

## MODELO MATEMÁTICO PARA ANALIZAR LA DINÁMICA POBLACIONAL DEL GUANACO (*LAMA GUANICOE*) EN UN ESTABLECIMIENTO AGROPECUARIO EN LA PROVINCIA DE NEUQUÉN

Mauro Andrés Nardín.<sup>1</sup>

Mario Ignacio Simoy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Cs. Humanas, UNICEN, Tandil

<sup>2</sup> Facultad de Cs. Exactas, UNICEN, Tandil

mauronardin@hotmail.com ignacio.simoy@gmail.com

Palabras clave: *Guanaco, manejo de fauna silvestre, conservación, modelo matemático.*

### Resumen

El guanaco (*Lama guanicoe*) es el ungulado silvestre de mayor rango de distribución de Sud América, encontrándose principalmente en la zona patagónica argentina. Sin embargo, desde la llegada del hombre blanco ha visto reducir sus poblaciones significativamente. Como dicho animal posee una fibra de alto valor comercial, desde diversos organismos e instituciones se propone la esquila y liberación de individuos silvestres como estrategia para promover su conservación. Para proyectar la sustentabilidad de la explotación de una población silvestre bajo manejo, habrá que estimar el tamaño de la misma y modelar su evolución.

El presente trabajo trata sobre la elaboración de un modelo matemático para simular la dinámica de una población de guanacos en la provincia de Neuquén. El resultado será el desarrollo de una herramienta que permita la utilización bien planificada del guanaco como recurso renovable, para justificar económicamente su conservación frente a la competencia de la producción bovina/ovina tradicional.

El modelo poblacional está estructurado en 4 clases de edades: Chulengos, Juveniles, Adultos Jóvenes y Adultos Mayores y se lo ha parametrizado con datos de tasas vitales de esta especie obtenidos de la bibliografía científica. Se lo ha validado con datos poblacionales de establecimientos patagónicos y se han realizado los correspondientes análisis de sensibilidad y elasticidad para determinar cuales parámetros son los más importantes a cuidar para una explotación sustentable del recurso.

El cálculo de la tasa de crecimiento poblacional, a partir de las tasas de fecundidad y de supervivencia en este caso de estudio, da como resultado una población en crecimiento. Esto permite la inclusión en el modelo de la opción de cosecha de algunos individuos atendiendo a la conservación. Este se utiliza también para analizar los efectos en la población de la extracción de Chulengos.

### Introducción al problema

A diferencia de la oveja, una de las bases de la economía patagónica, el guanaco es autóctono de esa región. Por distintos motivos; entre ellos la introducción de ganado doméstico, la construcción de alambrados, caminos y otras vías de comunicación que han generado modificación y fragmentación del hábitat; la colonización europea colaboró mucho en la retracción de las poblaciones de guanacos, que han tenido una disminución importante desde fines del siglo XIX (Nugent et al., 2006, p.137-149).

El guanaco (*Lama guanicoe*) es un herbívoro que pertenece a la familia Camelidae, posee alta adaptabilidad a distintos ambientes y ocupa hábitats muy diversos. Se estima que la superficie ocupada hoy por la especie se retrajo entre 58 % (Cunazza et al., 1995) y 72 % (Puig, 1992) en relación a tiempos históricos. Si bien la distribución original previa a la llegada de la colonización cubría buena parte del territorio nacional, hubo un claro retroceso y actualmente las poblaciones más abundantes se encuentran en la región Patagónica (Marchetti et al., 1992, De Lamo, 1997).

Hasta 1992 al guanaco se lo cazaba, cumpliendo así con el doble objetivo de obtener cuero y reducir la competencia por pasturas con las especies domésticas. A partir de ese año la Convención sobre Comercio Internacional de Especies en Peligro de Extinción (CITES) incluye al guanaco en su Apéndice II junto a aquellas especies que aunque no se encuentran necesariamente en peligro de extinción, debe controlarse el comercio de las mismas a fin de evitar una utilización incompatible con su supervivencia. A partir de ese momento las provincias patagónicas adoptaron criterios restrictivos para la especie *Lama guanicoe*. En el 2003 se establecieron las regulaciones que rigen en jurisdicción federal de los productos y subproductos del guanaco provenientes de la esquila de animales vivos. En el 2006 se aprobó y publicó un plan de manejo nacional para la especie (Resolución Nro: 477/2006. Sancionada el 18/05/2006 y publicada en el Boletín Oficial el 31/05/2006).

En esta nueva coyuntura se propuso el uso racional del recurso, contemplando la conservación de la especie y los aspectos productivos de la misma. Así surgió la esquila de guanacos silvestres sin dañar las poblaciones, ya que se lo captura, se le extrae la fibra y luego se lo retorna a su estado de silvestría.

La potencialidad económica del guanaco reside en su fibra, ya que, entre otros atributos, la posee de muy alta calidad y se cotiza bien en los mercados europeos. El vellón posee una doble cobertura: una primera capa de pelos que suelen ser más rojizos, largos y gruesos que el resto, denominada cobertura alta; y una segunda, que es la cobertura baja, la cual se caracteriza por tener pelos más cortos y finos que a su vez son más suaves. La finura varía entre 14 y 18 micrones, engrosándose como en otras especies cuando los animales llegan a adultos. El largo de mecha de la cobertura baja oscila alrededor de los 27 mm (+/- 5mm) (Von Thüngen, 2003).

Para establecer la actividad productiva de esquila de guanacos silvestres en un marco de sustentabilidad debe asegurarse la estabilidad de la población que será sometida al proceso de manejo, previo al análisis de la rentabilidad del negocio de venta de fibra.

El objetivo de este trabajo es demostrar la viabilidad ecológica de una población de guanacos en estado de silvestria que actualmente se encuentra bajo un proceso de manejo.

#### Area de estudio

El presente trabajo se origina en actividades de campo; llevadas a cabo por Mauro Nardin, en el contexto de una pasantía con el INTA EEA-Bariloche; realizadas en el establecimiento agropecuario Achecó, que se ubica en la provincia de Neuquén, departamento de Collón Curá, aproximadamente a 30 km al suroeste de la localidad Piedra del Águila, cabecera de dicho departamento. Su límite oriental son las márgenes del cuerpo de agua del Embalse Piedra del Águila, del lado neuquino. Dicho embalse determina el límite físico entre las provincias de Neuquén y Río Negro. Desde el punto de vista biogeográfico, se localiza en la Provincia Patagónica, distrito occidental (Cabrera y Willink, 1980. p 122), colindando de manera muy cercana con el ecotono Monte Patagonia de estepa arbustiva. (Leon et al., 1998. p 125 – 144).

De acuerdo a León et al. (1998), a escala regional, en la Patagonia extraandina se pueden caracterizar diferentes unidades fisionómico florísticas con caracteres adaptativos a condiciones de aridez, así como zonas ecotonales limitando con distritos fitogeográficos. Según dichos autores el distrito occidental se ubica al oeste del meridiano 70, no obstante, se extiende a veces hacia el oriente en ambientes serranos o mesetiformes. Se caracteriza por una estepa arbustivo graminosa de 0.60 a 1.80 mts con una cobertura aproximada de 50%, dicho promedio aumenta sustancialmente en los sectores de mallines. Aparte, Paruelo et al. (1998) realizaron una clasificación de ecosistemas de Patagonia basados en atributos funcionales en base a índices de vegetación calculados por datos espectrales. De acuerdo a esto, en la zona que interesa a los fines del presente trabajo del departamento de Collón Curá coexisten diferentes biozonas, las mismas son: Monte estepa y Estepa Arbustiva graminosa. Algunas de las especies típicas mencionadas para el área por Rolando León et al. (1998) son *Mulinum spinosum* (neneo); varias conocidas vulgarmente como coirón, del género *Stipa*, *Festuca* y *Poa* (coirón blanco, llama, amargo, poa); *Colliguaya integerrima* (duraznillo), *Senecio bracteolatus* y *S. filaginoides* (charcao verde y gris); entre otras. Esta información es de suma confiabilidad para contextualizar el área de estudio ya que en general, los mismos géneros son enumerados en un informe de vegetación realizado en el establecimiento agropecuario Achecó durante el 2010 (Ricci, 2010).

## **Materiales y Métodos**

### *Estimación de población*

Para estimar el tamaño de la población de guanacos, se tomo el número de individuos registrado a partir de transectas realizadas en el establecimiento rural productivo.

Por motivos prácticos un recuento completo por lo común es imposible o en extremo costoso, por ende, debe tomarse algún tipo de muestras de la población. En el caso del presente trabajo el muestreo de campo consiste en seguir un recorrido en automóvil con paradas sucesivas, las cuales se realizan exclusivamente cuando son divisados animales. Sistemáticamente se registra a un lado y otro de la transecta (camino seguido por el vehículo) el número de animales presentes y la distancia perpendicular, tomada mediante un telémetro, al observador. Cada recuento se considera una muestra. El número contado es un verdadero censo pero realizado solamente en una porción representativa del área total ocupada por el establecimiento.

La información recopilada en campo es la clave para estimar la población total de guanacos presentes en Achecó. Para el presente trabajo se estimó la abundancia por el método propuesto por Davis y Winstead (1980). La formula aplicada para determinar el tamaño de la población es la siguiente:

$$P = A * Z / 2 * Y * X$$

Donde:

P: Población

A: Área total estudiada

Z: Número de individuos observados dentro de los límites

Y: Promedio de las distancias de escape

X: Longitud de la franja

Dicha formula considera que la población para el área total surge del numero de animales observados dividido por el área de la franja y multiplicado por el área total.

La formula propuesta se basa en tres supuestos: 1) que el número de animales de una población variará en función de las distancias y ángulos de escape. 2) que los animales están distribuidos al azar; 3) que el promedio de distancias de escape es representativo del promedio de dicha distancia para la población total. Se asume que los dos supuestos primeros son correctos, y el tercero "parece ser falso". El promediar distancias de escape de animales, desde la línea central del recorrido, da una franja erróneamente angosta y por ende una estimación de población muy alta.

Según los autores mencionados, la formula puede ser cambiada para corregir el ángulo de escape. Utilizar el promedio de distancias de escape desde la línea de observación, da una franja angosta y por lo tanto una valoración poblacional muy elevada. Una forma de compensar esto puede ser utilizar el ancho cubierto mediante un proceso que incorpora la experiencia del observador.

En este caso, la distancia máxima considerada a ambos lados es de 601 metros, (aunque si bien se tomaron datos en distancias superiores, se decidió truncar los registros para valores de avistaje extremos) valor fijado por el observador, en función de la confiabilidad del dato por avistaje visual, ya que más allá de este valor pueden pasarse por alto algunos animales o el eventual recuento de una majada ubicada a tanta distancia puede resultar equivocada.

Utilizando el método adecuado para este tipo de situaciones según Davis y Winstead (1980), se pudo estimar la población en 2429 individuos. Considerando una estructura estable de la población, el modelo permite establecer que esta población se compone de aproximadamente 600 Chulengos, 410 Juveniles, 1241 Adultos Jóvenes y 178 Adultos Mayores. En campo resulta en extremo dificultoso disgregar los individuos observados en clases de edades, por lo cual, si bien no se tuvo en cuenta una separación en estadios tal como se plantea en el modelo, la estructura estable de la población obtenida con el modelo parece razonable y se corresponde con los datos disponibles en la bibliografía sobre esta especie.

### Modelo

Para determinar si la población bajo estudio puede ser explotada en forma sustentable se construyó un modelo poblacional estructurado en cuatro clases de edad: Chulengos, Juveniles, Adultos y Adultos Jóvenes, con significado biológico. El grafo asociado al ciclo de vida del guanaco se muestra en la Figura 1.

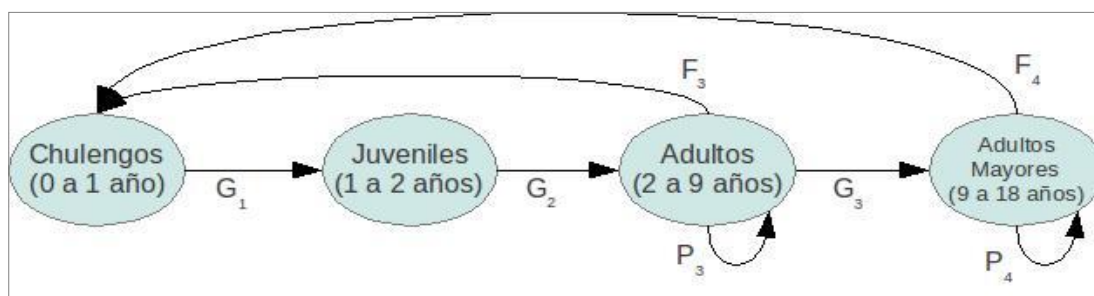


Figura 1. Grafo que representa el ciclo de vida del guanaco.

En la Figura 1,  $G_i$  representa el porcentaje de individuos que sobreviven del estadio  $i$  al estadio  $i+1$ . En nuestro caso  $G_1$  es el porcentaje de Chulengos que llegan a ser Juveniles. El parámetro  $F_i$  es la fertilidad de la clase  $i$ , mientras que el parámetro  $P_i$  corresponde a la supervivencia en el estadio  $i$ . No hemos contemplado la posibilidad de que los individuos Juveniles se reproduzcan debido a que las tasas vitales y los tiempos de preñez lo hacen casi imposible.

Se eligió un modelo discreto de paso anual dado que los nacimientos se producen estacionalmente en primavera y se censa a la población con la misma frecuencia. Este modelo se expresa en términos de una matriz cuyos coeficientes se calcularon a partir de datos bibliográficos (Raedeke, 1979. p 409; Fritz, 1985. p 59; Tavarone 2004, p 26) sobre tasas vitales.

Teniendo en cuenta estas aclaraciones, la matriz con la que modelamos la dinámica poblacional es

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & F_3 & F_4 \\ G_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G_2 & P_3 & 0 \\ 0 & 0 & G_3 & P_4 \end{pmatrix} \quad \square$$

De manera que el modelo resulta

$$N(t+1) = A \cdot N(t)$$

donde

$$N(t) = \begin{pmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ n_3(t) \\ n_4(t) \end{pmatrix}$$

representa el número de individuos en cada uno de los estadios en el año  $t$ .

Cuando la población crece es posible contemplar una cosecha introduciendo esta en el modelo a través de una matriz

$$H = \begin{pmatrix} h_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_4 \end{pmatrix}$$

que contiene en cada coordenada  $h_i$  la proporción de individuos extraídos de la clase  $i$ .

Para construir la matriz de proyección poblacional con la incorporación de la cosecha consideraremos que la cantidad de individuos cosechados (Federico y Canziani, 2005. p 111–121), en un tiempo  $t + 1$ , se determina mediante la ecuación

$$N_{cosechado}(t+1) = H \cdot A \cdot N(t)$$

Así, la población total (incluida la cosecha) en un tiempo  $t + 1$ , será

$$N(t + 1) = A \cdot N(t) - N_{\text{cosechado}}(t) = A \cdot N(t) - H \cdot A \cdot N(t) = (I - H) \cdot A \cdot N(t)$$

Si desarrollamos el resultado final de la ecuación anterior, tendremos que

$$N(t) = (I - H) \cdot A \cdot N(t - 1) = \left( \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} h_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_4 \end{pmatrix} \right) A \cdot N(t - 1)$$

Es decir que el modelo poblacional con cosecha queda formulado:

$$N(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & (1 - h_1)F_3 & (1 - h_1)F_4 \\ (1 - h_2)G_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (1 - h_3)G_2 & (1 - h_3)P_3 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - h_4)G_3 & (1 - h_4)P_4 \end{pmatrix} \cdot N(t - 1)$$

### Datos

Para calcular los coeficientes de la matriz hemos considerado la curva de supervivencia que se muestra en la Figura 2. Para esto, se ha tomado el trabajo de Puig y Videla (1998, p 57–65) basado en los datos de Raedeke (1979, p 409) para una población de guanacos en Tierra del Fuego y de Fritz (1985, p 59) para una población en Torres del Paine, Chile considerando que estos datos son válidos para toda la región patagónica, y en particular para poblaciones neuquinas.

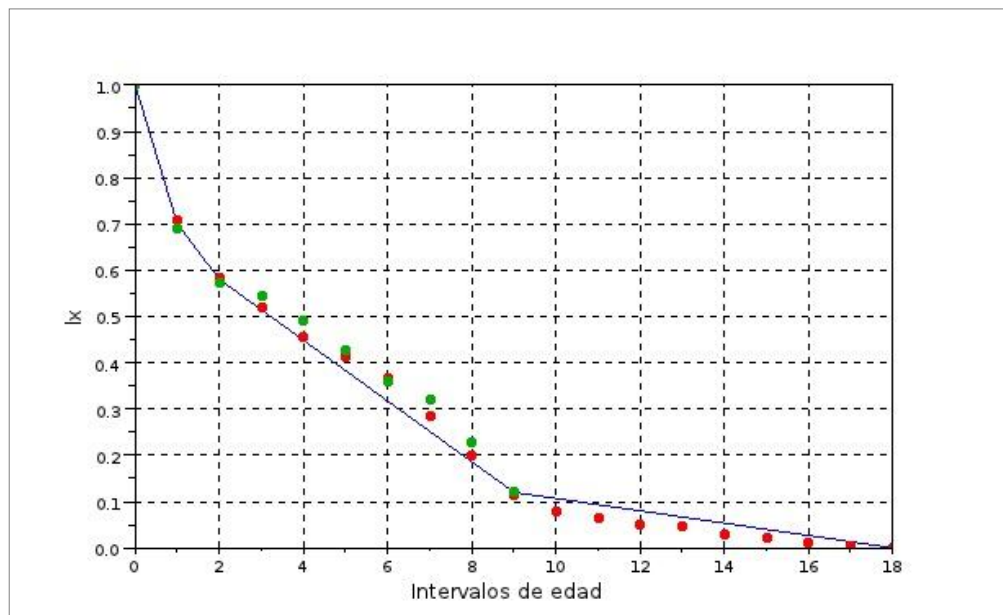


Figura 2. En azul curva de supervivencia del guanaco utilizada para la obtención de las tasas vitales del modelo. En rojo curva de supervivencia obtenida por Raedeke (1979, p 409) y en verde curva de supervivencia obtenida por Fritz (1985, p 59).

De la curva anterior se extrae la probabilidad de supervivencia de un individuo desde el nacimiento hasta la edad  $x$ . Las mismas se detallan en la tabla siguiente.

Edad del individuo	lx (prob. de sobrevivir desde el nacimiento hasta la edad x)
0	1
1	0.7
2	0.58
9	0.12
18	0

Tabla 1. Probabilidades de supervivencia por edades.

A partir de esta tabla, se calculan los valores correspondientes a los parámetros  $G_i$  y  $F_i$ . Para esto se introducen dos parámetros nuevos, que se llamarán

$$\sigma_i = P(\text{que un individuo sobreviva en el estadio } i)$$

$$\gamma_i = P(\text{que un individuo crezca del estadio } i \text{ al } i + 1 \text{ dado que sobrevivió})$$

En términos de estos dos nuevos parámetros, las tasas de crecimiento y permanencia quedan expresadas como sigue (Caswell, 1989. p 328.):

$$G_i = \sigma_i \cdot \gamma_i$$

$$P_i = \sigma_i (1 - \gamma_i)$$

Los valores de las fertilidades  $F_3$  y  $F_4$  fueron extraídas de (Tavarone, 2004. p 26). Con estos parámetros calculados se obtuvo la siguiente matriz de proyección

$$A = \begin{pmatrix} 0. & 0. & 0.45 & 0.31 \\ 0.7 & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0.8285714 & 0.7505509 & 0. \\ 0. & 0. & 0.0479042 & 0.6908656 \end{pmatrix}$$

## Resultados

Una vez calculada la matriz de proyección para la población de guanacos bajo estudio se procedió a hacer el correspondiente análisis.

La tasa de crecimiento de la población se obtiene del cálculo del autovalor dominante de la matriz, que en este caso es  $\lambda = 1.0240728$ .

Este valor de  $\lambda$  implica que la población tiene un crecimiento anual del 2.4%. Consideramos que esta tasa de crecimiento no es demasiado grande, con lo cual, la cosecha que se pueda hacer de la población tampoco comprenderá un gran número de individuos.

Con este autovalor  $\lambda$ , se calculan los autovectores a derecha  $w$  y a izquierda  $v$  correspondientes:

$$v = (0.1922537, 0.2812597, 0.3476229, 0.1788636)$$

$$w = (0.2467992, 0.1686984, 0.5110328, 0.0734696).$$



El autovector a la izquierda  $v$  representa el valor reproductivo de cada estadio. Del autovector izquierdo calculado se deduce que el estadio con mayor valor reproductivo es el correspondiente a los individuos Adultos Jóvenes. Esto tiene sentido debido a que es el estadio con la fecundidad más alta. Por otro lado, se observa que los individuos mayores a nueve años son los que tienen menor valor reproductivo, a pesar de estar todavía en edad reproductiva. Esto se debe a que la probabilidad de que un individuo crezca hasta llegar al último estadio del ciclo de vida es muy baja.

El autovector a derecha  $w$  representa la estructura de la población estable. Esto quiere decir que cuando la población alcanza un equilibrio con un total de 100 individuos, por ejemplo, éstos quedarán distribuidos según el vector  $100w = (24.68, 16.87, 51.10, 7.34)$  que redondeado a valores enteros significa 25 Chulengos, 17 Juveniles, 51 Adultos Jóvenes y 7 Adultos Mayores (Figura 3). Los porcentajes de la estructura estable se mantienen en el tiempo aunque crezca el número total de individuos.

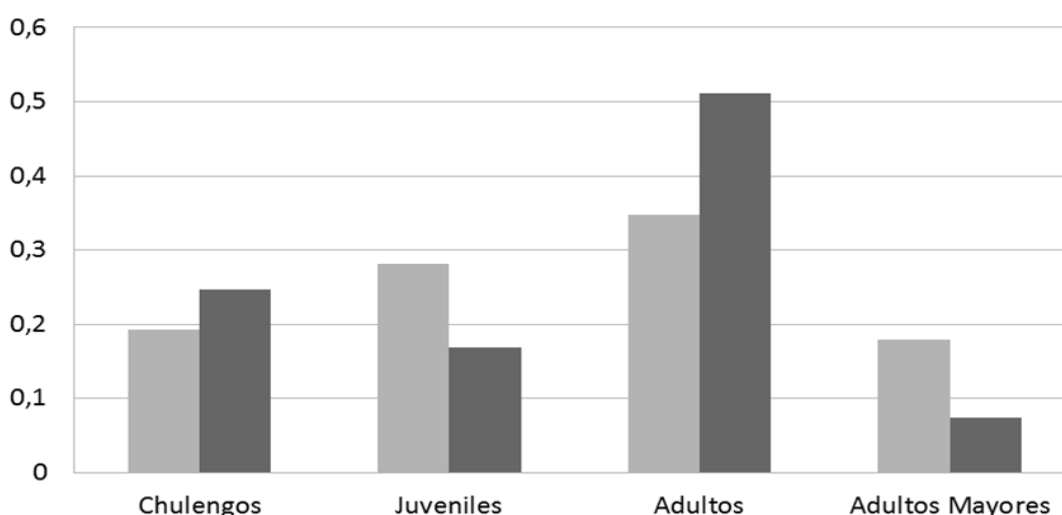


Figura 3. Representación del valor reproductivo (gris claro) y de la distribución estable (gris oscuro) para cada estadio.

Una vez calculado el autovalor dominante y los autovectores correspondientes, se procede a calcular los coeficientes de elasticidad. Estos sirven para saber en qué medida cada parámetro vital de la matriz contribuye al autovalor  $\lambda$ , es decir a la tasa de crecimiento.

La matriz de elasticidad  $E$  contiene en la posición  $i,j$  el coeficiente  $e_{ij}$ , que indica la proporción en que el parámetro  $a_{ij}$  de la matriz de proyección  $A$  contribuye al valor  $\lambda$ , es decir a la tasa de crecimiento de la población.

La matriz de elasticidad en este caso es:

$$E = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.1511191 & 0.0149668 \\ 0.1660859 & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0.1660859 & 0.4557438 & 0. \\ 0. & 0. & 0.0149668 & 0.0310318 \end{pmatrix}$$

De esta matriz se observa que el parámetro que más contribuye a la tasa de crecimiento es el relacionado con la permanencia en el tercer estadio  $P_3$  (Figura 4). Por otro lado, es



interesante ver que los parámetros relacionados al último estadio son los que menos contribuyen al autovalor.

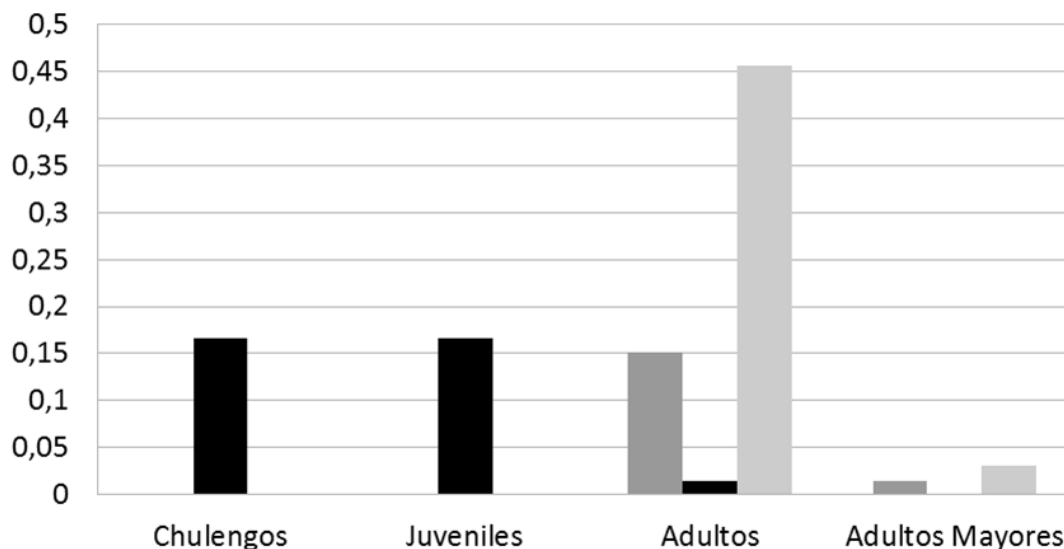


Figura 4. Representación de los coeficientes de elasticidad de crecimiento (negro), permanencia (gris oscuro) y fertilidad (gris claro) para cada estadio.

Un esquema de explotación se considera sostenible cuando sólo se extrae lo que la población alcanzó a crecer durante el año, o en otras palabras, cuando la tasa de crecimiento neta mantiene un valor igual o mayor a uno (Simoy, 2002. p 92.). Para un mejor análisis se consideran escenarios de cosecha que abarcan un solo estadio, definiendo los criterios que aseguren sostenibilidad. De esta consideración se desprenden cuatro escenarios posibles de cosechas.

Se considerará que un porcentaje de cosecha para un determinado estadio  $h_i$  es óptimo cuando el mismo permite cosechar la mayor cantidad posible de individuos de la clase manteniendo la tasa de crecimiento o el autovalor dominante  $\lambda$  igual o mayor a uno.

El vector de cosecha  $h$  tendrá una expresión simplificada debido a que todas las componentes serán nulas, excepto la correspondiente al estadio que se estará cosechando. Por ejemplo en la cosecha de Chulengos se tiene  $h = (h_1, 0, 0, 0)$ .

De aquí en adelante, haremos referencia a  $h$  para designar el porcentaje de cosecha, en lugar de  $h_i$  debido a que en cada escenario se cosechará solamente una clase de edad.

Para visualizar los resultados de los cálculos se grafica la tasa de crecimiento neto en función del porcentaje de individuos cosechados.

#### Escenario de cosecha de Chulengos.

Consideramos en este escenario la cosecha sólo de los individuos del primer estadio del ciclo de vida. Como se puede observar en la Figura 5, el valor de  $h$  óptimo será  $h = 0.135$ . Con este valor de  $h$ , tasa de crecimiento correspondiente a la matriz  $A_c$  resultante

tendrá un valor  $\lambda = 1.0002642$  el cual es muy cercano a uno por lo que la población se mantiene estable.

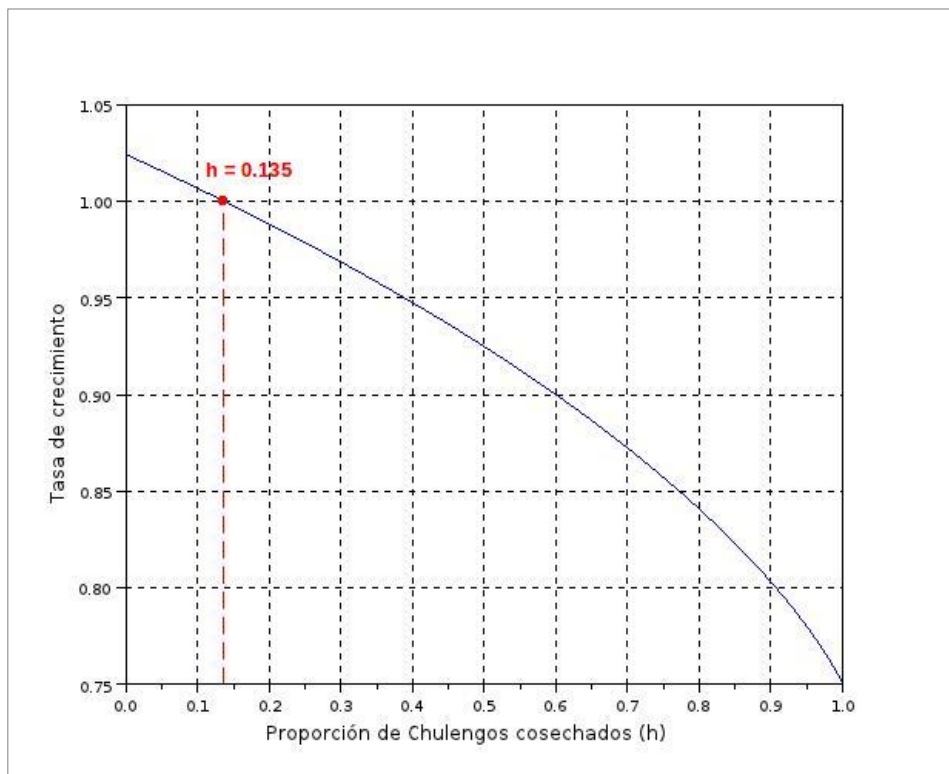


Figura 5. Tasa de crecimiento de la población en función de la proporción de Chulengos cosechados.

Para calcular la cantidad de individuos cosechados, se considera

$$N_{\text{cosechado}}(t+1) = H \cdot A \cdot N(t).$$

Con lo cual, los cálculos resultan en que la cantidad de individuos cosechados será sólo de 4 individuos.

#### Escenario de cosecha de Juveniles.

En este caso, se considera que la cosecha se aplica sobre individuos Juveniles de la población. En la Figura 6, se observa que es igual al gráfico del escenario anterior. Con lo cual, el porcentaje óptimo resulta nuevamente  $h = 0.135$ .

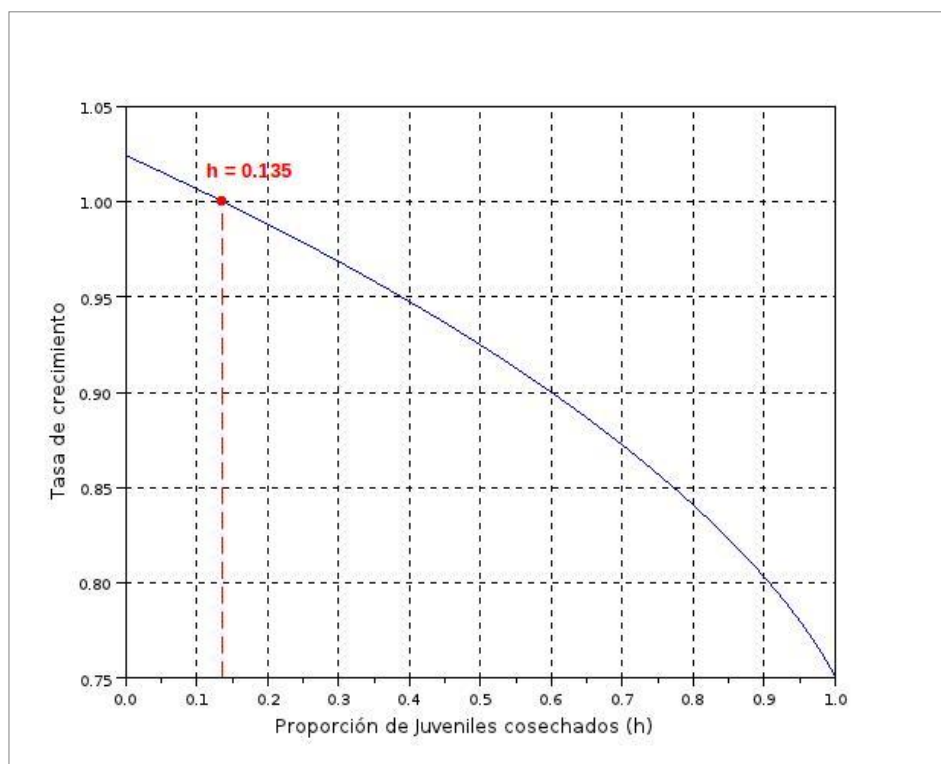


Figura 6. Tasa de crecimiento de la población en función de la proporción de Juveniles cosechados

Al coincidir el porcentaje de cosecha óptimo, se tiene el mismo valor de  $\lambda$ , es decir  $\lambda = 1.0002642$ .

Sin embargo en este caso la cantidad de individuos cosechados sosteniblemente, considerando una población de 100 individuos y procediendo de forma similar que en el escenario anterior, será sólo de 2 puesto que el conjunto de Juveniles tiene menos integrantes que el de Chulengos.

#### Escenario de cosecha de Adultos Jóvenes.

Este escenario contempla la cosecha de individuos correspondientes al tercer estadio del ciclo de vida. De la Figura 7 se deduce que el valor de la proporción de cosecha óptima es  $h = 0.0375$ . Con este valor de  $h$  se construye la matriz  $A_c$ , cuyo autovalor dominante es  $\lambda = 1.0002649$  que es prácticamente uno, tal como se esperaba.

Como se observa en la Figura 7, la curva decrece más rápidamente que la correspondiente a los dos escenarios anteriores para porcentajes de cosecha inferiores a 0.5. Luego, la misma tiende a estabilizarse. Dado que para valores donde comienza a estabilizarse la curva la tasa de crecimiento ya es inferior a uno, no es interesante un análisis de esta estabilidad. Lo que interesa analizar es el decrecimiento de la misma, en comparación con los gráficos correspondiente a los escenarios anteriores.

Del desarrollo de la matriz  $A_c$ , se observa que la cosecha referida al tercer estadio del ciclo de vida afecta al parámetro  $P_3$ , cuyo coeficiente de elasticidad es el más grande (aproximadamente tres veces el valor de la elasticidad de  $G_I$ , el parámetro que se afecta

en la cosecha de Juveniles). De esta forma, al modificar este parámetro de la matriz, se está afectando en mayor medida el valor de la tasa de crecimiento  $\lambda$  (comparándolo con los escenarios anteriores) y por ello decrece más rápidamente.

Si nuevamente se considera una población de 100 individuos, la cantidad que puede ser cosechada sosteniblemente será de 2 individuos Adultos Jóvenes.

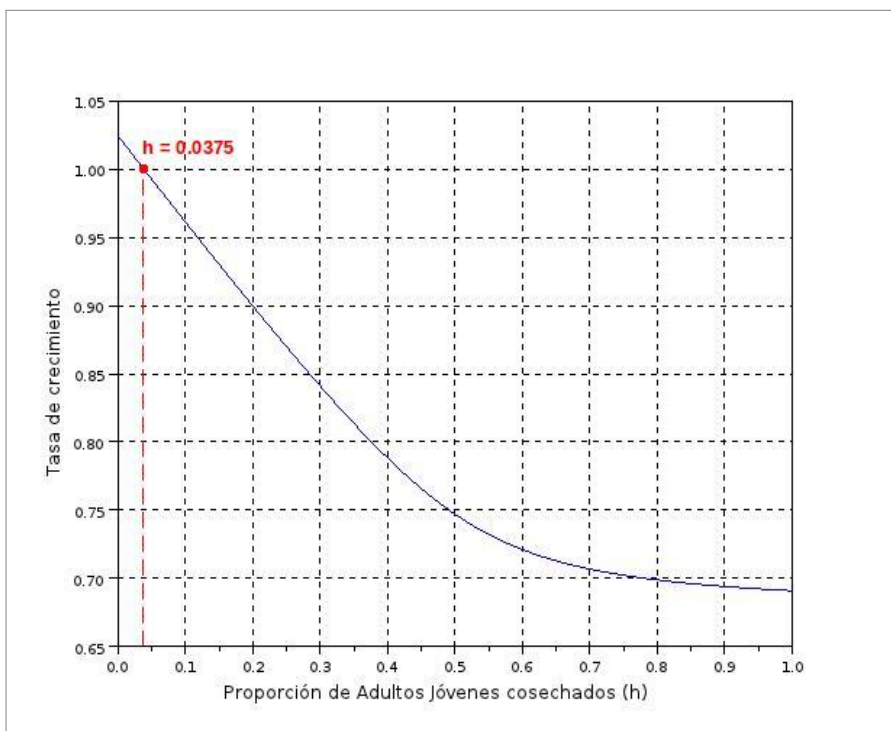


Figura 7. Tasa de crecimiento de la población en función de la proporción de Adultos Jóvenes cosechados

#### Escenario de cosecha de Adultos Mayores.

En este último escenario consideramos la extracción de individuos Adultos Mayores. Este es un escenario que difiere a los anteriores ya que la proporción óptima de cosecha resulta ser uno (Figura 8). Esto significa que se puede extraer de la población a todos los individuos mayores a nueve años y la misma permanecerá estable.

Esto se debe a que la tasa de crecimiento de la población con cosecha (autovalor dominante de la matriz resultante  $A_c$ ) se mantiene siempre por arriba del valor uno, como se observa en la Figura 8. El valor de  $\lambda$  considerando la cosecha  $h$  óptima igual a 1 (la totalidad de los individuos adultos mayores) es  $\lambda = 1.0076188$  es decir que la población crecería de todas maneras, aunque poco.

Una de las razones por las que esto puede suceder es que el porcentaje de cosecha de Adultos Mayores está afectando a los parámetros  $P_4$  y  $G_3$  los cual tienen coeficientes de elasticidad muy bajos, con lo cual contribuyen poco al valor de  $\lambda$ .

En este último escenario, la cantidad de cosechados (nuevamente en una población de 100) será sólo de 3 a pesar de estar cosechando toda una clase de edad. Esto se debe a que son pocos los individuos que llegan a cumplir nueve años o más.

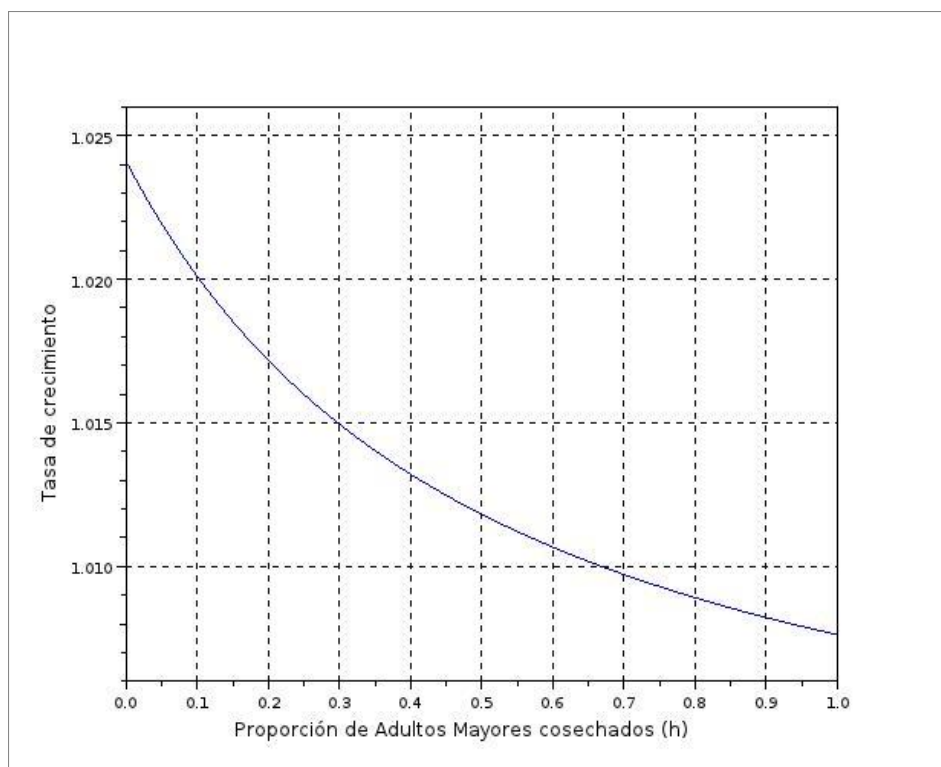


Figura 8. Tasa de crecimiento de la población en función de la proporción de Adultos Mayores cosechados

### Discusión y Conclusiones

Como se ha podido demostrar, la población crece aunque poco, a un ritmo de 2,4 % anual. Este resultado restringe el margen de extracción de individuos y obliga a poner especial atención al manejo para que sea eficiente y sustentable.

Cabe señalar la importancia que tiene para el crecimiento de la población la supervivencia de los Adultos Jóvenes, tal como lo indica el alto valor del coeficiente de elasticidad de este parámetro relativamente a los de los otros parámetros del modelo. En segundo lugar aparecen las supervivencias de Chulengos y Juveniles y recién en tercer lugar la fecundidad de los Adultos Jóvenes. La suma de la contribución a la tasa de crecimiento de estas tres componentes es del 48,3%, mientras que la sola contribución de la supervivencia de los Adultos Jóvenes es del 47,1%. La contribución de los Adultos Mayores, sumando supervivencia y fecundidad, es de apenas 4,6%. Este conocimiento es de fundamental importancia para la definición de estrategias de manejo, pues indica claramente que para asegurar el crecimiento de la población es necesario preservar a los Adultos Jóvenes. Dado que la fecundidad tiene un peso relativamente bajo, si se desea aumentar la tasa de crecimiento de la población por encima del 2,4% anual, será necesario elegir una estrategia que apunte a aumentar la supervivencia de Chulengos, Juveniles y Adultos Jóvenes en su conjunto.

Esta primera información permite considerar la actividad de esquila y liberación como viable para estas poblaciones. Una vez que se establece una primera aproximación a la dinámica poblacional, se pueden analizar distintos escenarios.

La información sobre proporciones de cosecha que aseguran la sostenibilidad permite considerar formas de manejo además de la esquila. Los resultados del modelo muestran

que es factible cosechar Adultos Mayores sin límite y también algunos Chulengos o Juveniles hasta un porcentaje preestablecido (13%), pero es recomendable no cosechar Adultos Jóvenes puesto que la contribución de esta clase en la reproducción es esencial. Según el análisis de extracción sostenible realizado, en este establecimiento y con la población mencionada, se podría extraer anualmente o bien 78 Chulengos, o bien 53 Juveniles sin que la población total decaiga.

Como consideración final, corresponde destacar la utilidad de la modelización como herramienta para sistematizar y analizar la información disponible, para planificar trabajos a campo, y como metodología para el análisis de escenarios posibles. En nuestro caso, la cuantificación que brinda el modelo permite evaluar que parámetros poblacionales son esenciales, así como considerar distintas estrategias posibles, contribuyendo al trabajo posterior de análisis de la rentabilidad del posible negocio de utilización sostenible del recurso.



Figura 9. Foto de guanacos en Achecó





Figura 10. Foto de corral de encierre de guanacos en Achecó



Figura 11. Foto de estepa, vista de lotes en Achecó. A la izquierda del alambrado hubo pastoreo de ovejas mientras que a la derecha no lo hubo.

### Agradecimientos

Los autores queremos expresar nuestro agradecimiento a Graciela Canziani por su apoyo, dedicación y acompañamiento en la elaboración del presente trabajo, a Julieta von Thüngen, directora de tesis de Mauro Nardin, por permitirle conocer el mundo del *Lama guanicoe*, a Susana Ricci por estar siempre disponible y a Verónica Simoy por su asesoría en la estimación de las tasas vitales y en la confección del modelo poblacional. M. Simoy agradece al Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable por brindarle un lugar de trabajo y acceso a la biblioteca.



## Bibliografía

- CABRERA, A. L.; WILLINK, A. 1980. *Biogeografía de América Latina*. 2º ed. O.E.A., Washington, D.C. 122 pgs.
- CASWELL, H. 1989. *Matrix Population Models*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, MA, 328 pgs.
- CUNAZZA C.; S. PUIG; L. VILLALBA, 1995. "Situación actual del guanaco y su ambiente", p 27-50. En: S. Puig (ed.) *Técnicas para el manejo del guanaco*. UICN. Gland, Suiza.
- DAVIS, D.E. y R.L. WINSTEAD. 1980. "Estimating the numbers of wildlife populations"; en Schemnitz, S.D. (ed.): *Wildlife Management Techniques Manual 4th Edition* (Capítulo 14): 221-245 pp. The Wildlife Society
- FEDERICO, P; CANZIANI, G.A. 2005. "Modeling the population dynamics of capybara *Hydrochaeris hydrochaeris*: a first step towards a management plan". *Ecological Modelling* 186. p 111 – 121.
- FRITZ, M., 1985. "Population dynamis and preliminary estimates of the harvestability of the patagonian guanaco". M.S. Thesis, Iowa State University, 59 pgs.
- DE LAMO, D.A., 1997. "Estado actual y perspectivas sobre el uso sustentable de poblaciones de camélidos silvestres. Guanaco (*Lama guanicoe*)". Actas del 2do Seminario Internacional de Camélidos Sudamericanos. p 37-44
- LEÓN R.J.C.; BRAN, D.; COLLANTES, M., PARUELO J.M.; SORIANO, A., 1998. "Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina". *Ecología Austral* Volumen 8, N° 2, p 125-144.
- MARCHETTI B.; OLTREMARI J.; PETERS H., 1992. "Estrategias para el Manejo y Aprovechamiento Racional del Guanaco (*Lama guanicoe*)". Documento Técnico N° 9. FAO – PNUMA. Nairobi (Kenya), 163 pgs.
- NUGENT, P. R.; BALDI, P.; CARMANCAHI, D.; DE LAMO, M.; FAILLA, P.; FERRANDO, M.; FUNES, S.; PUIG, S.; RIVERO, J.; VON THÜNGEN 2006. "Conservación del guanaco en la Argentina Propuesta para un plan nacional de manejo". P.137-149. En: Bolkovic, M. L. y D. Ramadori (eds.). *Manejo de Fauna Silvestre en la Argentina. Programas de uso sustentable*. Dirección de Fauna Silvestre, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Buenos Aires. 168 pgs.
- PUIG, S., 1992. "Diagnóstico de situación y plan de acción para la protección y el manejo del guanaco en Argentina". En: H. Torres (ed.), *South American Camelids. An Action Plan for their Conservation*. IUCN/SSC South American Camelid Specialist Group. Gland, Suiza.
- PUIG, S.; VIDELA, F., 1998. "Dinámica poblacional y uso del habitat por el guanaco". Seminario sobre Manejo Sustentable de la Vicuña y el Guanaco. Santiago de Chile. Subdepartamento de Divulgación Técnica, SAG. p 57 – 65.
- RAEDEKE, K.J., 1979. "Population dynamics and socioecology of the guanaco (*Lama guanicoe*) of Magallanes, Chile". Doctoral dissertation, University of Washington. 409 pgs.
- RICCI, S. (2010). Informe de Proyecto "Estrategias de uso sostenible y conservación de flora y fauna silvestre para la diversificación productiva en áreas ambientalmente vulnerables". Programa: Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Sistemas de Producción Agropecuaria-Forestal. INTA; Proyecto Específico AERN 2621.

SIMOY, M.V., 2002. "Herramientas para el manejo de recursos naturales: modelos discretos matemáticos de dinámica poblacional del ñandú (*Rhea americana*)". Tesis de Licenciatura en Ciencias Matemáticas. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil. Argentina. 92 pgs.

TAVARONE, E.G. 2004. "Análisis de la factibilidad de reintroducción del guanaco (*Lama guanicoe*) en el Parque Nacional Quebrada del Condorito". Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. 26 pgs.

VON THÜNGEN, J. 2003 "Guía práctica para la cría extensiva de guanacos en la Patagonia" L. Montes (ed). INTA EEA Bariloche. p. 30-36.

