parte, es probable que algunos animales se encuentren presentes en hábitat secundario como dispersores (Povilitis, 2002). Además, se aprecia una estructura de edad en forma de pirámide invertida, donde existe un bajo número de individuos en las primeras dos clases (0-4 años) y un predominio de individuos de la clase entre seis y ocho años. El máximo de edad registrada fue de ocho años. Por otra parte, estos datos sugieren que la proporción de sexos para la población es simétrica entre ambos sexos.

La abundancia poblacional, obtenida a partir de los datos de Povilitis (1998), CONAF y CODEFF, mostró que ésta ha experimentado una disminución progresiva, al menos a partir de 1975, desde cuando se tiene información (Figura 2). En dicho año la densidad de la población se estimó en 37,58 individuos/100km². Luego, a partir de 1994, se produce una fuerte disminución en la densidad poblacional, la cual a la fecha se estima en 8,89 individuos/100km².

El análisis de varianza reveló diferencias significativas de la densidad entre los períodos ($F_{5, 68} = 7,496$; $p = 0,000012$). La fuerte disminución a partir de 1994 fue corroborada por la prueba a posteriori de Tukey, la que mostró dife-

rencias estadísticas para las comparaciones pareadas que involucran tal período (Tabla III). En base a la densidad promedio y de acuerdo al análisis de regresión (método de mínimos cuadrados) se extrapola la tendencia poblacional actual, lo que indicó la extinción del huemul en Los Nevados de Chillán en aproximadamente una década (Figura 3).

Resultados del modelo poblacional

Influencia del área del hábitat. Se observó que la probabilidad de extinción para el huemul (RE) incrementa en la medida que el área decrece (Tabla IV). En las simulaciones obtenidas con un tamaño de camada ideal (una cría), la población persistió con $T_e > 100$ años cuando el hábitat disponible era ≥ 200 km². Si en las simulaciones se consideró un área disponible de 100km², la población presentará un 100% de extinción dentro de 100 años. Esta situación se mantiene aun en el escenario más optimista de supervivencia (tasa supervivencia juvenil de 0,75 y tasa supervivencia adulto de 0,85) (Tabla IV).

Al considerar solo los escenarios con un área de 100km², el TME fluctuó entre los 45 años (en el escenario

TABLA III
RESULTADOS DEL TEST DE TUKEY (P) PARA LAS COMPARACIONES PAREADAS ENTRE PERIODOS, CONSIDERANDO LAS DENSIDADES DE HUEMULES

| Periodos | Periodos | | | | | |
|----------|----------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | {1} | {2} | {3} | {4} | {5} | {6} |
| 1 | | 0,956 | 0,606 | 0,009 | 0,001 | 0,001 |
| 2 | | | 0,969 | 0,046 | 0,003 | 0,007 |
| 3 | | | | 0,23 | 0,024 | 0,046 |
| 4 | | | | | 0,878 | 0,965 |
| 5 | | | | | | 1 |

Los periodos 1 al 6 corresponden a los señalados en la Figura 2.

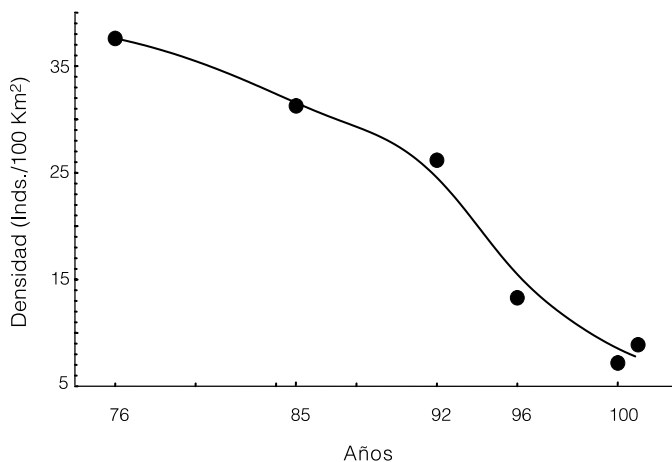


Figura 3. Tendencia de la población actual en base a modelo de regresión (ajuste por método de mínimo cuadrados).

más pesimista con tasa supervivencia juvenil de 0,45 y adulto de 0,75), y los 75 años (en el escenario más optimista con tasas de 0,75 y 0,85 respectivamente). En todos los escenarios con un área ≥ 200 km² el TME sobrepasó los 100 años (con tamaño de camada ideal). De acuerdo a las múltiples simulaciones poblacionales, el área de hábitat crítico parece estar entre 100 y 200km². En este rango el TME aumenta menos del 10% a medida en que incrementan las tasas de supervivencia.

Influencia de los parámetros biológicos. En general, las predicciones fueron sensibles a todos los parámetros biológicos, especialmente a la natalidad. Dada las condiciones actuales en la cual se encuentra la población, el tamaño óptimo de camada se vería disminuido probablemente a la mitad. En todas las simulaciones corridas durante 100 años

con un tamaño de camada de 0,50 el Re fue de un 100%, hasta en el escenario más optimista. El TME fluctuó entre 26 y 56 años en el escenario más pesimista y el más propicio, respectivamente (Tabla IV). Las simulaciones con la natalidad reducida a la mitad muestran un TME reducido hasta en un 67% en algunos escenarios.

Las tasas de supervivencia de los juveniles tuvieron mayor influencia en los resultados del modelo, respecto a las variaciones de supervivencia para adultos, las cuales en algunas ocasiones no incidieron en el TME. La capacidad de carga también fue relevante en los resultados del modelo. Al comparar los escenarios con una natalidad ideal y aumentando la población en 5 individuos ($K = 8,4$) el riesgo de extinción disminuyó en un 10%, en tanto que el TME aumentó 10 años. Por otra parte, para los escenarios con la natalidad reducida

TABLA IV

TIEMPO MEDIO DE EXTINCIÓN (TME; %) CONSIDERANDO TASAS DE NATALIDAD IDEAL Y REDUCIDA A LA MITAD, Y FLUCTUANDO LAS TASAS DE SUPERVIVENCIA PARA CADA ÁREA

| Tasa de natalidad | Tasas de supervivencia | | Tiempo medio de extinción (años) | | | | |
|-------------------|------------------------|--------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | Juvenil | Adulto | 100 km ² | 120 km ² * | 200 km ² | 300 km ² * | 400 km ² |
| 0,5 | 0,45 | 0,75 | 26 | 27 | 34 | 40 | 44 |
| | 0,45 | 0,85 | 26 | 27 | 34 | 40 | 45 |
| | 0,6 | 0,75 | 29 | 31 | 37 | 44 | 50 |
| | 0,6 | 0,85 | 29 | 31 | 38 | 45 | 50 |
| | 0,75 | 0,75 | 29 | 31 | 38 | 47 | 50 |
| | 0,75 | 0,85 | 31 | 33 | 44 | 47 | 56 |
| 1 | 0,45 | 0,75 | 45 | 52 | 100 | 100 | 100 |
| | 0,45 | 0,85 | 45 | 55 | 100 | 100 | 100 |
| | 0,6 | 0,75 | 57 | 62 | 100 | 100 | 100 |
| | 0,6 | 0,85 | 67 | 73 | 100 | 100 | 100 |
| | 0,75 | 0,75 | 70 | 76 | 100 | 100 | 100 |
| | 0,75 | 0,85 | 75 | 78 | 100 | 100 | 100 |

* Áreas de los núcleos poblacionales norte: 120km² y sur: 300km².

a la mitad, el Re se mantuvo constante (100%) mientras que el TME aumentó levemente (2 años). Luego, aumentando en 10 y en 15 el número de individuos (K= 9,9 y 11,4 respectivamente), en un escenario con natalidad ideal el TME se mantuvo constante (>100 años) mientras que el Re decreció en ~10%. En los escenarios con la natalidad reducida, el Re se mantuvo constante (100%) y el TME aumentó entre dos y cuatro años. El efecto de los parámetros biológicos fue proporcionalmente mucho mayor que el efecto de las perturbaciones (años catastróficos). De hecho, el riesgo de extinción incrementó solo levemente cuando aumentó la severidad de la catástrofe de 20 a 40%.

Trayectoria poblacional. En las condiciones actuales en la cual se encuentra la población de Los Nevados de Chillán (167km²) se estimó un TME dentro de los próximos 27 años para el núcleo poblacional norte y 42 años para el núcleo poblacional sur (Figura 4; Tabla IV).

Discusión

Modelo poblacional

Los modelos poblacionales constituyen una valiosa herramienta para el estudio de la dinámica poblacional, especial-

mente aquellos que incluyen tanto estocasticidad demográfica y ambiental, como variables sobre aspectos de la historia de vida. La mayoría de estos modelos también consideran la predicción y riesgo de extinción para una población determinada (Knight, 1985; Beier, 1993; Beissinger, 1995; Wiegand *et al.*, 2003). Su uso se ha incrementado en las últimas décadas por la necesidad de predecir el comportamiento de especies en peligro, constituyendo una valiosa herramienta para apoyar medidas de conservación. Sin embargo, encontrar un modelo que concuerde con las características y condiciones para la especie de interés es complicado. Wiegand *et al.* (2003) sostienen que se debe poner énfasis en observar y documentar modelos pertinentes, además de los esfuerzos por obtener estimaciones directas de los diferentes parámetros considerados. La mayor parte de los modelos son específicos para la biología de una especie en particular, sin embargo, en el presente caso, la aplicación del modelo PUMA (Beier,

1993) parece adecuado considerando que se trata de una

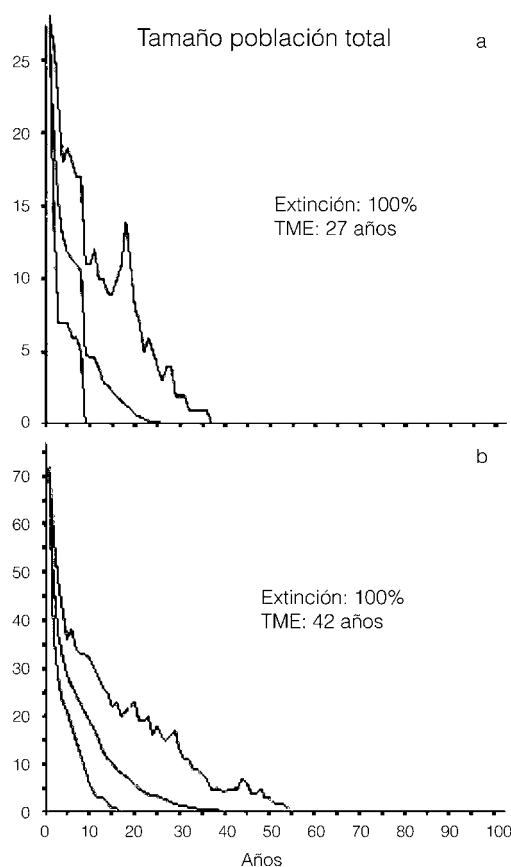


Figura 4. Tiempo medio de extinción arrojado por el modelo para a: núcleo poblacional norte, y b: núcleo poblacional sur. Se consideró supervivencia juvenil= 0,45; supervivencia adulto= 0,75; área núcleo norte= 120km²; área núcleo sur= 300km² sin inmigración; un 20% de pérdida de K con un año de duración cada 20 años; natalidad reducida a la mitad; y K= 6,9. La curva del centro corresponde a la media y las curvas inferior y superior a los valores mínimos y máximos, respectivamente.

especie de mediano tamaño, territorial y con varios atributos de historia de vida semejantes a la especie para la que fue diseñado. Este modelo indicó, que en ausencia de inmigración (como es el caso de la población de Nevados de Chillán, aislada del resto de las poblaciones de huemules) y con un tamaño de camada ideal, un área de 100-200km² es necesaria para soportar la población. Sin embargo, cabe señalar que un área mínima *per se* no garantiza la supervivencia de la población. Si bien Beier (1993) y Pereverzoff y Ackerman (1998) discuten la importancia del área en poblaciones en peligro de extinción y observaron una fuerte correlación entre el crecimiento del área y el crecimiento de la población, en el caso del huemul parece ser más relevante la variación de los atributos de supervivencia y reproducción. El modelo utilizado predice que en Los Nevados de Chillán, con un área real disponible de 167km² y una densidad de adultos de 6,9 individuos/100km² es un hábitat adecuado para la persistencia de la población. Pero en estas estimaciones, la variable de mayor relevancia, de acuerdo a los resultados del modelo, parece ser los bajos índices de natalidad. El tema de la supervivencia de las crías en esta especie es controvertido. Aldridge (1988) sugirió dos hipótesis, al no haber claridad sobre este punto. Por una parte, la ocurrencia de problemas reproductivos de la especie y, por otra, un rol importante de la depredación de las crías por pumas (*Puma concolor*) o zorros culpeos (*Pseudalopex culpaeus*), producto de una menor protección por la ausencia, en amplios

sectores, del estrato arbóreo. La hipótesis de una reducida fertilidad y una baja supervivencia de los juveniles asociados a un alto grado de consanguinidad resulta razonable. Esta relación ha sido discutida tanto en términos teóricos, como detectada empíricamente en varias especies de organismos por Templeton (2006). En el caso de la población de Los Nevados de Chillán esto es altamente probable si se considera la persistencia de hembras al interior del grupo familiar hasta su edad reproductiva y el bajo tamaño poblacional en esta área. Resultados preliminares para secuencias del citocromo b y la región de control indican valores extremadamente bajos de variabilidad genética, lo que concuerda con la hipótesis de un alto grado de endogamia (Alfonso Jara, datos no publicados).

Limitaciones y futuras mejoras del modelo

Una de las limitaciones importantes que tiene el modelo utilizado es que se ignoran los efectos de la endogamia, lo que es importante para evaluar proyecciones más realistas sobre la viabilidad de la población. Por otra parte, se ignora las interacciones con otras especies coexistentes. Por ende, entre las futuras mejoras del modelo cuenta el agregar el componente genético. Según Pereverzoff y Ackerman (1998) en el caso del estudio de la pantera de Florida (*Felis concolor coryi*) esta sería la variable de mayor relevancia.

En este mismo sentido, para algunas de las poblaciones de *H. bisulcus* es esperable problemas por consanguinidad (*inbreeding depression*) dada la dramática disminución en el número de individuos al interior de los grupos poblacionales y la pérdida de conectividad entre ellos, como es el caso de Los Nevados de Chillán. El mecanismo subyacente estaría dado por expresión de material genético deletéreo debido a la reproducción entre individuos cercanamente emparentados. Esto a menudo

resulta en la reducción de la fertilidad, el nacimiento de cervatillos débiles y animales adultos estériles o con menor viabilidad (Primack, 2000). Sería además conveniente incluir las interacciones con otras poblaciones, especialmente exóticas, y evaluar en qué grado afecta la competencia (cabras, vacas, ciervos exóticos), tanto por alimento (López *et al.*, 2001) como la posible superposición entre sus ámbitos de hogar (Aldridge y Montecinos, 1988). También sería conveniente incorporar información detallada sobre el movimiento de individuos entre los distintos fragmentos, con el fin de realizar aproximaciones metapoblacionales.

Estado actual de la población

El gran problema en la mayoría de los casos de especies en peligro de extinción, es la dificultad de acceder a los parámetros demográficos, los que muchas veces no se llegan a conocer. Esto se debe principalmente a la dificultad del seguimiento de tales especies a través del tiempo. Por tales causas, Thorsten Wiegand (comunicación personal) señala que se propagan errores en las estimaciones de la viabilidad. En los estudios de conservación y trabajo con especies en peligro de extinción como el de Wiegand *et al* (1998) en el caso del oso pardo de la Cordillera Cantábrica de España, los autores señalaron que el principal problema enfrentado al realizar un análisis de viabilidad poblacional a lo largo del tiempo fue la determinación de los parámetros demográficos. Para el caso del huemul existen estimaciones demográficas para un periodo de 27 años (Povilitis, 2002), con lo que fue posible hacer una buena aproximación a los requerimientos del modelo. De acuerdo a la tendencia poblacional, se pudo apreciar una disminución progresiva a través del tiempo, con un dramático declive a partir de los '90 y un subsiguiente periodo de estabilización relativa en los últimos dos años.

Las principales causas del declive poblacional en Chile Central estarían dadas básicamente por la acción antrópica. Inicialmente, la presión de la caza fue uno de los factores más importantes (Povilitis, 1977; López *et al.*, 2005). Luego, la constante pérdida y fragmentación del hábitat original por cambios del uso del suelo y el desarrollo recreativo en sectores de corredores de hábitat, contribuyeron a eliminar los movimientos de dispersión del huemul (Povilitis, 2002; Figueroa y López, 2006;). Adicionalmente, esta población se encuentra en un estado de "agujero depredador" que impide el aumento poblacional (Wotschikowsky, 2006). A esto se agregan las enfermedades transmitidas por animales exóticos desde el siglo XVIII (Aldridge, 1988; Povilitis, 1998). Por otra parte, proyectos de gran envergadura como fue la instalación (1993-1994) de un oleoducto que atravesó gran parte de la Reserva Nacional Ñuble, seguida por la instalación de un gasoducto que pasó por parte importante de un área de hábitat primario del huemul, sumadas a la explotación forestal, han degradado el hábitat del huemul en un mínimo de 4 sitios antes no afectados (Chillán, Renegado, Infiernillo y Diguillín; Povilitis, 2002). Aunado a los factores anteriores, las catástrofes climáticas también han contribuido sinérgicamente al descenso poblacional. Entre estas últimas cabe destacar una tormenta de nieve ocurrida en el área de estudio en el invierno de 1995 (con 5m de nieve en algunos sectores) y otros eventos climáticos como sequías y años con precipitaciones intensas que habrían extinguido localmente varios grupos de huemules. En relación a las implicaciones de las variaciones medioambientales y catástrofes climáticas, Picton (1978) consideró que las variaciones en los factores climáticos como la precipitación podrían usarse como un índice para la variación de disponibilidad de alimento y de este modo evaluar la incidencia de

los eventos medioambientales que afectan a la población. Este tipo de índice también se ha usado para varias especies de grandes ungulados, a fin de relacionar supervivencia de crías con abundancia de alimento.

Comentarios sobre estrategias de manejo

En la zona de Los Nevados de Chillán existen dos áreas silvestres protegidas, el Santuario de la Naturaleza Los Huemules de Niblinto y la Reserva Nacional Ñuble, que corresponden al área norte y sur respectivamente de la población de huemules. Por esta razón Povilitis (1998) recomendó conservar a esta especie en un contexto metapoblacional a través de la protección de estos dos núcleos de áreas bajo estricta vigilancia, complementando con la conectividad de esas dos áreas protegidas, lo que permitiría mantener un corredor biológico e incrementar el flujo génico entre los dos núcleos poblacionales. Sin embargo, la propuesta metapoblacional de Povilitis debe esperar porque los recursos son limitados y se requiere mayor énfasis en la restauración de los núcleos poblacionales, habilitándolos para poder ampliar la capacidad de carga dentro de las áreas protegidas. Paralelo a esto, Povilitis (1998) consideró que un programa de traslocación de ejemplares desde la zona más austral (Aysén) podría permitir el aumento del tamaño efectivo poblacional en Los Nevados de Chillán y permitir un intercambio intermitente entre pequeñas unidades subpoblacionales (McCullough, 1996; Soulé y Terborgh, 1999). Para esto último es necesario, entre otros, llevar a cabo estudios de los patrones de estructuración genética en todo el rango de distribución de la especie, así como estudios parasitológicos tanto en las poblaciones fuente como en la receptora.

La situación en la cual se encuentra la población de huemules en la zona de Los Nevados de Chillán hace im-

periosa la necesidad de realizar actividades de manejo con urgencia pues, de lo contrario, si la estocasticidad ambiental y demográfica junto a la fuerte presión antrópica continúan, la tendencia poblacional tendrá resultados irreversibles en el tiempo. Este trabajo muestra una visión de la situación real de la especie en la zona central de Chile y, complementariamente, el modelo de simulación sugiere la inminente extinción del huemul dentro de los próximos 30-40 años o incluso antes, de acuerdo a estimaciones teóricas, si no se ejecutan planes de conservación en el muy corto plazo. Los factores estocásticos, por definición, no se pueden predecir ni manejar, pero los de origen antrópico, tales como cambios en el uso del suelo e introducción de fauna exótica, sí pueden ser intervenidos. Sobre esta base se sugiere ampliar las áreas de hábitat, establecer y conservar corredores entre fragmentos, mayor control en los nacimientos y programas de cría asistido, y aumentar el número de individuos a través de la traslocación desde la población sur, si los antecedentes genético-poblacionales lo avalan.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el aporte de información del Proyecto Conservación del Huemul en Los Nevados de Chillán, de la Corporación Pro-Defensa de la Flora y Fauna (CODEFF), la Sociedad Zoológica de Frankfurt (Alemania) y a

la Corporación Nacional Forestal (CONAF) VIII Región. Esta publicación es parte del programa CIEP (Centro de Investigación de Ecosistemas Patagónicos) y fue financiada parcialmente por el proyecto DIUC 205.113.067.

REFERENCIAS

- Aldridge D (1988) Proyecto de Conservación del Huemul (*Hippocamelus bisulcus*) en Chile. *Med. Amb.* 9: 109-116.
- Aldridge D, Montecinos L (1988) Avances en la conservación del huemul (*Hippocamelus bisulcus*) en Chile. En Valverde V (Ed.) *La Conservación de la fauna nativa de Chile. Logros y Perspectivas*. CONAF. Santiago, Chile. pp. 133-148.
- Beier P (1993) Determining Minimum Habitat Areas and Habitat Corridors for Cougars. *Cons. Biol.* 7: 94-108.
- Beissinger S (1995) Modeling extinction in periodic environment everglades water levels and snail kite populations viability. *Ecol. Appl.* 5: 618-631.
- Cabrera A, Yepes J (1960) *Mamíferos Sudamericanos*. Argentina de Editores. Buenos Aires, Argentina. 370 pp.
- Crandall K, Bininda-Emonds O, Mace G, Wayne R (2000) Considering evolutionary processes in conservation biology. *Trends Ecol. Evol.* 17: 390-395.
- Figueroa R, López R (2006) *Fauna y Flora Terrestre con Prioridad de Conservación del Corredor Biológico Nevados de Chillán - Laguna del Laja*. CODEFF, Sociedad Zoológica de Frankfurt y Comisión Nacional del Medio Ambiente. Región del Bío-Bío, Chile. 173 pp.
- Frid A (2001) Habitat use by endangered huemul (*Hippocamelus bisulcus*): cattle, snow, and the problem of multiple causes. *Biol. Cons.* 100: 261-267.
- Glade A (1993) *Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Chile*. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 65 pp.
- IUCN (2006) *The IUCN red list of the threatened animals*. International Union for the Conservation of Nature. Gland, Switzerland. www.iucnredlist.org/search
- Knight R (1985) Populations dynamic of Yellowstone grizzly bears. *Ecology* 66: 323-334.
- López R, Figueroa E, Corales A, Trostel A, Alvarado S (2001) *Estudio del huemul en Los Nevados de Chillán- Laguna del Laja. Especial énfasis en el Santuario de la Naturaleza y Reserva Nacional "Los Huemules de Niblinto"*. CODEFF y Sociedad Zoológica de Frankfurt. Santiago, Chile. 32 pp.
- López R, Hinojosa A, Corales E, Faúndez R y Maldonado V (2005) *Estudio del huemul en los Nevados de Chillán - Laguna del Laja, Chile Central. Monitoreo y gestión para la conservación de las poblaciones de huemul en áreas protegidas y tierras de propiedad privada*. CODEFF (Corporación Pro Defensa de la Flora y Fauna) y Sociedad Zoológica de Frankfurt. Región del Bío-Bío, Chile. 49 pp.
- Lesica P, Allendorf F (1995) When are peripheral populations valuable for conservation? *Cons. Biol.* 9: 753-760.
- McCullough DR (1996) *Metapopulations and wildlife conservation*. Island Press. Washington, DC, EEUU. 429 pp.
- Nielsen J, Scott J, Aycrigg J (2001) Endangered species and peripheral populations: Cause for conservation. *Endangered Species Update* 18: 194-197.
- Nowak R (1999) *Walker Mammals of the World*. 6th ed. Vol. II. 1936 pp.
- Pereverzoff J, Ackerman J (1998) A study of the Florida panthers (*Felis concolor coryi*) population using a dynamic

modelling system. www.unbc.ca/~ackerman/envs406-term-paper.

- Picton H (1978) Climate and reproduction of grizzly bears in Yellowstone National Park. *Nature* 274: 888-889.
- Povilitis A (1977) *Investigación del Huemul con especial referencia a su protección y conservación, septiembre 1974 a diciembre 1976*. CONAF. Santiago, Chile. 41 pp.
- Povilitis A (1998) Characteristics and conservation of a fragmented population of huemul *Hippocamelus bisulcus* in central Chile. *Biol. Cons.* 86: 97-104.
- Povilitis A (2002) El estado actual del huemul (*Hippocamelus bisulcus*) en Chile central. *Gayana*. 66: 59-68.
- Primack R (2000) *A Primer of Conservation Biology*. 2^a ed. Sunderland, MA. EEUU. 325 pp.
- Sokal R, Rohlf F (1995) *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. Freeman. Nueva York, EEUU. 832 pp.
- Soulé M, Terborgh J (1999) *Continental Conservation*. Island Press. Washington, DC, EEUU. 238 pp.
- Templeton A (2006) *Population Genetics and Microevolutionary Theory*. 1^a ed. Wiley. Nueva York, EEUU. 720 pp.
- Wiegand T, Naves J, Stephan T, Fernández A (1998) Assessing the risk of extinction for the Brown Bear (*Ursus arctos*) in the Cordillera Cantabrica, Spain. *Ecol. Monogr.* 68: 539-570.
- Wiegand T, Jeltsch F, Hanski I, Grimm V (2003) Using pattern-oriented modeling for revealing hidden information: a key for reconciling ecological theory and application. *Oikos* 100: 209-222
- Wotschikowsky U (2006) Deer in a Predator Pit. En *FZS GORILLA*. Frankfurt Zoological Society Newsletter N°1/2006.