



This book is provided in digital form with the permission of the rightsholder as part of a Google project to make the world's books discoverable online.

The rightsholder has graciously given you the freedom to download all pages of this book. No additional commercial or other uses have been granted.

Please note that all copyrights remain reserved.

### **About Google Books**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Books helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>

# TECNICAS PARA EL MANEJO DE LA VICUÑA



Editado por  
Hernán Torres

## La Portada

El diseño de la portada ilustra una “serie de vicuñas estilizadas...” que adornan el borde o guardilla de una *Lliklla* o mantón de algodón, color café oscuro (Sp. 290-58) recuperada por los arqueólogos Julio C. Tello y T. Mejía Xesspe en 1927. Esta es una de las muchas piezas textiles que formaban parte del envoltorio de la momia N° 290 extraída de la Necrópolis de Wari Kayan, Paracas, en la costa Sur del Perú. Corresponde a la Fase Nazca 1, fechada en los años 200 a.C. al 600 d.C.

## Referencia Bibliográfica:

Tello, J.C., T. Mejía Xesspe  
1979 Paracas II parte: Cavernas y Necrópolis.  
Fig. 115-1, Pág. 412  
Universidad Nacional Mayor de  
San Marcos, Lima, Perú.

# TECNICAS PARA EL MANEJO DE LA VICUÑA

Editado por  
Hernán Torres

Grupo Especialista en Camélidos Sudamericanos  
Comisión de Supervivencia de Especies

**UICN**

Unión Internacional para la Conservación de la  
Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN)

Programa de las Naciones Unidas para el  
Medio Ambiente (PNUMA)

**1987**

This One



23UK-N5T-3Y5H

Preparado por la UICN en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.



**UICN (Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza y de sus Recursos)** es una red de gobiernos, instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales científicas y expertos de la conservación que se han unido para promover la protección y el uso sostenido de los recursos vivos.

Fundada en 1948, la UICN tiene más de 500 miembros gubernamentales y no gubernamentales en 100 países. Sus seis comisiones reúnen el trabajo voluntario de 3.000 expertos en supervivencia de especies, áreas protegidas, ecología, planificación ambiental, política ambiental, legislación y educación ambiental.

**PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)** es una Secretaría de las Naciones Unidas la cual se estableció para servir como punto focal de la acción y coordinación ambiental dentro del sistema de las Naciones Unidas.

**Derecho de Autor** 1987. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de sus Recursos / Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

© Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente y de cualquier forma sólo para propósitos educacionales y no comerciales mencionando la fuente de origen y a sus autores.

**ISBN** 2 - 88032 - 606 - 0

**Impreso por** Litografía Star. Santiago, Chile

**Puede obtenerse de** IUCN Publication Services  
Conservation Monitoring Center  
219 Huntingdon Road Cambridge CB3 0DL  
United Kingdom

Los puntos de vista expresados por los autores en esta publicación no reflejan necesariamente aquéllos de la UICN o del PNUMA.

## CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
<b>Prefacio</b> .....	5
<b>Los autores</b> .....	11
<b>1. Notas Arqueológicas y Etnohistóricas acerca de la Vicuña en el Antiguo Perú — Luis Hurtado de Mendoza</b> .....	13
La Vicuña: Presa de Cazadores Antiguos .....	14
La Vicuña: Ganado de los Dioses .....	17
La Vicuña: Presa de Conquistadores y Criollos .....	22
Conclusiones .....	23
<b>2. El Manejo de la Vicuña — Hernán Torres</b> .....	25
El Concepto de Manejo .....	25
Planificación del Manejo .....	26
El Concepto de Máximo Rendimiento Sostenido .....	31
<b>3. El Censo de Poblaciones de Vicuña — Rolando Rodríguez, Eduardo Núñez</b> .....	33
Conceptos Básicos .....	33
Planificación del Censo Terrestre .....	35
Censo Directo y Total .....	41
Muestreo Aleatorio .....	44
Muestreo Estratificado .....	56
<b>4. Ecología de Poblaciones de Vicuña — Gerald D. Svendsen</b> .....	59
Estimación de la Abundancia .....	60
Cambios en la Población .....	64
Tablas de Vida y Demografía .....	66
Incremento de la Población .....	71
Interacciones entre las Especies .....	82
Capacidad de Carga .....	84
Distribución del Espacio y Hábito de Apareamiento .....	86
<b>5. Aspectos conductuales y reproductivos de la vicuña — Alfonso Glade C., Pedro E. Cattán</b> .....	89
Material y Métodos .....	91
Resultados .....	92

<b>Actividades Básicas</b> .....	92
<b>Población</b> .....	99
<b>Discusión</b> .....	102
<b>Conclusiones</b> .....	107
<b>6. Un modelo de simulación para el manejo de poblaciones de vicuña –</b>	
<b>Jorge E. Rabinovich, María J. Hernández, Jorge L. Cajal</b> .....	109
<b>El Modelo</b> .....	110
<b>Dinámica Poblacional</b> .....	110
<b>Manejo de Poblaciones</b> .....	112
<b>Resultados</b> .....	117
<b>Discusión</b> .....	127
<b>Conclusiones</b> .....	128
<b>Apéndice</b> .....	129
<b>7. Literatura consultada</b> .....	133

## PREFACIO

La vicuña representa hoy en día un recurso importante para las poblaciones humanas de las altiplanicies de Perú, Bolivia, Norte de Chile y el extremo Noroccidental de la Argentina. Su lana, una de las más finas del mundo, ha sido utilizada desde los tiempos precolombinos, cuando la captura de vicuñas estaba severamente reglamentada.

Luego de una época de regresión de las poblaciones de vicuña, que siguió a la conquista española, los países mencionados se inquietaron ante la posibilidad que desapareciera un recurso tan valioso. En 1969, Bolivia y Perú firmaron en la ciudad de La Paz, un Convenio para la Conservación de la especie y de este modo la vicuña fue declarada "especie en vías de extinción" y toda comercialización de las mismas o de sus productos fue prohibida por un período de diez años. A este convenio, posteriormente adhirió Chile y Argentina. En Octubre de 1979, en una reunión de representantes de los países signatarios del Convenio efectuado en la ciudad de Lima, se prolongó la medida por tiempo indefinido, denominándosele Convenio para la Conservación y Manejo de la Vicuña. Ambos acuerdos hicieron posible establecer una protección draconiana de la vicuña y posibilitaron la creación de Reservas y Parques Nacionales.

Actualmente, la población alcanza ya a 150.000 individuos en toda el área andina de Argentina, Bolivia, Chile y Perú. La mayor población se encuentra en Perú, seguido por Chile y ambos países han iniciado ya actividades de manejo experimental tendientes a lograr un aprovechamiento sostenido.

Esta situación ha requerido perfeccionar las técnicas de manejo de la especie y con este fin, el Grupo Especialista en Camélidos Sudamericanos organizó un Taller Internacional sobre Manejo de Vicuñas que se realizó en Arica, Chile, en 1985. A él asistieron participantes de los países andinos responsables de los proyectos en sus respectivas naciones. En el Taller se analizaron detalladamente temas como el método de censo y su tratamiento estadístico, así como una introducción a la ecología de poblaciones.



Como parte del Taller, se realizó un panel de expertos sobre el tema "Pasado, Presente y Futuro de la Vicuña como Recurso Natural Renovable". Los señores panelistas concluyeron que la utilización de la vicuña, como recurso renovable, será posible en un breve plazo, por lo que, es imperativo que se profundicen los estudios básicos necesarios que permitan lograr un uso sostenido de esta valiosa especie andina.

Como conclusión del Taller se solicitó al Grupo Especialista en Camélidos Sudamericanos, de la Comisión de Supervivencia de Especies, la preparación de un manual que incorporara los temas tratados en el Taller y otros que permitieran disponer de técnicas para el estudio de la ecología de poblaciones aplicada a la vicuña. Así entonces, el presente manual ofrece los fundamentos de la ecología de poblaciones y las técnicas complementarias que permiten diseñar planes y programas de conservación y manejo de la vicuña.

De este modo, uno de los objetivos de este manual es ofrecer una síntesis actualizada de las técnicas ecológicas para lograr un adecuado manejo de la vicuña. Si ésta ha sido una tarea casi imposible ahora, lo será más aún en el futuro puesto que las ideas y la información se multiplican muy rápidamente. Otros objetivos que se esperan son el estimular la comunicación entre los sectores involucrados en la conservación y manejo de la vicuña y también provocar un interés entre estudiantes y profesionales por continuar la investigación sobre los diferentes temas que atañen a la utilización sostenida de la especie.

El manual está organizado en seis secciones a cargo de diferentes autores. Las ventajas de un volumen de varios autores, se manifiesta en una mayor amplitud de cobertura de temas, experiencia y perspectiva. Las desventajas aparecen en un estilo y contenido disímil.

Hemos realizado un esfuerzo para aminorar esto último y presentar la información en una secuencia lógica. Esperamos que lo disfruten, pero aún más importante, queremos que les provea la información que les permita ser miembros de esta iniciativa de conservación, con un mejor conocimiento de los temas ecológicos relacionados con el manejo de la vicuña.

Este manual, al igual que muchas obras humanas, habría sido imposible sin la entusiasta cooperación de muchas personas y organizaciones. El Grupo Especialista en Camélidos Sudamericanos de la Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN, agradece la valiosa colaboración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) quien ha hecho posible el financiamiento de la presente publicación. A Robert F. Scott, ex Oficial Eje-

cutivo de la Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN y a Patricia Chable, Oficial Administrativa de la misma Comisión, por su inestimable apoyo en esta iniciativa.

Se agrega un agradecimiento especial, a la Corporación Nacional Forestal, a la Universidad de Tarapacá —ambas instituciones de Chile— al Instituto Internacional de Integración y al Proyecto Forestal de la FAO para Chile por el significativo apoyo brindado para la realización exitosa del Taller Internacional sobre Manejo de Vicuñas, que se celebró en Arica, Chile y que dio origen a este manual.

El Grupo Especialista agradece a todos los autores que contribuyeron con su valioso aporte a materializar esta idea. Se extiende este agradecimiento a Alfonso Glade y a Stephen Cornelius por sus oportunos y concienzudos comentarios que mejoraron la organización del contenido del Manual y a Paula Ferguson por su fino trabajo de arte. Finalmente, se agradece a la vicuña, “reina de los Andes”, por permitir con su existencia que podamos escribir sobre ella.

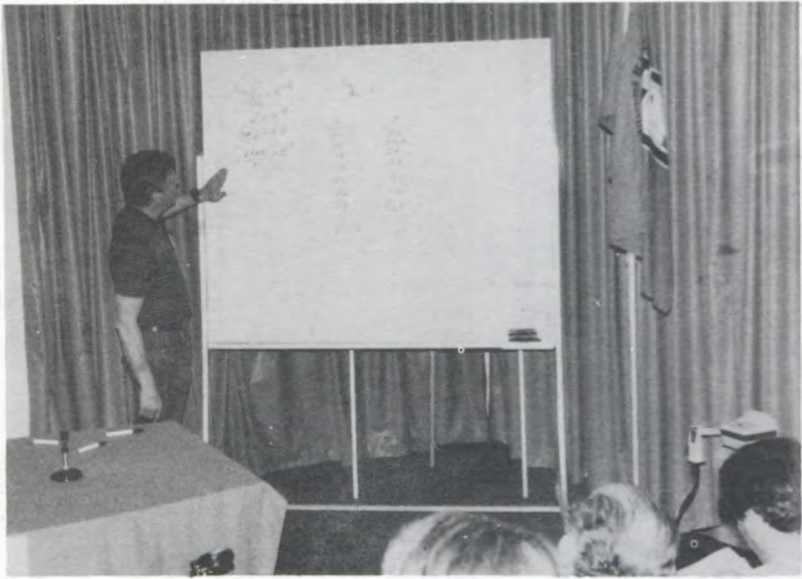
**HERNAN TORRES**

Agosto de 1987



**Entrenamiento en el uso de computadores en el método de censo. Actividad complementaria realizada durante el Taller celebrado en Arica, Chile en 1985.**

*(Fotografía gentileza de la Corporación Nacional Forestal)*



**El Dr. Gerald Svendsen, expone el tema Ecología de Poblaciones, durante el Taller realizado en Arica, Chile en 1985.**

*(Fotografía gentileza de la Corporación Nacional Forestal)*



**Panel sobre el Pasado, Presente y Futuro de la Vicuña, realizado durante el Taller celebrado en Arica, Chile en 1985. Izquierda a derecha: Lic. Hernán Torres, Chile, Dr. Robert Scott UICN, Dr. Jürgen Rottmann, Chile, Lic. Jorge Cajal, Argentina, Ing. Máximo Ramírez, Perú y Dr. Armando Cardozo de Bolivia.**

*(Fotografía gentileza de la Corporación Nacional Forestal)*

## **LOS AUTORES**

**Jorge L. Cajal**  
Departamento de Investigación y Protección  
Dirección Nacional de Fauna Silvestre  
Paseo Colón 922, Of. 212  
Buenos Aires  
Argentina

**Pedro E. Cattán**  
Facultad de Ciencias Veterinarias  
Universidad de Chile  
Casilla 49, Correo 15  
Santiago  
Chile

**Alfonso Glade**  
Corporación Nacional Forestal  
Av. Bulnes 259 Of. 604  
Santiago  
Chile

**María J. Hernández**  
Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ciencias  
Instituto de Zoología Tropical  
Caracas 1041 A  
Venezuela

**Luis Hurtado de Mendoza**  
Centro Agronómico Tropical de  
Investigación y Enseñanza  
Apartado 7170  
Turrialba  
Costa Rica

**Eduardo Núñez**  
**Corporación Nacional Forestal**  
**Primera Región,**  
**Casilla 1484, Arica**  
**Chile**

**Jorge E. Rabinovich**  
**Instituto Nacional de Diagnóstico e**  
**Investigación de la Enfermedad de Chagas**  
**Paseo Colón 568 (Piso 6)**  
**1036 Buenos Aires**  
**Argentina**

**Gerald E. Svendsen**  
**Ohio University**  
**Department of Zoological and**  
**Biomedical Sciences**  
**Irvine, Ohio 45701**  
**United States of America**

**Rolando Rodríguez**  
**Corporación Nacional Forestal**  
**Primera Región**  
**Casilla 1484, Arica**  
**Chile**

**Hernán Torres**  
**Centro Agronómico Tropical de**  
**Investigación y Enseñanza**  
**Apartado 7170**  
**Turrialba**  
**Costa Rica**

# 1 NOTAS ARQUEOLÓGICAS Y ETNOHISTÓRICAS ACERCA DE LA VICUÑA EN EL ANTIGUO PERÚ

*Luis Hurtado de Mendoza*

La vicuña (*Vicugna vicugna*) es una especie que ha sido utilizada por los pueblos indígenas de los Andes desde tiempos muy antiguos. Los trabajos arqueológicos de investigación han acumulado información al respecto, a pesar de las dificultades que conlleva la identificación inequívoca de la especie dentro del contexto taxonómico de los camélidos andinos. Las representaciones pictóricas de camélidos que abundan en cuevas y abrigos rocosos de las punas, no siempre permiten discernir la especie y lo mismo sucede con los diseños zoomorfos de los tejidos y otros materiales que han resistido el paso de los siglos sin deteriorarse o desaparecer. Incluso la evidencia directa constituida por los restos óseos y la lana de estos animales ha sufrido el inconveniente mayor de no contar con criterios confiables para distinguir a la vicuña, respecto de las otras especies y es relativamente reciente la aplicación del conocimiento de las distinciones morfológicas de los incisivos al examen y clasificación de las colecciones de restos de animales extraídos de los sitios arqueológicos.

No parece apropiado tratar el tema de vicuña, sobre todo en lo que respecta a su aprovechamiento por la gente, aislándola de los sistemas integrales de relación entre las poblaciones humanas y el ambiente y sus recursos, de manera que el esfuerzo hecho en este trabajo debe ser visto como el resultado de una necesidad convencional impuesta por la naturaleza del presente volumen. Se trata de exponer alguna información sustantiva acerca de la vicuña durante los períodos prehispánicos en los Andes Centrales y adelantar algunas deducciones e interpretaciones acerca de patrones de uso y manejo de la especie. Sin duda, tal esfuerzo no hace sino vislumbrar un tímido paso inicial con este trabajo, de manera que no se puede esperar encontrar aquí conclusiones definitivas. Por el contrario, la intención es más bien la de generar inquietudes que alienten trabajos más elaborados en el futuro.



La justificación y razón principal del estudio arqueológico de la vicuña no es idealista, sino absolutamente práctica. La creciente preocupación por la conservación y manejo de la vicuña nace de la necesidad real de mejorar el nivel y calidad de vida de las poblaciones rurales de las regiones alto-andinas. Esta necesidad supone el desarrollo y perfeccionamiento de técnicas y una política de manejo de la especie que permitan su uso y aprovechamiento sostenido, por tiempo indefinido. No parece un exceso asegurar que las lecciones del pasado deben ser invalorable para generar tales técnicas y política, puesto que el peligro de extinción de la vicuña es un fenómeno históricamente reciente, que no parece haber existido en tiempos prehispánicos gracias a una experiencia indígena de manejo apropiado que se desarrolló y perfeccionó a lo largo de milenios. La mejor evidencia de ello no sólo se encuentra en las narraciones de los cronistas europeos del siglo XVI, sino en el hecho incontrovertible que la vicuña, al igual que las otras especies de camélidos andinos, prosperaron en su habitat natural hasta mientras no sufrieron el embate de la invasión hispánica.

### La Vicuña: Presa de Cazadores Antiguos

Las investigaciones arqueológicas han demostrado que las punas de los Andes, lejos de constituir áreas marginales e inhóspitas, fueron regiones importantes en la configuración del sistema productivo de las poblaciones humanas, las cuales las habitaron haciendo uso de sus recursos desde hace más de 10.000 años. La etapa primordial de ocupación de este hábitat fue el llamado Período Arcaico, cuyos inicios se suelen señalar por el año 7.000 a.C., prolongándose por milenios hasta la introducción de la cerámica y generalización de la agricultura en tierras más bajas, durante el segundo milenio a.C.

El modo de vida en aquellos tiempos se fundamentaba en la caza de animales silvestres y en la recolección de productos vegetales no domesticados. Aun cuando no se ha superado la controversia acerca de la capacidad de la puna para sostener una población humana con sólo sus recursos, lo más probable es que, al igual que en el presente, la puna fuera sólo una de las diversas zonas ecológicas donde se extraían recursos que, agregados a los de las otras zonas, complementaron la dieta humana y otros requerimientos para la subsistencia. Uno de los aportes fundamentales de las punas en el Arcaico, fue el que se originó en la fauna silvestre. Los niveles más antiguos de los depósitos arqueológicos que se han excavado indican que las presas preferidas de los cazadores más tempranos fueron las vicuñas y los guanacos. Por lo menos dos especies de cérvidos también fueron utilizadas, la taruca (*Hippocamelus antisensis*) y (*Odocoileus virginianus*), pero en proporciones menores.

Las investigaciones pioneras de Augusto Cardich (1959) en Lauricocha no permitieron deducir patrones cuantitativos a este respecto, por la dificultad de distinguir las distintas especies en base a los restos óseos encontrados. Sin embargo, se pudo adelantar que la vicuña estuvo representada en tiempos del "Horizonte Lauricocha 2" (6.000 - 3.000 a.C.) y que el consumo de camélidos en general, aumentó notoriamente en el siguiente período, "Horizonte Lauricocha 3" (3.000 - 2.000 a.C.) incluyendo a los géneros *Lama* y *Vicugna* (Cardich, 1983).

Información más detallada se generó en investigaciones posteriores, principalmente debido a la inquietud creciente por establecer las pautas del desarrollo de la domesticación de los camélidos y el pastoralismo en los Andes. Un avance sustantivo fue logrado al sistematizarse el conocimiento sobre las diferencias morfológicas en los incisivos de las diversas especies vivas de camélidos andinos, pues se hizo posible identificar a la vicuña y la alpaca en forma inequívoca. No sucede lo mismo en el caso de la llama y el guanaco, cuyos incisivos son indistinguibles, pero estas dos especies sí son segregables, conjuntamente, respecto de las otras dos (Lavallée, Julien y Wheeler, 1982).

La aplicación de este conocimiento a las colecciones arqueológicas de restos de camélidos, produjo datos concluyentes que indican una marcada preferencia por la vicuña, como presa de cazadores, durante los primeros milenios de ocupación humana en las punas de los Andes Centrales. El abrigo rocoso de Piedras Gordas, en Cerro de Pasco, excavado en 1978-1979, contenía evidencia que las vicuñas y los guanacos eran las especies más abundantes de camélidos en los niveles inferiores, fechados en más de 8.000 años de antigüedad, mientras los niveles superiores incluían también alpacas y llamas. Otros criterios osteo-morfológicos hacen presumir que estos niveles, fechables en los años 6.000 al 1.500 a.C., contenían también formas cruzadas de camélidos, especialmente "guarizos" (*Lama glama* x *Lama pacos*) (Hurtado de Mendoza, 1980), pero resulta significativo que mientras el guanaco tendía a disminuir hasta desaparecer en los niveles más recientes; en cambio se mantuvo la presencia de restos de vicuña (Altamirano, 1979), al igual que los restos de cérvidos.

La identificación de formas cruzadas de especies de camélidos y especialmente la creciente proporción de individuos juveniles sacrificados al cumplir 18 meses de edad, hallados en las colecciones arqueológicas, han sido señalados como indicadores de manipulación humana atribuible a domesticación (Wing, 1978), de manera que la persistencia de restos de vicuña y de cérvidos en los abrigos rocosos y cuevas de Junín (Rick 1980; Lavallée y Wheeler 1982) y Cerro de Pasco (Hurtado de Mendoza, 1980) indican que el desarro-

VARIACION DE LAS FRECUENCIAS DE LOS ARTEFACTOS BIFACIALES DE LOS YACIMIENTOS TELARMACHAY Y PACHAMACHAY

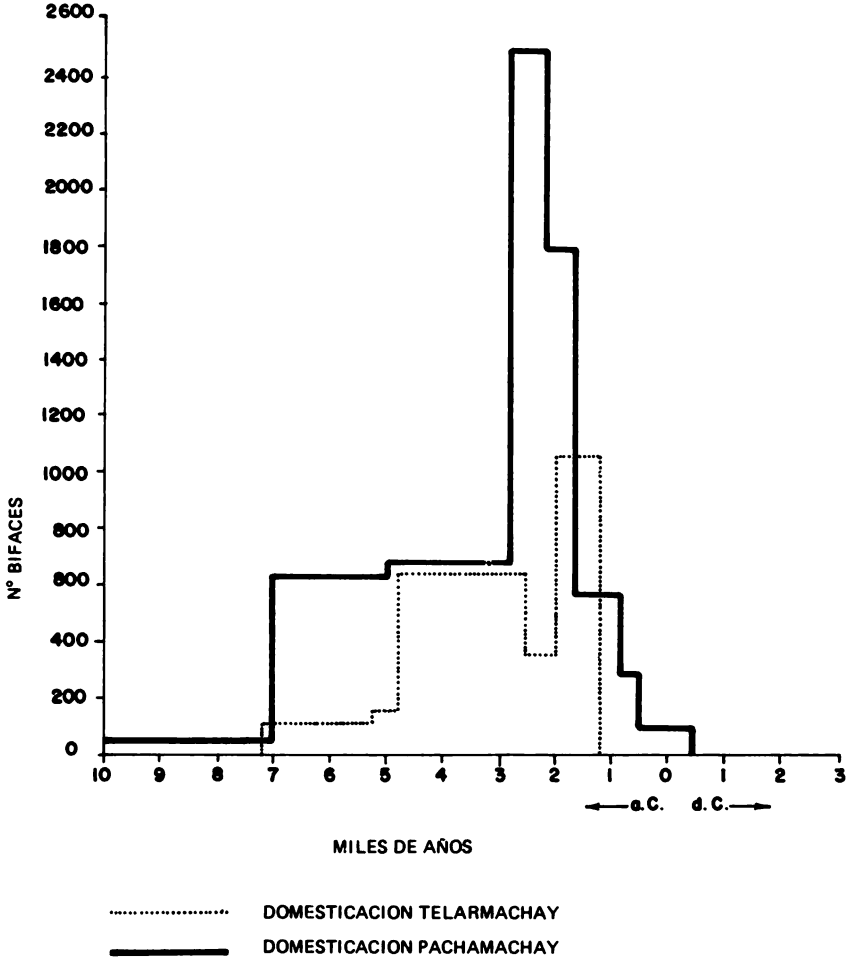


Figura 1-1. Variación de las frecuencias de los artefactos bifaciales de los yacimientos Telarmachay y Pachamachay.

llo del pastoralismo en las punas andinas no conllevó un declinamiento inmediato de las actividades de caza, las cuales continuaron en forma paralela, prácticamente sin perturbaciones mayores, por algunos milenios (Ver Figura 1).

Los análisis de los artefactos líticos recuperados en las excavaciones ayudan a sustanciar la hipótesis de la persistencia de la cacería de fauna silvestre en tiempos tardíos del Arcaico, durante los cuales se pone de manifiesto el uso de camélidos domesticados. Para Lavallée, Julien y Wheeler (1982) el aumento de restos de camélidos, fetos y recién nacidos en Telarmachay, Junín, indican domesticación de la misma manera que lo hacen los cambios en la morfología dental que complican la identificación de las especies. Sin embargo, estos investigadores también apuntan el fenómeno de que conjuntamente con la presencia inicial de especies domesticadas, por los años 4.000 - 3.500 a.C. y después de estas fechas, antes que disminuir las cantidades absolutas y relativas de artefactos de piedra propios de las actividades de caza, más bien aumentan (Figura 1) a lo largo de un período prolongado de unos dos milenios.

Este indicio, propio de Telarmachay, se repite consistentemente en Piedras Gordas (Hurtado de Mendoza, 1980) y en Telarmachay (Rick, 1980) y se vislumbra en otro abrigo rocoso, Callavallauri, cerca de Huancayo (Hurtado de Mendoza, 1982), sitios todos en los cuales se realizaron excavaciones estratigráficas y se utilizaron controles cronométricos (Fechas C-14). Es más, precisamente en esta última región de Huancayo, definida por el Valle del río Cunas, fue posible identificar conjuntos de artefactos líticos propios de cazadores, que se ubicaron en prácticamente toda la secuencia ocupacional de la región, tanto de tiempos Precerámicos como Cerámicos y Agrícolas, incluyendo el Horizonte Inca, en los últimos siglos antes de la invasión europea. Sin embargo, la información disponible del Precerámico, indica que la caza como actividad económica principal sí fue relegada a un rol más humilde en el primer milenio anterior a nuestra era, sin duda por el éxito generalizado del pastoralismo en las punas y de la agricultura en los valles interandinos.

### **La Vicuña: Ganado de los Dioses**

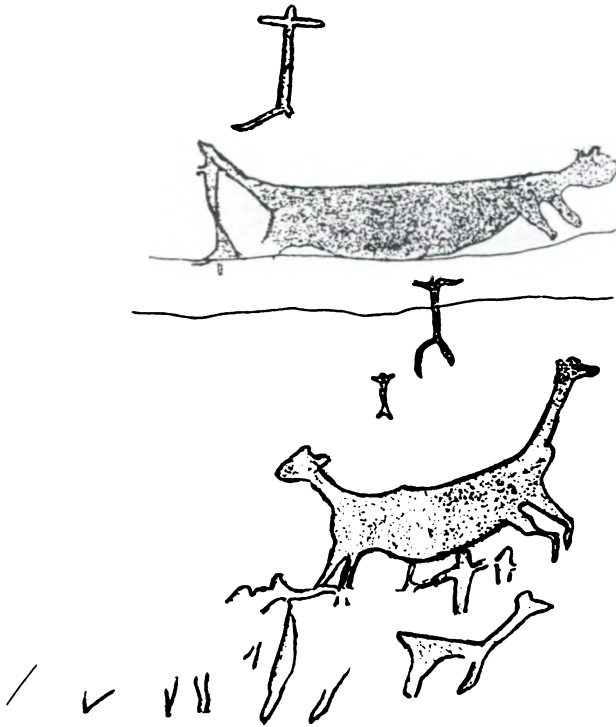
A partir de entonces, la vicuña no parece haber constituido un recurso silvestre económicamente importante, en el sentido en que lo fueron la llama y la alpaca, ambas especies domesticadas que proporcionaban alimento, lana, combustible y que, en el caso de la llama, se le podía utilizar como bestia de carga. Esta fue una tarea cada vez más importante al surgir en los Andes siste-

mas sociopolíticos más complejos: cacicazgos y estados, con poblaciones humanas cada vez más numerosas y con necesidades de transporte de productos de diversas regiones ecológicas, cada vez más masivas.

Los restos osteológicos que pueden ser identificados como de la vicuña son contados o casi inexistentes en contextos arqueológicos de estos tiempos, lo cual sorprende sobre todo al comparar tal escasez con la relativa profusión de restos de vicuña en los depósitos precerámicos más tempranos. Tal vez es en estos tiempos que se afianzó la consideración ideológica que inculcó en la gente la convicción que los dioses de las montañas son los dueños de los animales silvestres, o *salqa*, como la vicuña, la taruca, la vizcacha, el puma y el zorro; y que, en su sabiduría, llenan las necesidades de la gente proporcionándoles otros animales, *uywa* o domesticados, como la alpaca, la llama y el perro.

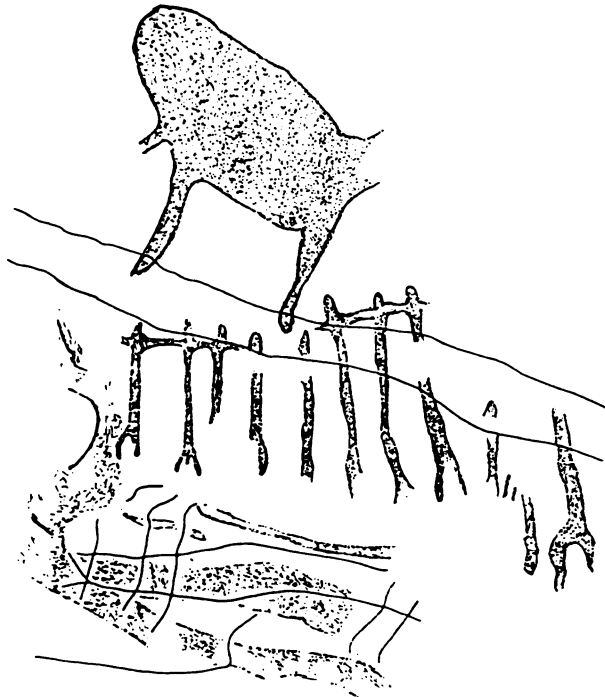
Esta dicotomía, expresada objetivamente en la clasificación andina ancestral de los animales (Flores Ochoa, 1977) con uso preciso de términos en el lenguaje indígena, estuvo reforzada subjetivamente por una versión mítica, ideológica, que alentó un uso cada vez mayor de las especies domesticadas, desalentando al mismo tiempo el uso de las especies silvestres. La vicuña pasó al ámbito de los dioses, no siendo permisible que la gente las cazara. Sin embargo, su lana no dejó de ser utilizada, pero esto se hacía observando ciertas restricciones y limitaciones que, durante el desarrollo de sociedades complejas se reforzaba también en términos formales: normas legales y ordenanzas impuestas por autoridad política superior.

Probablemente, la forma de restricción formal más conocida es la que impusieron los Incas, evitando la caza de los animales silvestres, incluyendo la vicuña, en favor de la captura de los animales para trasquilarlos y dejarlos ir. La literatura que concierne a la conservación de la vicuña ha enfatizado en este concepto, como un ejemplo de manejo racional indígena de la especie, pero atribuyéndola a la capacidad organizativa del estado Inca. Sin embargo, el registro arqueológico indica claramente que el chaco, o "chaku", como técnica de captación de los recursos animales silvestres de la puna, fue una práctica que es mucho más antigua que, no sólo los Incas sino, todo el proceso milenario del desarrollo de los pueblos de agricultores de los Andes Centrales. Escenas pictóricas del "chaku" son frecuentes en las paredes de cuevas y abrigos rocosos ocupados durante el período Arcaico Tardío. Por ejemplo, Niemeyer (1972) informa de dibujos que ilustran una serie de figuras humanas ordenadas en fila, con los brazos extendidos, unidos a la de la figura adyacente, en las sierras de Arica. Por otro lado, Aldenderfer (1985) encontró en la cueva Cimarrón, en Tacna, alineamientos de figuras humanas en actitud similar a la



**Figura 2-1.** Representación pictórica de un *chaku* en tiempos tardíos del Período Arcaico, hallada en Cueva Cimarrón, Tacna, Perú (Ref. Aldenderfer, 1985).

descrita por Niemeyer, frente a las representaciones de camélidos que podrían ser vicuñas o guanacos (Figura 2-1 y 3-1). No es posible precisar la fecha exacta en que estos dibujos rupestres fueron elaborados, pero en el caso de la cueva Cimarrón y otros sitios explorados por Aldenderfer, se puede deducir una antigüedad relativa que los ubica en una fase tardía del período Arcaico, tal vez entre los años 3.500 y 1.000 a.C., lo cual afianzaría la hipótesis de una considerable antigüedad para el *chaku*, como forma ancestral de manejo de los animales silvestres de las punas andinas.



**Figura 3-1.** Dibujo rupestre en Cueva Cimarrón, Tacna, Perú, ilustrando un *chaku* del Período Arcaico (Ref. Aldenderfer, 1985).

Ante esta certeza, es importante comprender que la práctica del *chaku*, como actividad concreta, implica un bagaje ideológico subyacente que favorecía la conservación y uso sostenido de los recursos que proporcionaba la vicuña. Su lana sólo podía servir para cierto tipo de prendas de vestir, como el *llauto* o faja para usar como semi-turbante por los nobles locales e imperiales, así como cierta ropa para los caciques. También, aún hoy en día (Flores Ochoa, 1977), se prefiere la fibra de vicuña para mantos de tejido fino que se utilizan para cumplir ritos específicos de índole mágico-religiosa, cuya finalidad era, y es, asegurar el éxito de las actividades del pastoralismo en las punas.



**Figura 4-1.** Vicuñas capturadas. Motivo decorativo en un manto ceremonial hallado en la necrópolis de Warikayan, Paracas, Perú, del período 200 a.C. - 600 d.C. (Ref. Tello y Mejía Xesspe, 1979).

Este uso restringido y especializado de la lana de la vicuña estaba justificado, en el acumen popular, por la consideración que la vicuña era, en efecto, ganado de los dioses y no de la gente, lo cual explica que en los períodos prehispánicos más recientes, cuando el pastoralismo y la agricultura se impusieron como los fundamentos de la producción en el mundo andino, los tejidos de lana de vicuña fueran ostensiblemente escasos. La Arqueología confronta ironías constantemente, las cuales dificultan su quehacer. Una de éstas es que proceden de la costa desértica del país, las mejores colecciones de textilería, gracias a la notable preservación de los materiales orgánicos por la seguridad natural del ambiente. Pero es en las Sierras y Punas, en donde se originan las fibras de los camélidos, que la preservación es más precaria y por consiguiente, el registro arqueológico más incompleto. Pero si se apela al concepto general de la unidad de los Andes, como un sistema integral en el cual las diversas zonas ecológicas fueron complementarias para la subsistencia, entonces adquiere significado que ni en Paracas (Tello y Mejía Xesspe, 1979) ni en Garagay (Engelstad, 1982), la proporción de tejidos hechos con lana de vicuña fuera más que casi nula, considerando los muchos cientos de especímenes textiles recuperados. Tampoco abundan las representaciones de vicuñas entre los motivos naturalistas de los textiles de estos sitios costeros y se puede decir que los que se han identificado como tales (Figura 4-1) es excepcional. Los tejidos de la necrópolis de Wari Kayan, en Paracas, costa Sur del Perú, se ubican entre los años 200 a.C. y 600 d.C., mientras que los de Garagay, en Lima, corresponden a un lapso entre 1.500 y 600 a.C.



## La Vicuña: Presa de Conquistadores y Criollos

El sistema andino de conservación y uso sostenido de los recursos que la vicuña proporcionaba en tiempos prehispánicos, incluyendo el uso ceremonial y mágico de las piedras bezoares (Flores Ochoa, 1977: 216), fue alterado radicalmente con el advenimiento de la invasión europea. No podía haber sido de otro modo, dada la actitud depredadora de los “conquistadores”, afanados en usurpar la condición y prerrogativas de poder de los Incas y caciques imperiales. El chaku racionalizado, planificado, fue suplido por el chaku en honor de algún personaje con poder, de turno; o para satisfacer las expectativas de capitanes y encomenderos.

El exceso, provocó protestas por parte de algunas autoridades indígenas, las cuales fueron consideradas razonables por algunas autoridades virreinales, suscitando ordenanzas cuyo tenor sólo hace más manifiesta la gravedad de la situación en el siglo XVI. Una provisión del Virrey del Perú, Andrés Hurtado de Mendoza, de 1557, respondía a una denuncia de “los indios de Lucanas” en contra de los caciques de Andamarca, Yauyos, Cajamarca, Acarí, Parinacocha y Guancas, para reiterar su prohibición anterior, de 1556, de “caza, chacos y muerte” de “los ganados monteses de la tierra que son ovejas y carneros, guanacos y vicuñas...” por “españoles y... también los naturales...” (Cardozo, 1985). Sin embargo, al analizar estas provisiones en su letra y espíritu, se puede deducir que a la par de una preocupación por la conservación de la fauna silvestre se hace manifiesta una inquietud por evitar el conflicto entre grupos étnicos por las invasiones territoriales que resultaban de la exigencia depredadora de los encomenderos locales.

La situación no parece que se corrigió durante el período Colonial, a pesar que el mensaje indígena de conservación fue persistente. En el siglo XVIII, el Marqués de Rocafuerte daba cuenta al virrey Amat y Juniet de una orden para evitar que maten las vicuñas instruyendo a la gente que “sólo las trasquilan para que no se extingan” (Cardozo, 1985) y en el siglo XIX la “vigonia wool” era ya objeto de extrema apreciación y demanda en Europa (Prescott, 1847), indicando que la preocupación del Libertador Bolívar, quien emitió una disposición para evitar las cacerías y chacos en 1825, no tuvo mayor efectividad. De acuerdo con datos que ofrece Flores Ochoa (1977: 44), en 1839 sólo se había registrado un valor de 150 libras esterlinas para la exportación de lana de vicuña, mientras la de alpaca alcanzaba un valor de 79,500 libras esterlinas. Estas cifras deben estar indicando la precariedad de la situación de la vicuña como especie, después de siglos de depredación durante la Colonia y los albores de la República.

## Conclusiones

La revisión somera del registro arqueológico y etnohistórico respecto de la vicuña, permite vislumbrar tres períodos o etapas en la historia de la relación entre esta especie y las poblaciones humanas. La primera etapa corresponde al período Arcaico de los Andes Centrales, cuando la vicuña fue una de las presas de caza preferidas por los pobladores de las punas. Una segunda etapa, en tiempos tardíos del período Arcaico y durante el advenimiento de la agricultura, se caracterizó por un evidente paralelismo de las actividades de caza y del pastoralismo. Se deduce que entonces se desarrolló y afianzó el sistema indígena de clasificación de los camélidos andinos, el cual reconoce la dicotomía entre especies silvestres y especies domesticadas, la cual sobreyace un sistema ideológico que ayudó a reforzar la protección y uso sostenido de la vicuña durante varios milenios, en tiempos prehispánicos.

Este sistema fue afectado negativamente con la introducción de valores culturales foráneos, a raíz de la invasión europea y la vicuña volvió a constituirse en presa de caza indiscriminada durante la Colonia y temprana República, siendo inoperantes los esfuerzos ocasionales de las autoridades por impedir o normar la utilización irracional de la especie. El resultado neto fue la casi extinción de la vicuña en el siglo XX.



# 2

## EL MANEJO DE LA VICUÑA

*Hernán Torres*

### El Concepto de Manejo

Desde hace milenios, el hombre andino ha “manejado” a la vicuña para obtener de ella beneficios destinados a satisfacer intereses sociales y económicos.

Para una mejor comprensión de este proceso milenario, debemos analizar los fundamentos, significado y alcance del término manejo de fauna silvestre. El manejo de la fauna silvestre se fundamenta en la necesidad de conocer íntegramente la estructura, la dinámica y las interrelaciones de la población de una especie en particular, con otras comunidades vivas de animales, de plantas y con el ambiente físico. Se debe conocer también como se interrelaciona con el ser humano y como el recurso que representa para el hombre, puede ser orientado, utilizado o dirigido para obtener beneficios sin destruir dicho recurso, sino que permitiendo el aumento de su potencial producido en forma sostenida.

En otras palabras, el “manejo” de cualquier especie puede ser definido entonces como una actividad resultante de la integración de intereses sociales que se fundamentan en valores científicos, económicos, tecnológicos y hasta políticos, ya que esencialmente, “manejar” un recurso implica controlarlo y guiarlo.

En el caso particular de la vicuña, podemos establecer que su manejo involucra medidas relacionadas con el incremento, la estabilización o la disminución de determinadas poblaciones, ya sea actuando directamente por medio de sacas, capturas periódicas con fines de traslado, reducción de poblaciones o indirectamente, por medio de la reducción de las fuentes de alimento.

El manejo de la vicuña se basa en ciertos principios fundamentales conocidos como la estructura de la población, la dinámica y sus relaciones con otros seres vivos y con los factores físicos del ambiente que habita.

La *estructura* se refiere a la conformación de la población por estratificación de jerarquías o clases que están determinadas por la edad y el sexo de los grupos. La *dinámica* está determinada por el proceso de desarrollo de la población y las modificaciones temporales que experimenta. Se caracteriza por factores como tasa de reproducción, de crecimiento y mortalidad, así como el aumento y la expansión de la población.

Las *relaciones* son las interacciones que tiene la población animal con otros organismos animales y vegetales, como también con los factores meteorológicos, edafológicos, geológicos e hidrológicos que caracterizan el sistema ecológico que habitan. Ejemplos de estas relaciones pueden ser los predadores, los parásitos, el régimen alimenticio y las necesidades de agua y luz.

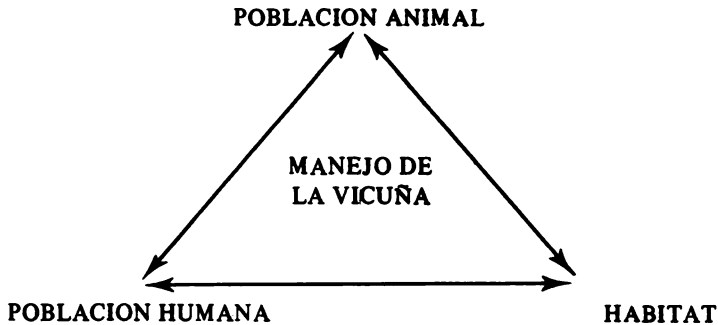
La estructura, la dinámica y las relaciones de una población constituyen los elementos necesarios para planificar el manejo de la vicuña, planificación que debe conciliar los intereses de conservación con el aprovechamiento económico de la especie. Es necesario enfatizar la importancia de estos tres factores y sus vinculaciones debido a que el manejo de la vicuña se fundamenta en el manejo de poblaciones y no de individuos aislados. Se requiere además un conocimiento adecuado del hábitat de la especie, lo que significa que para lograr una planificación satisfactoria del manejo de la vicuña, es preciso tener una concepción global e integral del ecosistema correspondiente a la especie, puesto que el manejo involucra a las poblaciones de vicuña a los hábitats y al hombre.

### **Planificación del Manejo**

La planificación del manejo de la vicuña debe considerar la relación estrecha de los siguientes factores:

- Población de vicuñas
- Hábitat
- Población humana (Giles, 1978)

La relación de estos tres factores apoya el concepto de manejo de la vicuña y se fundamenta esencialmente en que la dinámica, la estructura y las interrelaciones, son las bases que posibilitan controlar, orientar o manejar un sistema ecológico. Los tres factores deben ser profundamente investigados para lograr un equilibrio al planificar la utilización de la vicuña.



**Figura 5-2.** Interacción de los factores que determinan el manejo de la vicuña.

Esta investigación debe realizarse debido a que todos los ecosistemas son sistemas abiertos, en los que la energía y la materia están en circulación constante entrando y saliendo a través de medios geológicos, hidrológicos, meteorológicos, biológicos y de acciones humanas. Estas modificaciones e intercambios, mantienen en comunicación permanente diferentes ecosistemas, dificultando de esta forma, la delimitación exacta entre los mismos, que están caracterizados por una dinámica permanente, aunque no constante. Las variaciones estacionales influyen en el movimiento de la energía de los sistemas ecológicos, esto se aprecia en la Puna comparando la estación de lluvias con la estación seca.

En este análisis, se fundamenta la importancia del ecosistema como unidad básica de la naturaleza y como unidad de estudio que permite delimitar áreas orientadas hacia un manejo científico. La delimitación de un área o región de estudio, permite obtener una visión global del sistema ecológico como unidad dinámica que considera no solamente a la vicuña aisladamente, sino que a todos los factores que interactúan dentro de la región.

De acuerdo con esto, durante el proceso de planificación, el análisis básico de factores que intervienen en el manejo de la vicuña contemplan:

1. El análisis general del ecosistema donde se localizan las poblaciones
2. El análisis de las poblaciones
3. El análisis del hábitat
4. El análisis socioeconómico y cultural.

1. El análisis de la estructura del ecosistema donde se localizan poblaciones de vicuñas puede ser analizado considerando tres factores:

- a) Composición de las comunidades biológicas más importantes, incluyendo especies predatoras y especies vegetales que forman parte de su dieta alimenticia.
- b) Cuantificación y distribución de los factores abióticos o físicos del ecosistema y
- c) El gradiente de las condiciones físicas que determinan su existencia, (temperatura, radiación solar, luminosidad, humedad relativa, pluviosidad y otros). (Odum, 1974).

2. El análisis de las poblaciones de vicuña implica la descripción, discriminación, subdivisión en edad, sexo y jerarquía, dándole el valor intrínseco a cada factor o categoría. El diseño de la población es un proceso que sintetiza todo el contexto de su manejo, incluyendo la estructura, la dinámica y las interrelaciones de la población lo que permite en general diseñar el plan de manejo para la especie.

La estructura de la población se establece considerando sexo, edad y composición jerárquica. Las interrelaciones entre las especies de interés inmediato es posible calcularlas por medio de la siguiente fórmula:

$$I = N(N-1)$$

Donde las interrelaciones (I) son iguales al número de especies en estudio (N) multiplicado por el mismo número menos uno (N-1).

Esta información básica sobre la estructura de la población permite analizar algunos aspectos de su dinámica, tales como procesos de reproducción, tasas de natalidad, crecimiento y mortalidad.

La densidad de la población es un indicador que relaciona la estructura con la dinámica de la población. La densidad se define como el número de animales de una especie por unidad de área y se expresa como número de animales por hectárea.

Existen varios métodos para estimar la población animal de un sistema ecológico cualquiera. En el caso de la vicuña, se utiliza el método de conteo directo y total de individuos por superficie y tiempo determinado (Rodríguez et al, 1981). El objetivo de conocer y analizar la población es obtener elemen-

tos de juicio confiables para decidir su control o manejo. En estado natural las poblaciones están sometidas a intensas fluctuaciones provocadas por falta de alimento, enfermedades contagiosas, parásitos y predadores entre otros, que son justamente algunos de los factores que un plan de manejo debe considerar.

3. El análisis del hábitat o ambiente de la vicuña se puede definir como la suma de todos los factores que determinan la supervivencia de la especie en un área determinada. Desde este punto de vista, algunos autores consideran que el hábitat no está conformado exclusivamente por los factores físicos del ambiente, sino que deben considerarse también los organismos que están relacionados con su presencia en el área; como plantas utilizadas en su dieta alimenticia y los animales que actúan como predadores.

Esta definición más amplia del hábitat es útil desde el punto de vista del manejo de la vicuña, debido a que lleva a una visión global y de interrelaciones del ecosistema donde se desea desarrollar el proyecto; hecho que proporciona mayor consistencia y posibilidades de obtener éxito debido a que permite considerar grandes extensiones bajo manejo.

Otros factores que componen el hábitat y que contribuyen a hacerlo más complejo, son el espacio y el territorio. El espacio es un concepto multidimensional que incluye latitud, longitud, altitud, puntos específicos, zonas y límites. Moen (1983) puntualiza que los animales tienen una influencia directa en la caracterización del ambiente que habitan, no sólo por su acción directa sobre los factores del hábitat, sino por las posibilidades de modificarlo favorablemente a sus necesidades fisiológicas. A modo de ejemplo, se puede indicar que una manada de vicuñas al agruparse durante la noche al dormir, conforma un microambiente que la protege del frío, además de constituir una barrera contra el viento, reduciendo la exposición de la superficie del cuerpo y consecuentemente, la pérdida de energía.

El territorio es un espacio definido que es defendido por el macho territorial. Tiene una función clave al planificar el manejo, puesto que de la territorialidad de la especie dependen las posibilidades que se reproduzcan y por consiguiente, que sea utilizada sostenidamente.

Al analizar el hábitat es necesario también considerar los límites que éste tiene. Estos límites están señalados por ecotonos o zonas de transición, que se caracterizan por constituir la frontera entre dos ecosistemas diferentes que se integran de manera gradual y sutil. Estas áreas son por lo general más frecuentadas por comunidades animales que los sistemas adyacentes, fenómeno que ecológicamente se define como efecto de "transición".



4. El análisis socioeconómico y cultural constituye parte fundamental en la planificación del manejo de la vicuña. Este análisis debe contemplar una detallada descripción del uso actual de la tierra y su proyección futura en el área seleccionada para establecer el manejo de la especie. Debe incluir también un perfil de las características socioeconómicas y culturales de las comunidades locales que habitan, ya sea dentro de la sección de estudio o en las áreas adyacentes.

Es importante contar con datos demográficos que permitan caracterizar a la población humana existente y conocer las tendencias futuras. Aquí, debe agregarse en el análisis, el efecto que el proyecto tendrá en las comunidades y los beneficios directos e indirectos que se obtendrán.

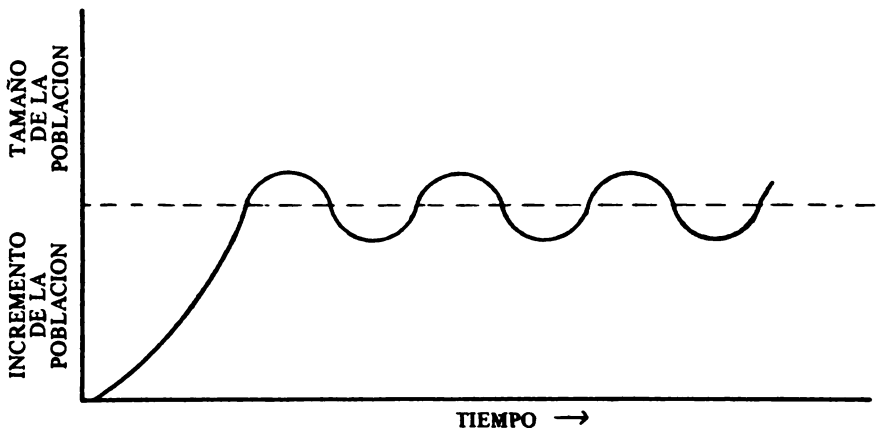
La participación local tanto en la planificación como en la ejecución del proyecto de manejo, debe estimularse e incorporarse como parte del proceso. El conocimiento de la cultura existente y sus prácticas tradicionales de uso de la tierra son antecedentes que deben vincularse a las variables de manejo que se propongan para la vicuña. Esta participación local debe considerar los siguientes aspectos:

- La obtención de datos durante la planificación, debe incluir el conocimiento local, los deseos y necesidades de las comunidades respecto de su desarrollo.
- Deben identificarse los conflictos de intereses que pueden presentarse y las formas de resolverlos. Aquellos que no tienen solución deben considerarse como factores limitantes del proyecto que precisan alternativas. No debe forzarse una solución y menos imponerla.
- Una fuerte campaña inicial debe informar a la gente cómo participar y las fuentes de información disponible.
- Debe haber un compromiso real para escuchar a las comunidades, no debe limitarse la acción sólo a las relaciones públicas.
- Las acciones de intercambio deben hacerse de acuerdo a las formas tradicionales de comunicación.
- La participación local debe estructurarse claramente en el proceso de planificación y cierta autoridad debe concederse. Un rol puramente consejero no es suficiente.
- La estructura de gobierno o gestión del proyecto debe ser entendida y familiar para las comunidades.

- Intercambiar información científica en una forma que tenga *significado* para las comunidades. Significado para las comunidades no implica sólo transmitir logros científicos, sino que más importante, es que *tenga valor* para las comunidades.
- La definición de comunidades locales debe ser lo suficientemente sofisticada como para distinguir entre individuos que son residentes locales, pero que no comparten los intereses locales; y aquellos que sí lo hacen y en forma tradicional.

### El Concepto de Máximo Rendimiento Sostenido

El máximo rendimiento sostenido se define como la mayor cosecha o saca que puede obtenerse de un número dado de vicuñas año tras año, manteniendo al mismo tiempo un tamaño de población promedio constante. Se



**Figura 6-2.** La curva de la población tiene forma de S debido a que los incrementos de la población son lentos cuando la población está a un nivel bajo, con pocos individuos reproduciendo. Los incrementos aumentan pronunciadamente cuando la población es alta y cuando los individuos están reproduciendo a un máximo nivel. El nivel de incremento cesa cuando se alcanza la capacidad de carga del ambiente y la mortalidad y otras pérdidas equilibra la capacidad de reposición.

deriva de la hipótesis —apoyada hasta cierto punto por observaciones— que una población de animales, en crecimiento a partir de un pequeño número inicial, al comienzo crece más o menos geométricamente (exponencialmente), pero que la tasa de crecimiento disminuye cuando la población aumenta.

El gráfico del tamaño de la población en relación con el tiempo, adopta una curva en forma de S que alcanza un tamaño final que refleja la capacidad de carga del hábitat de la población. (Figura 6-2).

A este nivel, la tasa de mortalidad se equilibra con la reposición y se logra un estado de estabilidad. La teoría postula que el tamaño final de la curva es realmente el tamaño inicial del recurso renovable antes que comience su explotación y que, cuando se realizan cosechas anuales, la reserva o stock se reduce.

De acuerdo con la teoría, el potencial de aumento de la reserva o stock está determinado por su tamaño, el que puede mantenerse estable extrayendo anualmente una cantidad igual a la tasa potencial de aumento, esto se denomina “rendimiento sostenido”. Así, si la curva de la población tiene forma de S, la mayor producción sostenida de un stock de tamaño intermedio, se logra cuando la curva se encuentra en el punto crucial o decisivo (inflexión).

El estudio de la curva sugiere que el nivel esperado de tamaño intermedio de un stock, en muchos casos puede variar entre un 40% y un 60% respecto al límite de la capacidad de carga, aunque en algunas especies el nivel puede ser mayor.

El simple modelo conceptual delineado anteriormente, como asimismo otros modelos matemáticos más complejos, resaltan la propiedad singular de la producción sostenida como una función del tamaño de una población dada.

# 3

## EL CENSO DE POBLACIONES DE VICUÑA

*Rolando Rodríguez  
Eduardo Núñez*

### Conceptos Básicos

La medición periódica de las poblaciones de fauna silvestre, constituye una herramienta fundamental en el manejo de las especies y su hábitat. En este sentido, los censos constituyen la expresión cuantitativa del desarrollo, composición y distribución de una población determinada, en un espacio definido, que facilita la toma de decisiones respecto de los proyectos de conservación y utilización racional de la fauna.

Con el fin de precisar la terminología a utilizar en la exposición del tema de estimación de las poblaciones de vicuñas, se definirán aquellos conceptos que son necesarios.

**Población:** Es una comunidad de individuos de la misma especie que se cruzan libremente entre sí, formando un fondo genético particular separado de los demás de la misma especie que habitan otras regiones.

**Censo:** Conteo directo de individuos de una población animal pudiendo tomar dos formas: Conteo Total y Muestreo.

**Zona de Censo:** Es la superficie concebida para la ejecución y evaluación del censo.

**Sitios de Censo:** Subdivisiones establecidas dentro de la Zona de Censo con el objeto de permitir un trabajo de evaluación eficiente del censo.

**Conteo Total:** Censo en toda la superficie de evaluación.

**Muestreo:** Censo de una fracción de la superficie de evaluación y extraída según cánones estadísticos clásicos.

**Precisión:** Condición según la cual sucesivas estimaciones de un parámetro generan valores próximos entre sí.

**Sesgo:** Es la diferencia entre valores estimados y la cantidad real considerada.

### **Objetivos del Censo**

El Censo de animales no constituye un fin en sí mismo, sino que sirve como herramienta auxiliar del manejo de fauna. Por tanto, debe servir a los fines y metas que el proyecto de conservación y manejo de una especie animal se plantee, por lo que en el caso de la conservación y manejo de la vicuña, los objetivos que cumple un censo se pueden definir como sigue:

Definir el hábitat de la especie y la superficie involucrada en el censo.

Estimar periódicamente el número de animales determinando la composición, distribución y tendencias de la población.

Proporcionar información sobre la situación demográfica de la población.

Evidentemente todos los objetivos no pueden cumplirse simultáneamente en un solo censo, por lo que el planificador irá obteniendo la información requerida en la misma medida que haya avanzado la ejecución del proyecto de conservación y manejo.

### **Método de Censo en Vicuñas**

A continuación se indican los métodos de censos aplicables a la vicuña.

#### **Censo Directo y Total**

Este método consiste en el conteo directo y total en forma terrestre de los animales, en un plazo de tiempo en el que no se produzcan modificaciones en la composición de la población de animales, ya sea por natalidad, mortalidad o migraciones.

Su aplicación se basa en determinados supuestos básicos, a saber: que existe una distancia de fuga de la especie inferior a la distancia de su visibilidad, costumbres marcadamente territoriales de la especie y la organización social que presenta la vicuña.

## **Muestreo**

El objetivo del Muestreo es estimar el número de animales de la zona de censo a partir del número contado en una zona de muestreo. Por lo tanto, si la zona de censo está dividida en unidades de muestreo o sitios, el Muestreo consiste en seleccionar algunos de ellos y aplicar en éstos, un conteo directo y total.

Los resultados obtenidos pueden ser analizados estadísticamente, permitiendo con ello estimar la población total existente en la zona de censo.

## **Censo Aéreo**

Constituye la ejecución de censos de poblaciones mediante observaciones aéreas. Entre las alternativas se distinguen los censos por transectos, bloques y totales.

## **Planificación del Censo Terrestre**

### **Medición de las Poblaciones de Vicuña**

La planificación del censo es parte esencial del manejo y ejecución del mismo. Relaciona todos los aspectos involucrados en el censo entre sí y los objetivos de conservación y manejo de una especie silvestre. Los lineamientos básicos que deben fijarse en la planificación de un censo terrestre de vicuñas, se describen a continuación:

#### **Determinación de Objetivos Específicos:**

La determinación de la finalidad del censo, es primordial para la planificación. Según ello se decide sobre el tipo de censo a ejecutar: Conteo Total o Muestreo.

#### **Delimitación de la Zona de Censo:**

La gran extensión del altiplano que constituye hábitat de vicuña, en donde ésta no se distribuye uniformemente ya que existen núcleos bien poblados, (Parques y Reservas Nacionales) y áreas con densidades muy bajas, obliga a que el área concebida para la ejecución del censo sea de un tamaño adecuado a la disponibilidad de recursos humanos y materiales.

La determinación de los límites de una zona de censo debe hacerse en lo posible siguiendo deslindes naturales que se constituyan en barreras para las vicuñas, tales como cordilleras, valles profundos o ríos. Estas zonas se consideran como áreas más o menos independientes que mantienen estable su población de vicuñas durante cierto tiempo.

### **Fijación de Censo:**

Los sitios de censo, que son subdivisiones que deben establecerse dentro de la zona de censo, deben ser de un tamaño tal que permitan un trabajo de censo directo, total y eficiente.

Los sitios de censo pueden establecerse bajo dos formas: a) cuadriculando la zona de censo en base a un sistema de coordenadas, logrando con ello sitios de igual tamaño y forma. b) adecuándolos a la conformación del terreno, definiendo así sitios de tamaño diferente basando sus límites en fenómenos naturales o artificiales bien identificables en terreno. La primera forma significa realizar un gran esfuerzo en la localización de cuadrículas. La segunda obliga a una evaluación más complicada de los resultados.

Los sitios deben identificarse mediante un número, que puede ser asignado en forma correlativa siguiendo el sentido Norte-Sur de la zona de censo. Esto es importante en la selección aleatoria de sitios para la planificación de un censo por muestreo. También es conveniente la asignación de un nombre a cada sitio, que represente la toponimia local para facilitar la identificación de sitios en terreno, sobre todo cuando el equipo de censadores esté compuesto por oriundos de la zona.

### **Representación Cartográfica:**

La representación cartográfica en la zona de censo y sus sitios, es básica para las labores de terreno del censo y la visualización especial de los cambios y evolución de las poblaciones de vicuña.

La representación debe ser en lo posible a escala grande, con información topográfica mediante curvas de nivel que permitan deducir la morfología de la zona e información detallada de quebradas, ríos, caminos, pueblos o toponimia. Ello facilita la fijación de transectos y la clarificación de los límites de sitios en el terreno.

### **Elección de Sitios para Muestreo:**

Cuando la ejecución de un censo no se planifica para un conteo total o completo, sino para un muestreo, se deben seleccionar aleatoriamente los sitios a censar. Esto se puede realizar mediante la utilización de Tablas de Cifras al Azar.

El número de sitios depende de la distribución de los animales en terreno y la exactitud requerida para los resultados finales.

Una estratificación de los sitios según la densidad animal, es indispensable para obtener resultados fiables, cuando la distribución de la vicuña es marcadamente desigual en la zona de censo. El número de sitios a censar varía dentro de cada estrato definido.

#### **Organización del Grupo de Censadores y Equipo de Campo:**

El grupo de censadores se organiza en dos jerarquías: un responsable de la ejecución del censo y un grupo de censadores con entrenamiento previo.

El responsable del censo tiene las siguientes funciones: planificar las etapas del censo en terreno, fijar los componentes del grupo de censadores, revisar el equipo logístico, fijar horarios del censo, fijar transectos de recorrido, distribuir el personal en terrenos, supervigilar la ejecución del censo, recibir y revisar la información diaria.

Los censadores tienen como misión: distribuirse a pie en terreno de acuerdo a las instrucciones del responsable, cuantificar las vicuñas en formularios de sitios, reunirse entre ellos al final de cada jornada para verificaciones de conteos individuales y eliminar animales contados doblemente en zonas de límites de sitios.

En cuanto al equipamiento básico de campo, que permite un óptimo desenvolvimiento del censador en terreno, debe considerarse lo siguiente: binoculares (recomendables 8 x 40), walkie-talkie, vestuario a tono con el medio, saco de dormir, formularios de censo, lápiz, etc.

El equipamiento logístico básico debe consistir en uno o más vehículos doble tracción, equipo de cocina y víveres suficientes para el tiempo de duración del censo.

#### **Epoca del Censo:**

Los censos de reconocimiento, que tienen por finalidad levantar inventario de ciertas áreas, pueden ser realizados en cualquier época del año, con excepción de la época estival en el altiplano (Enero-Marzo) que restringe el trabajo diario a muy pocas horas, debido a las lluvias.

Para censos totales anuales en áreas bajo manejo, que tienen por finalidad determinar el éxito de acciones de protección, así como proporcionar información básica de las poblaciones de vicuñas para la toma de decisiones de un proyecto, la época óptima de realización es entre los meses de Septiembre a Noviembre. Ello obedece a que en esta época se cuantifica el número real de grupos familiares y de machos juveniles, ya que se ha producido la expulsión de éstos del grupo familiar.



El censo total o por muestreo para el conteo de crías que se incorporan normalmente a la población de vicuñas, es recomendable realizarlo al final del período de pariciones, esto es Mayo. Dentro del período de pariciones, Enero a Mayo, los primeros meses presentan el mayor número de pariciones y consecuentemente la mayor mortalidad de crías por muerte natural y acción de depredadores.

#### **Normas de Ejecución:**

Las normas esenciales para la ejecución del censo son las siguientes:

- *Horario de Censo:* Se debe fijar el horario de censo considerando la actividad diaria de la vicuña, el tamaño del sitio y la distancia del sitio con relación al lugar donde pernocta el equipo de censadores.

Normalmente el horario de inicio es a partir de las 09:00 horas, ya que a partir de este momento, se encuentra a la vicuña en su territorio de alimentación o en su desplazamiento hacia éste.

- *Determinación de Transectos:* Dependiendo del tamaño del sitio a censar, se deben fijar los transectos a efectuar por los censadores en su recorrido por el sitio. Esto a su vez puede determinar el número de censadores necesarios en un sitio. Se requiere coordinación entre los censadores durante la ejecución para evitar errores por desplazamiento de vicuñas. Asimismo es vital el uso de los equipos de comunicación y la revisión del registro al final de cada jornada por todos los participantes.
- *Uso de Formularios de Registro:* Los formularios donde se registra el número de vicuñas contadas, deben ser de dos tipos: Formulario de Sitios y Formulario de Resumen.

El formulario de sitio debe ser utilizado por el censador en terreno. Está diseñado para el registro diario y contiene espacios para la identificación del censador, del sitio, de las vicuñas, (diferenciadas por categoría social) así como de información adicional p. ej. vicuñas muertas que sean encontradas. El Cuadro N° 1-3 muestra el formulario de sitio adecuado.

El formulario de resumen es utilizado por el responsable del censo. Resume y tabula toda la información por sitios de censo y totales.

Este formulario se muestra en el cuadro N° 2-3.

Cuando no se disponga de estos tipos de formularios, es útil hacer uso de la regla internacional que obedece a la forma de una fracción: primero se apuntan los machos, luego las hembras después de la coma y las crías en paréntesis. Los no identificados se anotan seguido de una X.



Ejemplo: 1,6 (2) : Grupo familiar con 1 macho, 6 hembras y 2 crías.

1.4 X : Grupo de 14 Vicuñas adultas de sexo y formación social no identificado.

25 ♂♂ : Grupo de 25 machos.

**Análisis de Resultados de la Ejecución del Censo:**

Los análisis de los resultados de la ejecución física del censo y del doble conteo que debe realizarse junto con el primero, tiene por objeto garantizar la confiabilidad del trabajo y de los resultados numéricos del censo.

Básicamente, mediante técnica estadística se debe determinar el error del censo y la capacidad de trabajo de los censadores.

**Cuadro 2-3  
FORMULARIO DE RESUMEN**

Zona de Censo \_\_\_\_\_

--

SITIOS	01	02	03	04	05	06	07	---	N	TOTAL
Superficie Km <sup>2</sup>										
M. Territoriales										
Hembras										
Crías										
M. Solteros										
M. Solitarios										
TOTAL										
G. Familiares										
G. M. Solteros										
TOTAL GRUPOS										

## **Censo Directo y Total**

### **Conteo Total**

La aplicación del censo directo y total se basa en la costumbre marcadamente territorial de la vicuña y en la organización social muy peculiar de esta especie. Tomando en cuenta estas características descritas con minuciosidad en variadas publicaciones y las del hábitat propio de la vicuña, en la práctica, el conteo implica un registro individual y ordenado de todos y cada uno de los ejemplares observados en el área total de cada sitio censal, clasificándolos simultáneamente en sus categorías sociales, sexo y clase de edad.

El trabajo es enteramente diurno, aprovechando las horas de actividad de los animales y siguiendo transectos de alta visibilidad y cobertura en terreno. En cada sitio el conteo es realizado por censadores que pueden desplazarse a pie, a caballo o en vehículo, siguiendo rutas definidas de tal manera que puedan cubrir visualmente el área total del sitio.

### **Errores del Censo**

El conteo total tiene su propio margen de error, entendiéndolo como las diferencias que se espera encontrar en conteos sucesivos de un mismo sitio censal inherente a la técnica misma del trabajo. Por lo tanto, el censo de la vicuña contempla la aplicación de un segundo conteo o recenso en una fracción de la zona de censo o un cierto número de sitios seleccionados al azar, cuyos resultados tienen por objetivo medir el error.

El doble conteo, debe realizarse inmediatamente después del censo general, tomando la precaución de cambiar los equipos de censadores.

### **Análisis del Error por Regresión Lineal Simple**

En este caso se utiliza una regresión lineal simple, entre el primer y segundo conteo, para determinar la magnitud del error en el censo.

Se indica a continuación un ejemplo del censo general de 1980 en la zona de censo de la provincia de Parinacota, Chile.

## Doble Conteo Censo General

### Conteo de 5 Sitios

Grupos familiares	Censo General	Doble Conteo	
Número de Grupos familiares	309	311	
Machos territoriales	309	311	
Hembras	848	904	
Crías	468	496	
Media del grupo	5,3	5,5	
Otros grupos			
Machos solitarios	453	470	
Machos solitarios y/o no identificados	8	19	
Totales			Diferencia
En grupos familiares	1.625	1.711	5 %
En otros grupos	461	489	6 %
Total de animales	2.086	2.200	5 %

### TEST DE ERROR

	Número de Vicuñas		
	Familias	Otros grupos	Total
Primer conteo (a)	1.625	461	2.086
Estimación (b)	1.595	478	2.095
Error de Estimación (S.E.)	3,4	4,9	2,4
Segundo Conteo (c)	1.711	489	2.200
Diferencias	86	28	114
t de student	3,75	3,75	3,75
Valor de p	0,01	0,01	0,01
Error del Censo (%)	0,8 %	3,2 %	0,4 %

Ecuación de Regresión  $y = 35,78 + 0,96 X$

a) Censo General

b) Estimación de la Ecuación de Regresión

c) Doble Conteo

### **Análisis del Error por Análisis de Varianza**

Otro procedimiento adecuado para medir el error del censo es el análisis de varianza con diseño de clasificación doble. Se ejemplifica la medición del error con el censo de la vicuña en la provincia de Parinacota, Chile, para 1982.

### **Doble Conteo Censo General**

#### **Conteo de 15 Sitios**

<b>Identificación Sitio</b>	<b>Vicuñas Censo General</b>	<b>Vicuñas Doble Conteo</b>
03	718	619
05	996	980
06	724	608
07	186	190
09	622	618
10	933	930
13	240	236
14	740	731
18	274	268
21	364	356
22	217	214
24	31	33
27	270	264
30	320	296
32	836	872
Promedio (Vicuas/Sitio)	481,13	498,07
Desviación Standar	298,62	291,91

## Muestreo Aleatorio

El muestreo al azar es un tipo fundamental de muestra probabilística, en que todos y cada uno de los elementos de una población tienen igual posibilidad de pertenecer a la misma. El carácter aleatorio es esencial en el muestreo probabilístico y por lo tanto para la propia inferencia estadística.

### Tamaño de la Muestra

Para que el muestreo arroje antecedentes precisos del tamaño de la población, es necesario recoger la información a partir de un tamaño óptimo de muestras. En otras palabras, es necesario determinar el número de sitios que es necesario censar para que no se detecten diferencias significativas entre la magnitud de la población estimada y la verdadera. A continuación se entregan antecedentes sobre criterios que pueden utilizar para definir el tamaño de la muestra.

**Límite de Confianza.** Las reglas señalan que si se considera el promedio  $\bar{y}$  de algún conjunto de valores  $y_1, y_2 \dots y_n$  la noción de Límites de Confianza es que, para un gran número de muestras (que en nuestro caso son los sitios censados) de tamaño  $n$  de la misma población,  $\bar{y}$  se ubicará dentro de cierto intervalo (Intervalo de Confianza) que incluye la verdadera (pero desconocida) media,  $\mu$  es una proporción fija  $(1 - \alpha)$  del número total de unidades de muestreo. Frecuentemente  $\alpha$  es tomado ya sea como 0,05 ó 0,01, así que,  $1 - \alpha$  es 0,95 ó 0,99 y se dice que en 95 (ó 99) de 100 unidades de muestreo, se espera que  $\alpha$  esté dentro del Intervalo de Confianza.

### Análisis de Varianza del Cuento

Origen variación	gl	SC	CM	F	p
Sitios	14	2.603.203,2	186.085,94	244,86	0,01
Conteos	1	2.150,53	2.150,53	2,83	0,01
Error	14	10.639,47	759,96		
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	<b>2.617.993,20</b>			

En esta tabla, se muestran las razones F por las filas (sitios) y las columnas (conteos), las cuales se interpretan mediante la Tabla de Distribución F de Snedecor. El contraste obtenido es el siguiente:

- a)  $F_{14,14,0,01} = 3,36$  para las líneas. La razón para los sitios es altamente significativa, lo que es obvio, puesto que los sitios difieren entre sí, en particular por la condición del hábitat y el tamaño.
- b)  $F_{1,14,0,01} = 8,86$  para las columnas. La razón F para los conteos carece de significación estadística, lo que indica que el censo y doble censo no difieren significativamente entre sí.

Las diferencias, que son atribuibles a causas aleatorias constituyen el error, el cual se determina calculando el Error Standar de acuerdo a la expresión:

$$\bar{Sx} = \sqrt{\frac{CMe}{n}}$$

Donde CMe = Cuadrado Medio del Error  
 n = número de sitios

En el ejemplo, resolviendo la ecuación se obtiene  $\bar{Sx} = 7,12$ , lo que representa un 1,45% del promedio general de los conteos o Error del Censo.

Este mismo diseño ofrece la posibilidad de investigar algunas fuentes del error del censo de conteo de los censadores, capacidad de observación y otros.

### Muestreo

En esencia, las dificultades que presenta la estimación de la población de animales por medio de muestreo, es la circunstancia que la vicuña no se distribuya uniformemente en el espacio. Por tanto, el censo por muestreo trata de estimar la densidad animal según las probabilidades de intersección de dos sistemas geométricos independientes. El primero formado por las muestras, que se distribuyen al azar y el segundo por los organismos que también, por hipótesis inicial, se suponen distribuidos al azar.

### Distribución Espacial de las Poblaciones de Vicuñas

La importancia de la disposición espacial de los individuos de una población de animales, tiene particular relevancia para el método de muestreo a diseñar. A continuación se presentan algunos modelos de distribución espacial de la vicuña que se consideran apropiados:



## Método

Metodológicamente se procedió a fijar sitios de igual tamaño en un área representativa del hábitat y ecología de las poblaciones de vicuñas. El área se dividió en retículas de 2.500 m<sup>2</sup>, con un conteo de animales dentro de la retícula y con un desplazamiento de los censadores controlado con instrumentos.

- a) Modelo de Poisson: Este modelo, por sus propiedades, satisface mejor las condiciones ecológicas de un arreglo al azar.

$$P(x) = \frac{m^x e^{-m}}{x!}$$

en que: P(x) = probabilidad  
m = media  
x = individuos por retícula

- b) Modelo Neyman Tipo A: es un modelo de distribución generalizada y muestra la distribución del número de individuos por retícula. La función generatriz de probabilidades de tener x individuos en una muestra, está dada por:

$$P(x = n+1) = \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot e^{-m_2}}{n+1} \sum_{K:0}^n \frac{m_2^k}{K!} P(x = n - k)$$

$$P(0) = e^{-m_1} (1 - e^{-m_2})$$

$$\text{donde: } m_1 = \frac{(\bar{X})^2}{S^2 - \bar{X}} \quad \text{y} \quad m_2 = \frac{S^2 - \bar{X}}{\bar{X}}$$

en que:  $\bar{X}$  = media de la distribución  
 $S^2$  = varianza

c) Modelo de distribución binomial negativa. Corresponde también a un modelo de distribución generalizada en que muestra la distribución del número de retículas contenidas para una muestra, y obedece a la expresión:

$$P(x) = \frac{P(x-1)R(K+x-1)}{x}$$

$$P(0) = \left(1 + \frac{m-K}{K}\right)^{-K}$$

$$\text{donde: } R = \frac{\bar{x}}{k + \bar{x}}$$

$$\text{y: } K = \frac{\bar{x}^2}{S^2 - \bar{x}}$$

A continuación se indican los resultados de la aplicación de los modelos.

x Nº Individuos	f Nº Retículas	P(x) Probabilidades NEYMAN			fe Probabilidades NEYMAN		
		POISSON	Tipo A	Binomial	POISSON	Tipo A	Binomial
0	11	0,0072	0,0937	0,0572	0,5	6,3	3,8
1	2	0,0356	0,0819	0,1032	2,4	5,5	6,9
2	2	0,0878	0,1066	0,1258	5,9	7,1	8,4
3	11	0,1438	0,1132	0,1288	9,6	7,6	8,6
4	11	0,1772	0,1095	0,1193	11,9	7,3	8,0
5	5	0,1747	0,0997	0,1036	11,7	6,7	6,9
6	7	0,1436	0,0864	0,0859	9,6	5,8	5,8
7	2	0,1011	0,0759	0,0688	6,8	5,1	4,6
8	4	0,0623	0,0578	0,0537	4,2	3,9	3,6
9	2	0,0341	0,0453	0,0410	2,3	3,0	2,7
10	1	0,0168	0,0341	0,0308	1,1	2,3	2,1
11	2	0,0075	0,0250	0,0228	0,5	1,7	1,5
+ 12	7	0,0031	0,0179	0,0167	0,2	1,2	1,1
<hr/> 67 Total							

Para analizar la bondad del ajuste de los modelos de distribución, se utiliza el método del chi cuadrado, que obedece a la expresión eneral:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(F_i - \hat{F}_i)^2}{\hat{F}_i}$$

en que  $X^2$  = chi cuadrado

$F_i$  = Frecuencias observadas

$\hat{F}_i$  = Frecuencias Esperadas por el Modelo

Aplicando los test de  $X^2$ , resultan para los modelos:

Poisson  $X^2 = 9,73; X^2_{0,99} = 13,3$

Neyman Tipo A  $X^2 = 13,5; X^2_{0,99} = 11,3$

Binomial Negativo  $X^2 = 6,38; X^2_{0,99} = 6,63$

En el caso de modelo Binomial Negativo se aplicó correcciones Yates. Comparando los  $X^2$  calculado por los valores  $X^2$  al 99%, es posible inferir que existe concordancia entre los datos observados y los esperados por la distribución teórica de Poisson y Binomial Negativo. Aún así, los ajustes no explican la distribución espacial de la vicuña, sino que tan sólo la describen.

Ahora bien, si se apela a aspectos ecológicos, tanto del hábitat de la vicuña como del comportamiento de la especie, se pueden establecer criterios que indican la distribución espacial.

Los supuestos de la distribución al azar difícilmente se pueden cumplir en el caso de la vicuña, por cuanto la irregularidad del hábitat no permite que todas las retículas del espacio tengan la misma probabilidad de ser ocupadas por un individuo. Por otra parte, como la presencia de un individuo en un punto del espacio no afecta la presencia de otro, los fenómenos de interacción tanto positiva como negativa, es decir agregación social, competencia interespecífica y otros, quedarán eliminados.

Los supuestos de distribución agrupada explican de forma más eficiente la distribución espacial de la vicuña. En efecto, si no todos los individuos tienen la misma probabilidad de pertenecer a una retícula, implica la presencia de un hábitat discontinuo. Por otra parte, por el comportamiento de la especie ocurren fenómenos de interacción positivos, entre los que destacan agrupaciones de tipo social, agrupaciones con fines de alimentación, de reproducción, traslado a dormideros, competencias interespecíficas y otras.

Sobre la base de lo expuesto es posible señalar que la distribución espacial de la vicuña es de tipo agrupada al azar.

Los intervalos pueden ser determinados de dos maneras equivalentes. Una alternativa es suponer que se desea basar el intervalo en una proporción (p) o porcentaje (100 p), con lo que en 95 (o 99) de 100 intentos  $\bar{y}$  no diferirá de  $\mu$  por más de un 100% unidades absolutas, por más que  $p\mu$ .

Otra alternativa, es inferir que la diferencia absoluta entre  $\bar{y}$  y  $\mu$  excederá alguna cantidad predeterminada d, con una probabilidad  $\alpha$  sea en 5 (ó 1) casos de 100, la muestra  $\bar{y}$  se ubicará fuera del intervalo de confianza. Por tanto, según los criterios de probabilidad en que se basa la primera alternativa, el tamaño de la muestra viene dada por la expresión siguiente:

$$n = \frac{2 (Z\alpha + Z\beta)^2 V^2}{\delta^2}$$

donde n = número de sitios a censar para cada población.

$Z\alpha$  = valor de la distribución normal estándar para el nivel de confianza de la prueba (Error Tipo 1).

$Z\beta$  = valor de la distribución estándar para la potencia de prueba (Error Tipo 2).

V = varianza común a las dos poblaciones.

$\delta$  = mínimas diferencias que se quieren detectar entre las dos poblaciones.

Este criterio se utiliza cuando se quieren detectar diferencias entre dos poblaciones.

El error tipo 1 señala la probabilidad de asumir una real diferencia cuando ésta no existe, y comúnmente  $Z\alpha$  equivale a 1,96 ó 2,33 según  $\alpha$  sea 0,05 ó 0,01. Para el error tipo 2, los valores de  $Z\beta$  pueden definirse según la experiencia como sigue:

Error ( $\beta$ )	Potencia ( $1-\beta$ )	$Z\beta$
0,20	0,80	0,84
0,10	0,90	1,28
0,05	0,95	1,64
0,01	0,99	2,33

Si se elige la segunda alternativa de probabilidad, el tamaño de la muestra viene dado por:

$$n = \frac{4}{p^2} \cdot C^2$$

donde  $p$  = valor del límite de confianza que se fija.  
 $C$  = coeficiente de variación

en que el coeficiente de variación se expresa por:

$$C = \frac{\rho}{\mu}$$

$\rho$  = desviación típica  
 $\mu$  = media de la población

Tamaño de la muestra de la prueba t mediante tablas. Si se desconoce la desviación típica de la población y si no se desea definir la diferencia detectable mínima en función de un valor desconocido de la varianza, se puede estimar por una parte, el valor de la desviación típica a base de un muestreo preliminar, utilizando una muestra pequeña, en la cual se calcula la desviación típica de la muestra y se calcula el tamaño de la muestra según la expresión siguiente:

$$n = \left[ (t_{\alpha/2} + t_{\beta} \frac{S}{d}) \right]^2$$

donde  $t_{\alpha}$  y  $t_{\beta}$  = riesgos que se aceptan (valores de  $Z_{\alpha}$  y  $Z_{\beta}$ )

$S$  = desviación típica de la muestra preliminar  
 $d$  = diferencia deseada con la media verdadera.

Otra alternativa es utilizar la desviación típica estimada en la muestra y calcular la expresión siguiente:

$$D = \frac{\rho}{S}$$

Con el valor se recurre a tablas que definen el tamaño de la muestra.

### Procedimiento con Sitios de Igual Tamaño

Si la zona de censo está dividida por franjas o transectos que determinan sitios de igual tamaño, la estimación por muestreo se puede realizar a partir del producto de la media del muestreo por el total de sitios.

El ejemplo hipotético de la Fig. 7-3 representa una zona con 10 sitios numerados de igual tamaño y con sus respectivas poblaciones. Los sitios 3, 5, 6 y 8 representan la muestra. Puesto que la media es la base de la estimación de la población total y ésta depende de la media de cada unidad de muestreo, para diferentes selecciones al azar se obtienen diferentes resultados, siendo estas diferencias el error del muestreo. La magnitud del error del muestreo puede ser establecida examinando la variación de la densidad de las muestras seleccionadas, es decir, estableciendo la varianza de la población.

A mayor variabilidad en la densidad poblacional mayor será la varianza y a la inversa.

Conocida la varianza, se entra al cálculo de los límites de confianza (al 95%) de la estimación muestral.

Los cálculos realizados en la Fig. 7-3 se basan en el método de Jolly para unidades de muestreo de igual tamaño. El significado de la notación utilizada es la siguiente:

$N$  = Número total de sitios

$n$  = Número de sitios de la muestra

$y$  = Número de animales contados en cada sitio

$\bar{y}$  = Media del muestreo =  $\Sigma y/n$

$$S_y^2 = \text{Varianza del muestreo} = \frac{1}{n-1} \cdot \Sigma y^2 - \frac{(\Sigma y)^2}{n}$$

$\hat{Y}$  =  $N \cdot \bar{y}$  = Población total estimada

$$\text{Var}(\hat{Y}) = \frac{N(N-n)}{n} \cdot S_y^2 = \text{Varianza de la población}$$

$\text{SE}(\hat{Y}) = \sqrt{\text{Var}(\hat{Y})}$  = Error estándar de población

$\hat{Y} \pm t \cdot \text{SE}(\hat{Y})$  = Límite de confianza al 95%

**Figura 7-3**  
**Muestreo al Azar en sitios de igual tamaño**

Sitios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
población (y)	10	16	14	12	9	10	9	9	8	3
Sitio de Muestreo			*		*	*		*		
N = 10		$\Sigma y = 42$		$\Sigma y^2 = 458$						
n = 4		$(\Sigma y)^2 = 1764$								
Cálculos										
$\bar{y}$	$42/4 = 10,5$									
$\hat{Y}$	$10,5 \cdot 10 = 105$ animales									
$S_y^2$	$1/3 \{458 - 1764/4\} = 5,67$									
Var ( $\hat{Y}$ )	$10 (10 - 4) / 4 \cdot 5,67 = 84,99$									
SE ( $\hat{Y}$ )	$\sqrt{84,99} = 9,22$									
Límite Confianza de $\hat{Y}$ al 95%	$\pm 1,96 \cdot 9,22 = \pm 18$ animales									

De acuerdo con los cálculos de la Figura 7-3, la población estimada Y es de 105 animales. El límite de confianza al 95% para la estimación muestral Y se calculó en  $\pm 18$  animales.

Por lo tanto cabe esperar, aproximadamente, que en el 95% de intentos de muestreo con 4 sitios, las medias de dichas muestras distarán menos de 18 animales de la media de la población, es decir,  $1,96 \cdot 9,22$  animales.

Para el caso analizado la media de la muestra es 10,5. Entonces se puede afirmar que la probabilidad de que esta media de la muestra diste menos de 18 animales de la media de la población es 0,95. En resumen, con muestras de

tamaño 4, la probabilidad que las medias de las muestras pertenezcan al intervalo limitado por 87 - 123 animales es 95%.

$$\hat{Y}_{\text{superior}} = \hat{Y} + 18 = 123 \text{ animales}$$

$$\hat{Y}_{\text{inferior}} = \hat{Y} - 18 = 87 \text{ animales}$$

### Procedimiento con Sitios de Diferente Tamaño

En la práctica lo común es que la zona de censo se divida en sitios de diferente tamaño que presentarán diferentes densidades, por lo que el muestreo obliga a resolver este problema. De acuerdo con Jolly (op. cit.), para la resolución de estos problemas se aplica el Método Proporcional, el cual se basa en el cálculo de la relación de todos los animales contados con todas las diversas unidades de muestreo, es decir, es una estimación de la densidad promedio por unidad de muestreo. La expresión se denota por  $\hat{R}$ :

$$\hat{R} = \frac{\text{Total de animales contados en la muestra}}{\text{Superficie total de sitios del muestreo}} = \frac{\sum y}{\sum z}$$

La población total estimada  $\hat{Y}$ , resulta ahora de multiplicar  $\hat{R}$  por  $Z$ . Siendo  $Z$  la superficie total de la zona de censo. Con  $\hat{R}$  se elimina el efecto del tamaño diferente de las unidades de muestreo.

El cálculo de la varianza de la población es ahora más complicado ya que requiere de la resolución previa de 3 términos: la varianza de los animales contados en cada sitio y la varianza de las áreas de los sitios,  $S_y^2$  y  $S_z^2$  respectivamente; la varianza  $S_{zy}$  entre el número de animales contados en cada sitio y el tamaño de estos sitios.

Finalmente se entra al cálculo del límite de confianza al 95%. Respecto del valor  $t$  utilizado para ello, se recomienda un  $t = 1.96$  sólo para un número de unidades de muestreo superior a 30. El valor  $t$  apropiado para muestras menores resulta de  $n - 1$  ( $n$  menos un grado de libertad). Por ejemplo para una muestra de tamaño  $n = 12$ ,  $n - 1 = 11$ , donde el valor  $t$  extraído de la tabla  $t$  Student para el 95% de confianza es 2.2.

La Figura 8-3 representa un ejemplo de este tipo de muestreo. Se incluyen 12 sitios que representan una muestra de una zona de censo de 126 sitios. Los cálculos realizados se basan en el Método de Jolly (op. cit.) para unidades de



muestreo de diferente tamaño. El significado de la notación utilizada es la siguiente:

$N$  = Número total de unidades o sitios

$n$  = Número de sitios de la muestra

$Z$  = Superficie de la Zona de Censo

$z$  = Superficie de cada sitio de muestreo

$y$  = Número de animales contados en cada sitio

$\hat{R} = \frac{\Sigma y}{\Sigma z} =$  Relación entre los animales contados y el área de los sitios de la muestra.

$S_y^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \left\{ \Sigma y^2 - \frac{(\Sigma y)^2}{n} \right\} =$  Varianza entre animales contados en todos los sitios muestreados.

$S_z^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \left\{ \Sigma z^2 - \frac{(\Sigma z)^2}{n} \right\} =$  Varianza entre la superficie de todos los sitios muestreados.

$S_{zy} = \frac{1}{n-1} \cdot z \cdot y - \frac{(\Sigma z) \cdot (\Sigma y)}{n} =$  Varianza entre los animales contados y la superficie de cada sitio muestreado.

$Y = Z \cdot R =$  Población Total

$\text{Var}(Y) = \frac{N(N-n)}{n} \cdot (S_y^2 - 2 \cdot R \cdot S_{zy} + R^2 \cdot S_z^2) =$  Varianza de la población

$\text{SE}(Y) = \text{Var}(Y) =$  Error estándar de la población.

$Y = \pm t \cdot \text{SE}(Y) =$  Límite de confianza al 95%.

**Figura 8-3**  
**Muestreo al Azar con sitios de Tamaño Diferente**

Sitios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Población (y)	2	26	110	82	89	75	42	50	47	23	30	54
Superficie (z)	8,2	13,7	25,8	25,2	21,9	20,8	23,0	19,2	21,4	17,5	19,2	20,8
$N = 126 \quad \Sigma y = 630 \quad \Sigma y^2 = 43868 \quad \Sigma z \cdot y = 13820$ $n = 12 \quad \Sigma z = 237 \quad \Sigma z^2 = 4931 \quad Z = 2829 \text{ Km}^2$												
Cálculos												
R	$630/237 = 2,66$											
$S_y^2$	$1/12 - 1 \cdot \{43868 - (630)^2 / 12\} = 981$											
$S_z^2$	$1/12 - 1 \cdot \{4931 - (237)^2 / 12\} = 23$											
$S_{zy}$	$1/12 - 1 \cdot \{13820 - (237) \cdot (630) / 12\} = 125$											
$\hat{Y}$	$2,66 \cdot 2829 = 7525 \text{ animales}$											
Var ( $\hat{Y}$ )	$126 (126 - 12) / 12 \cdot (981 - 2 \cdot 2 \cdot 2,66 \cdot 125 + 2,66^2 \cdot 23) = 573050$											
SE: ( $\hat{Y}$ )	$\sqrt{573050} = 757$											
Límite Confianza de Y a 95%	$\pm 2,2 \cdot 757 = \pm 1665 \text{ animales}$											
Límite Confianza en Porcentaje de $\hat{Y}$	$1665 \cdot 100 / 7525 = \pm 22\%$											

## Muestreo Estratificado

El principio de la estratificación es dividir la zona de censo en subzonas o estratos, en los cuales la densidad animal es aproximadamente uniforme. El muestreo al Azar se realiza en cada estrato en forma independiente y los resultados son combinados posteriormente.

Cuando la zona de censo tomada como un todo para el muestreo, presenta densidades muy diferentes, da como resultado una varianza muy alta, lo que induce a un error del muestreo también muy alto. Por lo tanto, la realización de un muestreo estratificado en este caso, presenta la ventaja de trabajar con subzonas más homogéneas y reducir la varianza y el error de muestreo. La subdivisión de la zona de censo debe hacerse en consecuencia sobre la base de la densidad.

El procedimiento de cálculo del muestreo estratificado se explica en la Figura 9-3. En ésta para cada uno de los estratos de densidades diferentes, se calcula la población  $\hat{Y}_h$  de acuerdo con el procedimiento de Muestreo al Azar ya explicado y luego los resultados se combinan para el resultado de la estimación total. La notación utilizada es la siguiente:

$\hat{Y}_h$  = Población estimada por muestreo en el estrato h.

$\text{Var}(\hat{Y}_h)$  = Varianza de la población del estrato h.

$n_h$  = Número de sitios en el estrato h.

$\hat{Y} = \sum \hat{Y}_h$  = Población total estimada

$\text{Var}(\hat{Y}) = \sum \text{Var}(\hat{Y}_h)$  = Varianza de la población.

$\text{SE}(\hat{Y}) = \sqrt{\text{Var}(\hat{Y})}$  = Error estándar de la población

El límite de confianza del 95 % para  $\hat{Y}$  resulta de multiplicar  $\text{SE}(\hat{Y})$  por 1,96 cuando el valor de  $n = (\sum n_h)$  es mayor de 30.

**Figura 9-3**  
**Muestreo por estratos basados en densidades animales diferentes**

Estratos	Densidad (Animal/Km <sup>2</sup> )	$\hat{Y}_h$	Var ( $\hat{Y}_h$ )	$n_h$
1	10	4410	492810	15
2	5	4600	835440	9
3	1	4590	306330	21

$\hat{Y} = \Sigma \hat{Y}_h = 13600$

Var ( $\hat{Y}$ ) =  $\Sigma \text{Var} (\hat{Y}_h) = 1.634.580$

SE ( $\hat{Y}$ ) =  $\sqrt{\text{Var} (\hat{Y})} = 1279$

Límite confianza al 95%:  $1279 \cdot 1,96 = \pm 2507$  animales

Límite confianza en porcentaje:  $2507 \cdot 100 / 13600 = \pm 18\%$



# 4

## ECOLOGIA DE POBLACIONES DE VICUÑA

Gerald D. Svendsen

Una *población* de animales es un grupo de individuos de la misma especie, que ocupa un área determinada en un mismo momento. Podemos hablar de la población de vicuñas existentes en la Reserva Nacional Pampa Galeras, de la población de vicuñas en Chile o de la población que existía en Sudamérica en 1984. La delimitación de una población en términos de tiempo y espacio es arbitraria, la establece el investigador. Una población se compone de *individuos*. Los individuos de una población pueden subdividirse en varios tipos de grupos. Dichos grupos pueden ser familias, grupos sociales y demes. La unidad colectiva más pequeña de una población es la *población local o deme*. Un deme es la subpoblación dentro de la cual los miembros tienden a aparearse y a formar grupos que se entrecruzan localmente. Los demes tienen características que los diferencian del conjunto de la población, de otros demes y de los individuos que componen la población.

Los biólogos miden con frecuencia las características de los individuos de una población. Registran el nacimiento de un individuo y quiénes son sus progenitores, el ritmo de crecimiento de los recién nacidos, el tamaño final de sus cuerpos, la edad a la cual se reproducen por primera vez y la frecuencia con que se reproducen, el lugar donde viven y la frecuencia con que se trasladan, la edad a la cual mueren, etc. Cada individuo difiere de otros individuos de la población en lo que respecta a las características que hemos escogido medir. Se dice que una población compuesta de individuos que difieren en una o más características es *polimorfa* en lo que respecta a estos rasgos. A su vez, las poblaciones pueden ser diferentes unas de otras en cuanto a estas características. Una especie compuesta de poblaciones que difieren en una o más características es *politépica*.

Cuando se suman las características de todos los individuos de una población, emergen características nuevas, las cuales describen la población y no

a los individuos. Las poblaciones se forman, crecen, los individuos pueden dejarlas o incorporarse a ellas, y también pueden extinguirse. Cuatro son los principales parámetros que afectan el tamaño o la densidad de una población (Krebs, 1985). Estos son la natalidad (nacimientos), la mortalidad (muerte) la inmigración (la incorporación de individuos), y la emigración (la salida de individuos). Además, pueden derivarse características secundarias de una población, tales como la *distribución etaria*, la *composición genética* y el *patrón de distribución de los individuos en el espacio*.

### **Estimación de la Abundancia**

El tamaño de una población sufre variaciones a través del tiempo como resultado de cambios en la natalidad, la mortalidad, la inmigración y la emigración. Puede producirse un aumento de una población como resultado de un aumento del número de nacimientos o de la suma de nuevos inmigrantes. Una población puede disminuir debido a un aumento de la mortalidad o debido a la emigración de animales. Con el fin de determinar si una población cambia de tamaño, debemos contar con un método confiable para estimar la abundancia de individuos en la población.

*La densidad*, el número de individuos por unidad de área, es el parámetro estadístico más útil para estimar la abundancia. Para determinar la densidad, necesitamos conocer dos cosas: a) el área a través de la cual contamos los individuos y b) el número de individuos presentes en dicha área. Los conteos totales de individuos son de poco valor, a menos que se conozca el área a través de la cual se realizó el conteo. Por ejemplo, se contaron 1.200 vicuñas en la Población A y 600 vicuñas en la Población B. A partir de estos datos, sólo podemos decir que contamos más vicuñas en la Población A que en la Población B. Si el área a través de la cual contamos vicuñas en la Población A fuera el doble del área correspondiente a la Población B, la densidad de vicuñas sería la misma en ambas poblaciones. Por ejemplo, 20 vicuñas por kilómetro cuadrado. Mediante el uso de la densidad, logramos una mayor comprensión de las dos poblaciones. La densidad es un parámetro estadístico básico para comparar la abundancia de una población en relación con otra y para analizar la dinámica de las poblaciones.

Existen diversos métodos para estimar la densidad. Se puede determinar tanto la *densidad absoluta* como la *densidad relativa*. La densidad absoluta es el número de individuos por unidad de área. Si se emplea un procedimiento de conteo preciso y se mide el área en forma cuidadosa, la medida más conveniente de usar es la densidad absoluta. Sin embargo, muchas veces no es posible contar todos los individuos presentes en un área, por lo que se debe recurrir a un índice de abundancia llamado densidad relativa. La densidad relati-

va es un índice que permite decir que el Area A tiene más o menos vicuñas que el Area B, lo cual constituye una estimación cualitativa. La densidad absoluta permite decir exactamente cuántas vicuñas más o menos que el Area B tiene el Area A.

Los censos de 1979, 1980 y 1981 realizados en la Reserva Nacional Pampa Galeras proporcionaron conteos totales de vicuñas dentro de los límites de la Reserva. En 1980 y 1981, se dividió la reserva en unidades de muestreo medidas y se contaron todas las vicuñas presentes en cada unidad de muestreo, obteniéndose así la densidad absoluta. Sin embargo, puede no ser posible obtener conteos totales en todos los casos, como consecuencia de restricciones presupuestarias, mano de obra o tiempo. Entonces se utiliza el *muestreo*. El muestreo es un procedimiento mediante el cual se cuenta sólo una pequeña porción de la población, se determina su densidad y luego se utilizan los parámetros estadísticos de la muestra para estimar los parámetros de la población. Para que la estimación sea precisa, cada muestra debe ser representativa del conjunto de la población. Esto se logra por medio del muestreo al azar.

Por ejemplo, las vicuñas habitan un área de 10.000 Km<sup>2</sup>. El área se divide en una grilla, utilizando cuadrados de 500 Ha. Se dibuja la grilla en un mapa topográfico o en fotografías aéreas del área de estudio y se enumera cada cuadrado. Se escriben los números correspondientes a cada cuadrado en trozos de papel y éstos se colocan en una caja. Se realizará el muestreo en diez cuadrados, por lo que extraen de la caja diez números, los cuales corresponden a dichos cuadrados. A continuación, se envía a personal de terreno a contar todas las vicuñas que se encuentran en cada uno de los diez cuadrados de 500 Ha. Así obtenemos el número de vicuñas por 500 Ha de cada uno de estos cuadrados; entonces utilizamos la densidad media derivada de los diez cuadrados para estimar la densidad de la población total.

Utilizando los datos del censo de Galeras Central, se seleccionaron diez parcelas de muestreo al azar y se estimó la densidad de vicuñas en Galeras Central, por medio de conteos de las vicuñas existentes en cada parcela.



Parcela de muestreo	Ha	Número de vicuñas existente	Vicuñas/parcela de muestreo
8	225,92	111	0,491
23	347,33	79	0,227
13	561,71	55	0,098
15	381,14	49	0,129
11	153,98	46	0,299
19	816,08	575	0,705
14	227,00	58	0,256
4	243,23	51	0,210
7	282,82	138	0,488
22	372,07	191	0,513
	<u>3.611,28</u>	<u>1.353</u>	<u><math>\bar{Y} = 0,375</math></u>

La densidad de vicuñas estimada sobre la base de nuestra muestra de tamaño  $n = 10$  es de  $\bar{Y} = 0,375$  vicuñas por hectárea. Esta es una estimación a partir de una muestra. Si repetimos el procedimiento de muestreo, la segunda estimación a partir de una muestra puede diferir de la primera, debido a que se incluirían diferentes parcelas en la muestra. No obstante, cada muestra al azar proporciona una estimación de la densidad real de vicuñas en la población. Cuanto mayor es el tamaño de la muestra, más cerca estamos de una medición de la población misma. Generalmente, las muestras grandes insesgadas son más adecuadas que las muestras pequeñas. Sin embargo, lo importante no es el tamaño de la muestra en sí, sino cuán representativa es ésta. Una pequeña muestra representativa es mejor que una muestra grande sesgada.

Podemos estimar la confiabilidad de un parámetro estadístico basado en una muestra estableciendo límites de confianza para la estimación. Para hacer esto, debemos conocer el grado de variación que se puede esperar entre las réplicas de dicho parámetro. La variación entre las estimaciones de la media de una muestra está dada por el error standard de la media ( $s_{\bar{Y}}$ ).

Para calcular  $s_{\bar{Y}}$ , necesitamos la desviación standard de las observaciones obtenidas a partir de la muestra ( $s$ ) y los grados de libertad ( $gl = n - 1$ ).

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\sum Y^2 / n - 1}$$

Donde:  $\sum Y^2 = Y^2 - (\sum Y)^2 / n$

En nuestro ejemplo,  $Y^2$  (la suma de los cuadrados del número de vicuñas por hectárea por parcela de muestreo) = 1.5159 y  $n = 10$ .

$$\Sigma Y^2 = 1,5159 - (0,375)^2 / 10 = 1,5018$$

$$s^2 = \Sigma Y^2 / n - 1 = 1,5018 / 9 = 0,1668$$

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{0,1668} = 0,4084$$

$$s_{\bar{Y}} = s / \sqrt{n} = 0,4084 / \sqrt{10} = 0,1291$$

Sobre la base de nuestra muestra, la estimación de la densidad de vicuñas en Galeras fue  $\bar{Y} = 0,375$  vicuñas por hectárea, con un error estándar de la media de 0,1291. Podemos estimar la confiabilidad de nuestro parámetro obtenido de la muestra estableciendo límites de confianza para la media. Los límites de confianza son los límites dentro de los cuales tenemos certeza que se encontrará el valor real para la población. Podemos fijar el nivel en el cual establecemos los límites de confianza en cualquier valor que deseemos; por lo general, se utilizan límites de confianza del 95%. Los límites de confianza del 95% contienen el intervalo que incluirá el valor real de la densidad de vicuñas en la población el 95% de las veces que se construyan sobre la base de muestras.

Para establecer límites de confianza del 95% para la estimación,

$$L = \bar{Y} - t_{\alpha, gl} s$$

$$L = \bar{Y} + t_{\alpha, gl} s$$

Donde:  $t_{\alpha, gl}$  es el valor crítico de la distribución  $t$  de Student para  $\alpha = 0,05$

y

$gl =$  tamaño de la muestra = 10. El valor crítico para  $\alpha = 0,05$  y  $gl = 10$  es 2,228.

$$L = 0,375 - 2,228 (0,1291) = 0,0873$$

$$L = 0,375 + 2,228 (0,1291) = 0,6626$$

La densidad real de vicuñas se encuentra entre 0,0873 y 0,6626 por hectárea. En este ejemplo, se conocía la densidad real de vicuñas en Galeras Central, la que correspondía a 0,370. Nuestra estimación a partir de la muestra, equivalente a 0,375, constituía una aproximación muy cercana y la densidad real de la población estaba contenida dentro del intervalo de confianza del 95% respecto de nuestra estimación de la muestra.

En el método de muestreo utilizado en este ejemplo, se emplearon cuadrados de tamaño conocido y se contaron todas las vicuñas que ocupaban un

cuadrado. Este procedimiento entregó una estimación de la densidad media de la población y la variabilidad de la densidad en los diferentes cuadrados. Constituye un método muy confiable, siempre y cuando la muestra no esté sesgada y sea representativa del conjunto de la población. Al parecer es bastante adecuado para estimar la densidad de vicuñas, puesto que se pueden definir las parcelas de muestreo y realizar conteos totales de vicuñas en un cuadrado determinado.

En el caso de muchas poblaciones animales, es imposible obtener estimaciones de la densidad de población basadas en conteos directos. En tales circunstancias, se utiliza el método de captura y recaptura. Este implica capturar y marcar un segmento de la población en una ocasión y luego establecer mediante muestreo la razón entre los animales marcados y los animales no marcados en la población en una o más ocasiones posteriores. La técnica de captura y recaptura más simple corresponde al índice de Peterson o al de Lincoln. Se captura una muestra de la población ( $M$ ), se marca y a continuación se devuelve a la población. Luego de un tiempo suficiente como para permitir la dispersión de los animales marcados al interior de la población, se lleva a cabo un segundo muestreo. El tamaño de la población se estima de acuerdo a:

$$N = MC/R$$

Donde: ( $M$ ) es el tamaño de la muestra marcada  
( $C$ ) es el total de animales marcados presentes en la segunda muestra  
( $R$ ) es el total de animales que conforman la segunda muestra  
( $N$ ) es el tamaño de la población

Las técnicas de captura y recaptura no son tan adecuadas para estimar la densidad de población de las vicuñas como la observación directa de vicuñas en los cuadrados de una grilla. Las vicuñas son visibles y ocupan un área local, lo cual posibilita los conteos directos. Además, debido a los problemas que plantean la captura y el manejo, los conteos directos resultan preferibles a las técnicas de captura y recaptura.

### Cambios en la Población

La densidad se utiliza para analizar y comparar poblaciones en el tiempo y en el espacio. Supongamos que medimos la densidad de vicuñas en una población en un tiempo  $t$  y luego lo hacemos nuevamente en un tiempo  $t + 1$ . Encontramos que la densidad ha aumentado. Nuestra estimación nos entrega la dirección y la magnitud del cambio; sin embargo, no nos da la razón de este cambio. Necesitamos realizar otros estudios para determinar por qué ha aumentado la densidad desde el tiempo  $t$  a  $t + 1$ . Pudo haberse debido a un incremento de la natalidad o a una disminución de la mortalidad; quizás se

debió a un aumento de la inmigración o a una disminución de la emigración. Todos estos factores influyen en la densidad.

Las poblaciones aumentan como consecuencia de la *natalidad*. La tasa de natalidad es la tasa según la cual se producen nuevos individuos. En el caso de las vicuñas, la tasa de natalidad es equivalente a la tasa de nacimientos. La reproducción está relacionada con dos aspectos: la *fertilidad* y la *fecundidad*. La fertilidad es la noción fisiológica que indica que un individuo es capaz de procrear. La fecundidad es el concepto ecológico que se basa en el número de crías nacidas durante un período de tiempo. Lo que nos interesa es la fecundidad. La fecundidad potencial de una vicuña hembra adulta es de una cría por año. Sin embargo, la fecundidad real se aproxima a 0,33 crías por año.

Las poblaciones disminuyen como consecuencia de la *mortalidad*. Es importante saber por qué razón mueren los individuos y también por qué mueren a distintas edades. La *longevidad* se halla determinada genéticamente y los organismos que viven en condiciones óptimas mueren de *senectud*. Sin embargo, en condiciones que no son las óptimas, la longevidad real es menor que la longevidad potencial, debido a que los individuos mueren por causa de enfermedades, son presa de predadores o mueren por otras circunstancias fortuitas. La longevidad potencial de una vicuña podría ser de 20 años; sin embargo, la longevidad real en el Parque Nacional Lauca podría ser de 7,5 años. Por lo general, la mortalidad se mide marcando una serie de individuos y observando cuántos de éstos sobreviven desde un tiempo  $t$  a un tiempo  $t + 1$ .

La *dispersión* es una característica de todos los individuos y constituye un aspecto esencial del ciclo vital de la mayoría de los animales. Generalmente, se da por sentado que la dispersión hacia una población (inmigración) y la dispersión fuera de una población (emigración) se hallan en equilibrio, por lo cual rara vez se miden. Sin embargo, esto puede inducir a graves errores en la interpretación de la población. Consideremos dos poblaciones de vicuñas. La población A ha variado de 0,22 a 0,25 vicuñas/Ha desde el tiempo  $t$  al tiempo  $t + 1$ . Asimismo, la población B ha variado de 0,22 vicuñas/Ha a 0,24 vicuñas/Ha en el mismo tiempo. Podríamos concluir que el cambio se debió al hecho que la natalidad fue mayor que la mortalidad y esto llevó al aumento de la densidad. A continuación, procedemos a tomar una decisión de manejo basada en esta conclusión.

En realidad, lo que ocurrió fue lo siguiente: en la población A, el aumento se debió a un aumento de la reproducción, en tanto que la mortalidad, la inmigración y la emigración se mantuvieron constantes. En la población B, no hubo aumento de la reproducción ni disminución de la mortalidad; el aumento se debió únicamente a la inmigración de individuos viejos post-reproducti-

vos desde otra población. Si aplicamos la misma decisión de manejo a ambas poblaciones, cada una de ellas responde de manera diferente. La razón de esto es que fueron diferentes los factores responsables del aumento de la densidad. Un buen plan de manejo hubiera considerado el hecho que pueden haber sido diferentes las fuerzas que estaban actuando sobre cada una de las poblaciones.

Como veremos, la composición de la población tiene un profundo impacto sobre su dinámica. ¿Cómo se miden las características principales de una población de vicuñas? La natalidad se mide en términos del número de crías a que dan origen las hembras de la población. Como las vicuñas pueden verse sin dificultad, una de las maneras más fáciles de determinar el número de crías por hembra consiste en contar el número de hembras con crías y el número de hembras sin crías.

La mortalidad es más difícil de medir. Una de las formas de reunir datos acerca de la mortalidad consiste en seguir a animales marcados, de edad conocida, hasta el momento de su muerte. Este es un procedimiento largo y bastante lento. La muestra de animales de edad conocida debe ser lo suficientemente amplia como para representar la tasa real de mortalidad correspondiente al conjunto de la población. Dado que la muestra representa únicamente un instante en el tiempo, sólo refleja la mortalidad en ese momento. Es preciso pues, tener la seguridad que la muestra con que se cuenta es representativa. Otro método consiste en reunir datos de los animales encontrados muertos. Si se da por sentado que estos animales representan la tasa de mortalidad natural, podría construirse un cuadro de mortalidad. Sin embargo, es necesario establecer la edad de estos animales con precisión, con el fin que pueda determinarse la edad exacta al momento de morir. El problema está en que al emplear este método, se tiende a subestimar a los animales muy jóvenes, puesto que sus huesos son llevados por predadores y se desintegran con facilidad.

### **Tablas de Vida y Demografía**

La mortalidad y la natalidad son dos factores principales que contribuyen al cambio en una población. La mortalidad y la supervivencia por edad pueden resumirse en una *tabla de vida*. La tabla de vida muestra, por cada edad o intervalo de edades, la mortalidad real, la tasa de mortalidad, el número de sobrevivientes y la futura expectativa de vida de los miembros de un grupo de tamaño estándar, compuesto por individuos que han comenzado la vida juntos. Una población de vicuñas se compone de individuos de diferentes edades y diferente potencial reproductivo. Las vicuñas se reproducen una vez al año, pero tienen la potencialidad de reproducirse anualmente por varios años. En consecuencia, es fácil ver de qué manera puede la estructura etaria de una población de vicuñas producir fluctuaciones en la densidad de población.

La Figura 11-4 presenta una tabla de vida hipotética para una población de vicuñas. ¿Qué tipo de datos necesitamos para construir una tabla de vida? Existen dos maneras de reunir datos para una tabla de vida; cada una de éstas entregará un tipo de tabla de vida diferente; la *tabla de vida estática* y la *tabla de vida por cohorte*.

La tabla de vida estática se calcula a partir de una muestra representativa de la población en un momento determinado. La tabla de vida por cohorte se basa en el seguimiento de una cohorte a lo largo de su vida. Estos dos tipos de tablas de vida serán idénticas sólo si el medio ambiente no cambia de un año a otro y la población se mantiene en equilibrio.

Para construir una tabla de vida estática, se reúnen los datos a partir de una muestra al azar de la población en un momento determinado. Por ejemplo, en diciembre de 1986, se toma una muestra de 386 vicuñas hembras. Los individuos podrían clasificarse en 8 categorías etarias sobre la base de sus características morfológicas, incluidas las medidas craneanas, las características y desgaste de sus dientes y el peso de los cristaliños. La Clase etaria I incluía las crías del año; la Clase etaria II, las vicuñas hembras de 1 año de edad; la Clase etaria III, las vicuñas hembras de 2 años, etc. Al utilizar este método, se presume que la estructura etaria de la población se ha mantenido relativamente constante durante un cierto tiempo (es decir, que las tasas de natalidad y mortalidad se han mantenido relativamente constantes). Si este supuesto es válido, entonces la proporción de vicuñas en cada clase etaria ( $x$ ) puede ser usada para estimar la tasa de supervivencia ( $1x$ ) (Figura 10-4). La columna  $1x$  muestra la supervivencia desde la Clase etaria I y no desde el nacimiento. Las cifras correspondientes a dicha columna representan el número de individuos que están presentes al comienzo del intervalo de edades. Durante ese intervalo, algunos individuos mueren. El número de individuos que mueren durante el intervalo corresponde a  $dx$ .

Otro método para construir una tabla de vida consiste en estimar las edades de muerte de un gran número de animales nacidos a un mismo tiempo. Una de las maneras de estimar la mortalidad según este método es marcar un gran número de vicuñas jóvenes y registrar a qué edad mueren. Esto podría hacerse durante varios años consecutivos, reuniendo luego la información con el fin de obtener datos para la columna  $dx$ . Sin embargo, este método presenta un problema cuando se aplica a las vicuñas: éstas son animales longevos, por lo que podría requerir entre 10 y 15 años o aún más el poder determinar adecuadamente la mortalidad entre los animales marcados. Otro método consiste en tomar un número de animales marcados y mantenerlos en cautiverio con el fin de registrar la mortalidad. Este sería también un método difícil de

**Figura 10-4**

Tasa de supervivencia determinada a partir de una muestra al azar de 386 vicuñas hembras tomada en diciembre de 1986

Clase etaria (x)	Número de individuos que sobrevivían al comienzo del intervalo (1x)	Número de individuos que murieron en el intervalo (dx)
I	100	6
II	94	19
III	75	24
IV	51	20
V	31	12
VI	19	6
VII	13	10
VIII	3	3

practicar en el caso de las vicuñas. Un tercer método se basa en determinar las edades de muerte de una muestra representativa de vicuñas que han muerto por causas naturales. Dicha información se lleva a la columna  $dx$ . Si se pudieran determinar con precisión las clases etarias sobre la base de esqueletos de animales, una colección de material esquelético recolectada en terreno en condiciones naturales proporcionaría una muestra representativa de vicuñas que murieron por causas naturales y así entregaría datos para la columna  $dx$ . En este momento no existe ningún procedimiento que permita determinar la edad de material esquelético de vicuñas en forma precisa. Es algo que necesita desarrollarse.

Una tabla de vida basada en datos obtenidos a partir de un grupo de animales nacidos en un mismo momento de denominada tabla de vida por cohorte o tabla de vida dinámica. Mediante un método de censo, se puede determinar el número de crías nacidas en un año dado (una cohorte); luego se registra el número de muertes cada año, hasta que mueren todos los individuos que componen la cohorte. Si bien nos entrega datos muy precisos a partir de los cuales podemos construir la tabla de vida, este método es tal vez poco práctico en el caso de las vicuñas, pues sería muy difícil organizar el seguimiento de un grupo de animales conocido, desde su nacimiento hasta su muerte.

La Figura 1 1-4 representa una tabla de vida hipotética para una población de viciñas. Además de las unidades de edad,  $lx$  (el número de viciñas de una cohorte que sobrevive hasta la edad  $x$ ) y  $dx$  (el número de viciñas de una cohorte que muere durante el intervalo de edades  $x$ ), hay otras dos columnas. Se puede sumar la columna  $dx$ , obteniendo así el número de individuos que murieron durante un determinado período. Si se hace la conversión de  $lx$  y  $dx$  a proporciones (el número de individuos que murieron durante el intervalo  $x$  dividido por el número de individuos que seguían vivos al comienzo del intervalo  $x$ ), se llega a  $q$ , que equivale a la mortalidad por edad.

**Figura 11-4**  
Tabla de vida hipotética para una población de viciñas

edad (x)	sobre- vientes (nx)	número de individuos que murieron (dx)	tasa de supervi- vencia (lx)	tasa de mortali- dad (qx)	expectativa de vida (ex)
0- 1	23089	4495	1,000	0,199	7,68
1- 2	18594	249	0,805	0,015	7,75
2- 3	18315	293	0,793	0,016	6,86
3- 4	18022	270	0,781	0,015	5,95
4- 5	17752	692	0,769	0,039	5,08
5- 6	17060	1075	0,739	0,063	4,30
6- 7	15985	1195	0,692	0,070	3,54
7- 8	14856	1606	0,644	0,108	2,78
8- 9	13260	3063	0,574	0,231	2,14
9-10	10197	4344	0,442	0,426	1,66
10-11	5853	3623	0,253	0,629	1,32
11-12	2230	2096	0,097	0,940	1,09
12-13	134	67	0,006	0,50	0,50
13-14	67	67	0	1,00	0

- (x) = intervalo de edades  
 (nx) = número de individuos al comienzo del intervalo de edades  $x$   
 (dx) = número de individuos que murieron durante el intervalo de edades  $x$  a  $x + 1$   
 (lx) = tasa de supervivencia; la proporción de individuos que alcanzaron la edad  $x$   
 (qx) = tasa de mortalidad; la proporción de individuos que morirán durante el intervalo de edades  $x$  a  $x + 1$   
 (ex) = expectativa de vida de los individuos que tienen la edad  $x$



Es tal la relación entre estos parámetros, que si se conoce una de las columnas, se pueden calcular las otras. Por ejemplo, si se conoce el número de sobrevivientes al comienzo del intervalo  $n + 1$  ( $n_x + 1$ ), se puede calcular el número de individuos que hay en el intervalo  $n$ ,  $n_x + 1 = n_x - dx$ . Asimismo  $qx = dx/n_x$  y  $1x = n_x/n_0$ .

La expectativa de vida ( $e_x$ ) se calcula a partir de la tasa de supervivencia ( $1x$ ), el promedio de individuos que seguían vivos durante el intervalo de edades  $x$  a  $x + 1$ .

$$L_x = n_x + (n_x + 1) / 2$$

En la Figura 12-4 se entrega el cálculo de la expectativa de vida.

**Figura 12-4**  
Cálculo de la expectativa de vida ( $e_x$ )

(x)	( $n_x$ )	( $L_x$ )	( $T_x$ )	( $e_x$ )
0- 1	23089	20841,5	163846	7,68
1- 2	18594	18454,5	143004,5	7,75
2- 3	18315	18168,5	124550	6,86
3- 4	18022	17887	10638,5	5,95
4- 5	17752	17406	88494,5	5,08
5- 6	17060	16522,5	71088,5	4,30
6- 7	15985	15425,5	54566	3,54
7- 8	14856	14063	39140,5	2,78
8- 9	13260	11728,5	25077,5	2,14
9-10	10197	8025	13349	1,66
10-11	5853	4041,5	5324	1,32
11-12	2230	1182	1282,5	1,09
12-13	134	100,5	100,5	0,5
13-14	67	0	0	0

$$L_1 = 22089 + 18594 / 2 = 20841,5$$

$$T_x = \Sigma L_x$$

$$T_{10-11} = 4041,5 + 1182 + 100,5 = 5324$$

$$e_x = T_x / n_x$$

$$e_{3-4} = 106381,5 / 18022 = 5,95$$

La tabla de vida destaca un aspecto importante de la estructura de la población, como es su distribución etaria. La distribución etaria se refiere a la proporción de sus miembros que pertenece a cada clase etaria. Dos poblaciones con idénticas cifras para la columna  $l_x$  (la probabilidad que un recién nacido promedio sobreviva hasta la edad  $x$ ) y  $m_x$  (el número de crías nacidas de una hembra promedio de edad  $x$ ), pero con diferentes distribuciones etarias, se comportarán de distinta manera y pueden crecer a una tasa diferente, si una de las poblaciones tiene una mayor proporción de miembros reproductivos. El cálculo de la distribución etaria estable es un tanto engorroso; sin embargo, los valores calculados aportan conocimientos a partir de los cuales pueden derivarse otros cálculos acerca del crecimiento de la población y construirse modelos de manejo adecuados.

### Incremento de la Población

Una tabla de vida resume la mortalidad en una población. Al estudiar la dinámica de cambio de una población, debe también considerarse la tasa reproductiva. Una población en un medio ambiente determinado se caracteriza por una tasa de supervivencia promedio, una tasa de nacimientos promedio y una tasa de crecimiento promedio. Estos valores están determinados en parte por el medio ambiente y en parte por la capacidad intrínseca de reproducción de los organismos en sí. La *capacidad intrínseca de incremento* ( $r_m$ ) es una característica de una población que depende de las condiciones del medio ambiente, por lo que fluctúa entre dos extremos. Cuando las condiciones son favorables, la capacidad de incremento es positiva y el número de individuos aumenta. Cuando las condiciones son desfavorables, la capacidad de incremento es negativa y el número de individuos disminuye. Ninguna población aumenta indefinidamente. En lugar de ello, encontramos en una población una tasa de incremento real ( $r$ ), que varía continuamente entre una tendencia negativa y una tendencia positiva. En respuesta a cambios en la estructura etaria de la población, en la estructura social y en la composición genética. En todos estos factores intervienen las condiciones del medio ambiente.

En situaciones constantes e ideales, podemos estimar la capacidad intrínseca de incremento ( $r_m$ ). Definimos  $r$  como la tasa máxima de incremento alcanzada en cualquier combinación particular de temperatura, humedad, calidad del alimento, etc. La capacidad intrínseca de incremento de un organismo depende de su fertilidad, de su longevidad y de su velocidad de desarrollo. La tasa de nacimientos y la tasa de muertes de una población se utilizan como elementos para medir cambios de tamaño. Si la *tasa de nacimientos* > *que la tasa de muertes*, la población aumenta. Sin embargo, tanto la tasa de nacimientos como la tasa de muertes pueden variar como consecuencia de la estructura etaria de la población. Lotka derivó una función llamada tasa de in-

cremento natural para explicar los cambios en las tasas de nacimientos y muertes debidos a la edad.

La tabla de vida entrega datos con respecto a la supervivencia como una función de la edad. Para calcular  $r$ , se utilizan los datos acerca de las tasas de supervivencia por edad de la columna  $l_x$  de la tabla de vida. Asimismo, la mejor manera de expresar la tasa de nacimientos que caracteriza a una población es en forma de una tabla de nacimientos por edad. Estos datos se resumen en una tasa que entrega el número de crías hembras nacidas por unidad de tiempo por hembra de edad  $x$ . Esta tabla recibe el nombre de tabla de fertilidad (Figura 13-4). Sólo se cuentan las hembras, pues sólo éstas dan origen a más hembras.

Figura 13-4  
Tabla de fertilidad

Clase etaria		Número de crías por hembra de edad	Producto de $l_x$ y $b_x$
X	$l_x$	$b_x$	$V_x$
2- 3	0,793	0,228	0,1808
3- 4	0,781	0,241	0,1882
4- 5	0,769	0,332	0,2553
5- 6	0,739	0,348	0,2572
6- 7	0,692	0,351	0,2429
7- 8	0,644	0,332	0,2204
8- 9	0,574	0,274	0,1418
9-10	0,442	0,210	0,0928
10-11	0,253	0,121	0,1306
11-12	0,097	0,005	0,0005
12-13	0,006	0,001	

$$R_o = \sum l_x b_x = \sum V_x = 1,6105$$

A partir de estos datos se obtiene la tasa reproductiva neta ( $R_o$ ). ¿Cuántas crías hembras dejará una cohorte de hembras que viva toda su vida reproductiva a las tasas de supervivencia y fertilidad dadas en la Figura 13-4? Dejará  $R_o = \sum l_x b_x$  0, dicho de otro modo, la población de vicuñas se multiplicará 1,6 veces en cada generación. La tabla de nacimientos se ve modificada por el

número de individuos que sobreviven a cada edad. Si  $R_0 = 1,0$ , el número de animales que conforma la población sería reemplazado en su totalidad. Para calcular la tasa de incremento de una población, se debe especificar: (1) la tasa de supervivencia por edad,  $1x$ ; (2) la tasa de nacimientos por edad,  $b_x$ ; y (3) la distribución etaria. Si todas las hembras de la población tuvieran 10 años de edad o más,  $R_0 = R_{10-11} + R_{11-12} = 0,306 + 0,005 = 0,311$ , el número de animales que conforma la población no sería reemplazado y el tamaño de la población disminuiría. Si todas las hembras de la población tuvieran menos de 8 años de edad,  $R_0 = 1,3448$ , el tamaño de la población aumentaría.

No obstante, Lotka demostró que una población sujeta a un ritmo constante de nacimientos y muertes se aproxima gradualmente a una *distribución etaria estable*, y permanece así indefinidamente. Una distribución etaria estable aumenta de acuerdo a la siguiente ecuación diferencial:

$$dNt/dt = r_m N$$

(tasa de cambio del número de individuos por unidad de tiempo) =  
(capacidad intrínseca de incremento) X (tamaño de la población).

Donde  $N_0$  = número de individuos en  $t = 0$   
 $N_t$  = Número de individuos en  $t$   
 $e$  = 2,71828  
 $r_m$  = capacidad intrínseca de incremento  
 $t$  = tiempo

La población resultante aumenta en proporción geométrica. Si  $N_0 = 100$  y  $r_m = 0,5$  por hembra por año, entonces

Año	Tamaño de la población
0	100
1	$(100) (e^{0,5}) = 165$
2	$(100) (e^{1,0}) = 272$
3	$(100) (e^{1,5}) = 448$
4	$(100) (e^{2,0}) = 739$
5	$(100) (e^{2,5}) = 1.218$

(De Krebs, 1985)

¿Cómo pueden utilizarse los datos biológicos para calcular  $r_m$ ? Para comenzar, se debe generar  $R_0$ . En este ejemplo,  $R_0 = 1,6$  veces por generación. Se debe definir la duración de una generación. La *duración media de una generación* ( $G$ ) es el tiempo promedio que transcurre entre el nacimiento de los progenitores y el nacimiento de las crías.

$$G = (\sum x l_x b_x) / R_0 = 8,5920 / 1,61 = 5,37$$

Luego de determinar el tiempo promedio de una generación, puede calcularse  $r_m$ .

$$r_m = \log_e (R_0) / G$$

$$r_m = \log (1,6) / 5,37 = 0,087 \text{ por individuo por año.}$$

También puede determinarse en forma exacta resolviendo la siguiente ecuación:

$$\sum e^{-r_m x} l_x b_x = 1$$

La capacidad intrínseca de incremento no puede expresarse sino para un medio ambiente en particular. En general, son tres los factores que pueden aumentar  $r_m$ : (1) la reducción de la edad en que el individuo se reproduce por primera vez; (2) el aumento del tamaño de la camada; y (3) el aumento del número de camadas. La capacidad intrínseca de incremento es una abstracción de la naturaleza. En la naturaleza no encontramos poblaciones con distribuciones estables o con tasas constantes de mortalidad y fertilidad por edad. La importancia de  $r_m$  radica en el hecho que nos permite desarrollar un modelo para comparar la tasa de incremento real en la naturaleza.

La capacidad intrínseca de incremento es una tasa instantánea. Para hacer la conversión de este valor a una tasa finita:

$$\text{tasa de aumento finita} = \lambda = e^{r_m}$$

Si  $r_m = 0,087$  y  $\lambda = 1,09$ , entonces por cada individuo presente en este año, habrá 1,09 el año próximo.

El crecimiento poblacional constituye un problema central en el estudio de las poblaciones. Ninguna población crece en forma indefinida. Los parámetros demográficos analizados anteriormente permiten predecir futuros cambios en la densidad de una población. Ahora bien, es necesario aplicar estos parámetros al crecimiento de las poblaciones naturales.

Considerándose una población de vicuñas en la que se dan generaciones superpuestas y una época de nacimiento *discreta*. El crecimiento poblacional puede describirse por medio de ecuaciones diferenciales.

$$N_{t+1} = R_0 N_t$$

Donde:  $N_t$  = tamaño de la población de hembras en la generación  $t$   
 $N_{t+1}$  = tamaño de la población de hembras en la generación  $t + 1$   
 $R_0$  = tasa reproductiva neta o número de crías hembras nacidas por hembra por generación.

Presuponemos que el crecimiento de la población en el tiempo  $t$  depende de las condiciones presentes en el momento.

#### A. Tasa de multiplicación constante

En un breve intervalo  $dt$ , un individuo tiene la probabilidad  $b dt$  de dar origen a otro individuo y la probabilidad  $d dt$  de morir. Estas son tasas instantáneas de nacimientos y de muertes; la tasa instantánea de crecimiento poblacional per cápita es  $r = b - d$  y la fórmula de incremento de la población es:

$$dN/dt = rN = (b - d) N$$

Donde:  $N$  = tamaño de la población  
 $t$  = tiempo  
 $r$  = tasa de crecimiento poblacional per cápita  
 $b$  = tasa de nacimiento instantánea  
 $d$  = tasa de muertes instantánea

La curva que resulta es geométrica.

El modelo de curva de crecimiento geométrica puede utilizarse para estimar el tiempo de duplicación de una población que crece según una cierta tasa:

$$N_t/N_0 = e^{rt}$$

Si queremos conocer el tiempo de duplicación de una población:

$$2 = e^{rt}$$

$$\log_e (2,0) = rt$$

Donde:  $t$  = tiempo que demora una población en duplicarse  
 $r$  = tasa de crecimiento poblacional per cápita

En la población de vicuñas hipotética, la tasa instantánea fue de 0,087 y la tasa finita fue de 1,09; entonces, la población se duplicará en 8 años.

**B. Tasa de multiplicación dependiente del tamaño de la población:**

Puesto que las poblaciones no muestran un incremento geométrico continuo, debe modificarse el modelo. El espacio, los recursos, la acumulación de desechos y otros factores afectan la fertilidad y la longevidad a medida que aumenta la densidad. Finalmente, la tasa de incremento de una población dejará de aumentar. Una curva de crecimiento más realista tendrá un límite superior y se aproximará suavemente a la asíntota.

Si la suma de cada individuo reduce la tasa de incremento en igual cantidad, obtenemos:

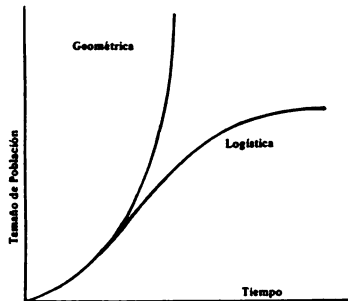
$$dN/dt = rN (K - N/K)$$

Donde:  $N$  = tamaño de la población  
 $t$  = tiempo  
 $r$  = tasa de crecimiento poblacional per cápita  
 $K$  = asíntota superior o valor máximo de  $N$

Esta ecuación establece que (la tasa de incremento de la población por unidad de tiempo) = (la tasa de crecimiento poblacional per cápita) x (el tamaño de la población) x (la oportunidad de crecimiento poblacional no utilizada).

Esta es la forma diferencial de la curva logística.

**Figura 14-4**



Se debe notar que  $r$  es la tasa de crecimiento por individuo de la población. Es similar a  $r_m$ , con la diferencia que  $r$  es siempre menor que  $r_m$ , puesto que  $r_m$  dice relación con condiciones ideales y  $r$  corresponde al mundo real. La forma integral de la ecuación logística es:

$$N_t = K / (1 + e^{a-rt})$$

Donde:  $N_t$  = tamaño de la población en el tiempo  $t$

$t$  = tiempo

$K$  = valor máximo de  $N$

$e$  = 2,71828

$a$  = constante que define la posición de la curva

$r$  = tasa de crecimiento per cápita

El factor  $(K - N)/K$  recibe el nombre de oportunidad de crecimiento poblacional no utilizada (Krebs, 1975). El efecto de este factor consiste en disminuir el patrón de crecimiento geométrico. Partiendo de  $K = 1.000$ ,  $r = 1,0$  y  $N_0$  (la densidad inicial) = 10, se demuestra a continuación el efecto de  $(K - N)/K$ . Existe poca diferencia entre las curvas logísticas y geométrica al comienzo de la curva de crecimiento. A medida que el crecimiento se aproxima a la mitad de la curva, ambas curvas comienzan a divergir. Al acercarse al límite superior, las curvas son muy divergentes. El crecimiento poblacional se detiene en el caso de la curva logística, porque  $(K - N)/K$  se vuelve cero.

$r$	Tamaño $N$	Oportunidad de crecimiento poblacional no utilizada $(K - N)/K$	Tasa de crecimiento poblacional $dN/dt$
1	1	99/100	0,99
1	50	50/100	25,00
1	75	25/100	18,75
1	95	5/100	4,75
1	99	1/100	0,99
1	100	0/100	0,00

(De Krebs, 1975)

Nótese que la suma de un animal tiene el mismo efecto sobre la tasa de crecimiento poblacional en los extremos inferior y superior de la curva.



La ecuación logística puede escribirse de otra manera:

$$\log_e (K - N/N) = a - rt$$

Esta es la ecuación de una línea recta que representa  $(K - N)/K$ ; el eje  $x$  representa el tiempo y la pendiente de la curva es  $r$ .

Dos atributos de la curva logística la hacen interesante. Es matemáticamente simple y manifiestamente real. La forma diferencial de la curva logística contiene sólo dos constantes:  $r$  y  $K$ .

Cada uno de estos términos matemáticos puede ser traducido a un equivalente biológico. La constante  $r$  es la tasa de crecimiento poblacional per cápita. Parece razonable atribuir a  $K$  un significado biológico. Es la densidad en la cual la población se halla saturada de animales en relación con los recursos y el espacio.  $K$  también ha sido llamada *capacidad de carga*, término que ha sido mal empleado. Más adelante, analizaremos el concepto de capacidad de carga.

¿Se ajusta la curva logística a la realidad biológica? En el laboratorio se ha hecho el seguimiento de muchas poblaciones. Las poblaciones de *Paramecium* siguen una curva logística y llegan a una asíntota. Los cultivos de levadura y de bacterias también siguen una curva logística. Estos experimentos fueron llevados a cabo en condiciones de laboratorio controladas, con una cantidad de alimento y un clima constantes. Es importante observar que los investigadores descubrieron que, en estas condiciones, la densidad no se volvía estable luego de llegar a la asíntota, sino que más bien declinaba o fluctuaba mucho. Hasta el momento, no se han demostrado casos en que la población de cualquier organismo con una historia de vida compleja llegue a un estado estable en la asíntota superior de la curva logística. ¿Cuál es la razón de esto? Es probable que las fluctuaciones se produzcan como consecuencia de la influencia que ejerce un animal sobre otro, de manera independiente de cualquier fluctuación de la temperatura, el alimento, los predadores o las enfermedades.

Existen cuatro supuestos implícitos en la ecuación logística:

- 1) Inicialmente, la población tiene una distribución estacionaria estable;
- 2) la densidad ha sido medida en unidades apropiadas;
- 3) la relación entre la densidad y la tasa de incrementos es lineal; y
- 4) la influencia depresiva de la densidad sobre la tasa de incremento opera en forma instantánea, sin ningún intervalo.

En poblaciones seguidas en terreno, el crecimiento poblacional no ocurre en forma continua. Muchas especies que viven en un medio ambiente estacional muestran crecimiento de población en las estaciones favorables cada año. Los animales longevos sólo rara vez muestran crecimiento de la población y son pocas las poblaciones que ocupan un hábitat vacante en la naturaleza de la manera que lo hacen en el laboratorio. Algunos de los mejores datos disponibles provienen de casos de animales que han sido introducidos en un nuevo hábitat.

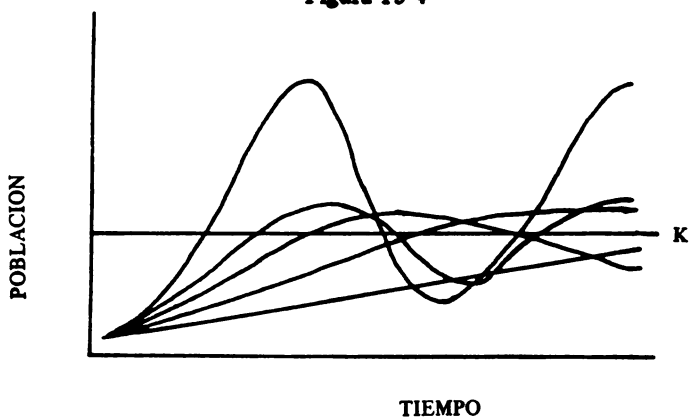
Las conclusiones del análisis de poblaciones introducidas indican que el crecimiento poblacional puede ser sigmoide en las poblaciones naturales, pero a menudo no lo es. La densidad estable que se predice ocurrirá en la asíntota casi nunca se logra en poblaciones naturales. De ahí que el modelo logístico presente serias desventajas como esquema general del crecimiento poblacional. Se han empleado dos métodos para corregir esto. Uno ha consistido en analizar el efecto de los intervalos de tiempo sobre la ecuación logística y el otro, en construir modelos estocásticos de crecimiento poblacional.

Hay dos tipos de intervalos de tiempo: el *intervalo de reacción* y el *intervalo reproductivo*. Se puede adaptar fácilmente la ecuación logística de modo de incorporar los intervalos de tiempo. Para incorporar un intervalo de reacción, se agrega un intervalo entre un cambio en el ambiente y el correspondiente cambio en la tasa de crecimiento poblacional.

$$DN/dt = rN(K - N_{t-w}) / K$$

donde  $w$  es el intervalo de reacción. Puede producirse una gran variedad de curvas de crecimiento.

Figura 15-4



También puede incorporarse un intervalo reproductivo, medido de acuerdo al tiempo de gestación o su equivalente:

$$dN/dt = rNt - g(K - Nt - w/K)$$

Donde:  $g$  = intervalo reproductivo  
 $w$  = intervalo de reacción

En la fase inicial del crecimiento poblacional, el intervalo reproductivo puede ser importante como factor que disminuye la tasa de incremento de la población.

Los experimentos con poblaciones de laboratorio han demostrado que éstas se encuentran continuamente por sobre o por debajo de la densidad de equilibrio, causando oscilaciones. Estas oscilaciones no se deben a factores externos, sino más bien a factores intrínsecos a la población.

Como consecuencia de la introducción de intervalos de tiempo en los modelos de crecimiento poblacional simples, una asíntota estable es reemplazada por una oscilación estable respecto del nivel de equilibrio o bien por una oscilación convergente hacia el equilibrio, pero que rara vez lo alcanza. Es posible que las oscilaciones tengan como resultado una divergencia que lleve a la extinción de la población. Estos resultados constituyen aproximaciones más realistas a lo que parece ocurrir en las poblaciones naturales.

Los modelos analizados hasta aquí constituyen modelos deterministas, en los que se definen ciertas condiciones iniciales y el modelo predice un único resultado. Los sistemas biológicos son estocásticos (probabilísticos). Hablamos de la probabilidad que una hembra tenga crías en un año dado o de la probabilidad que cierto número de animales sea muerto el próximo mes. Las tendencias poblacionales son el resultado de muchos acontecimientos como los anteriores, cuya probabilidad podemos predecir.

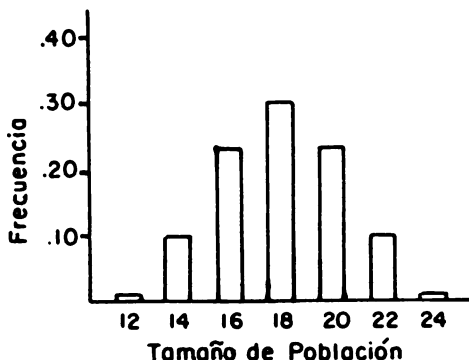
La naturaleza básica de los modelos estocásticos es muy simple. Considérese un modelo determinista de crecimiento poblacional geométrico:

$$N_{t+1} = R_0 N_t$$

Si la tasa reproductiva neta ( $R_0$ ) es 2,0 y la densidad inicial es 6,0:

$$N_1 = 6 + (2,0)(6,0) = 18$$

El modelo determinista predice un tamaño de la población de 18 en la generación 1. Un modelo estocástico de lo anterior podría desarrollarse como sigue. Si la probabilidad de reproducción es  $p = 0,5$  de tener una cría por hembra y  $P = 0,5$  de tener 3 crías por hembra, 2 hembras tendrán un promedio de 2 crías,  $R_0 = 2,0$ . Si se asignan al azar ya sea 1 ó 3 crías a todas las hembras de la población, se generará una distribución de frecuencia de los tamaños de población. Algunos valores se encuentran por sobre el valor esperado de 18 y otros por debajo de éste.



Aun cuando todos los tamaños de población comienzan en el mismo punto de partida, una generación más tarde, la población podría corresponder a entre 12 y 24 miembros.

El crecimiento poblacional de especies que tienen generaciones superpuestas también puede ser descrito mediante ecuaciones estocásticas.

$$dn/dt = (b - d) N$$

Donde:  $b$  = tasa de nacimientos instantánea

$d$  = tasa de muertes instantánea

En el modelo estocástico, se deben determinar las probabilidades que ninguna de las hembras de la población sobreviva para reproducirse y las probabilidades que todas las hembras sobrevivan para reproducirse, además de las probabilidades que ocurran todas las combinaciones intermedias. Si se permite que tanto los nacimientos como las muertes varíen en forma aleatoria, existe la posibilidad que la población se extinga o que no lo haga.

Los modelos estocásticos de tasas de crecimiento introducen una importante idea de variación biológica en las consideraciones acerca de la densidad

de población. El método de probabilidades para estimar la densidad de población parece ser satisfactorio desde el punto de vista de la intuición, debido a que introduce la variabilidad. El precio que se debe pagar por el uso de estos modelos es una mayor dificultad en el aspecto matemático y una dependencia de las computadoras. En los modelos estocásticos, la variación se vuelve más importante mientras menor sea el tamaño de la población. Si todas las poblaciones constaran de millones de individuos, los modelos deterministas darían resultados satisfactorios.

### Interacciones entre las Especies

En la naturaleza, los animales no existen como meras entidades, sino que coexisten con otros organismos. Muchas especies que ocupan un área ejercen poca o ninguna influencia sobre las demás. En otros casos, dos o más especies interactúan. El resultado de las interacciones puede ser negativo o positivo para las especies comprometidas. Las interacciones positivas incluyen el *mutualismo* (ambas especies se benefician con la asociación) y el *comensalismo* (una especie se beneficia y la otra no se ve afectada). Las interacciones negativas incluyen la *competencia* (ambas especies sufren a causa de la asociación) y la *predación* (una especie se come a la otra especie). Sólo se tratará las interacciones negativas en cuanto afectan a la vicuña.

Tanto la competencia como la predación pueden tener un efecto negativo sobre el crecimiento poblacional. Se definen dos tipos de competencia. La *competencia por los recursos* ocurre cuando un número de individuos de una misma especie o de diferentes especies utilizan los mismos recursos, los cuales son escasos. La *competencia por interferencia* ocurre cuando los individuos dañan a otros en el proceso de obtención de un recurso, aun cuando los recursos no sean escasos.

La competencia puede ser interespecífica o intraespecífica. Trataremos principalmente la competencia interespecífica. La competencia ocurre en relación con algún recurso. El agua, el alimento y las parejas pueden constituir fuentes de competencia entre las vicuñas. La competencia no sólo ocurre cuando los animales ven u oyen a un competidor. Se han utilizado extensamente modelos matemáticos para construir hipótesis relacionados con la competencia.

Además de competir por el alimento y el espacio, las especies pueden interactuar directamente a través de la predación. Se distinguen cuatro formas de predación: la predación herbívora, que se da cuando un herbívoro se alimenta de partes de plantas, semillas o frutas; la predación carnívora, que se da cuando un carnívoro se alimenta de otros carnívoros o herbívoros; el parasi-

tismo, que consiste en que un parásito deposita huevos en un huésped y las crías dan muerte a este último y lo utilizan como alimento; y el canibalismo, que se da cuando el predador y la presa pertenecen a la misma especie. La predación tiene considerable impacto sobre la dinámica de una población. Uno de los efectos de la predación en una población es el de restringir la distribución de la presa o bien el de disminuir la abundancia de esta última. La predación constituye también un proceso de gran importancia en relación con el cual se organizan las comunidades y por ende, afecta la estructura de una comunidad. Constituye una fuerza selectiva principal, que define la historia de una especie así como también la estructura de una comunidad.

Se ha construido muchos modelos matemáticos para investigar el efecto de la predación sobre el crecimiento poblacional. Baste decir que las predicciones de estos modelos se hallan apoyadas por estudios de laboratorio y en terreno. Sin embargo, algunos estudios acerca de grandes herbívoros y sus presas han indicado que el impacto de los predadores sobre la dinámica de población de su presa es poco significativa. En las planicies del Serengeti en Africa Oriental, se han estudiado rebaños de grandes herbívoros y sus predadores (leones, guepardos, leopardos, perros salvajes) y la mayoría de las presas atrapadas por estos predadores corresponden a aquellos animales considerados menos excedentes, como los individuos viejos, heridos o enfermos.

En contraste, la población de caribúes de Norteamérica puede verse limitada por efecto de la predación de los lobos. Se ha sugerido que la densidad de población se ve limitada a aproximadamente 0,4 caribúes por  $\text{Km}^2$  a causa de la predación, en tanto que sin predación, la densidad estimada de caribúes sería de aproximadamente 20 o más por  $\text{Km}^2$ , un nivel en el cual el número de caribúes sería excesivo en comparación con la cantidad de alimento que disponen. Podemos concluir que en algunos casos, es efectivo que la abundancia de predadores influya en la abundancia de su presa en las poblaciones naturales.

En lo que respecta a la vicuña, la predación puede constituir un aspecto muy importante de la dinámica de la población. Por ejemplo, ¿por qué viven en grupos las vicuñas? Una de las posibles ventajas de vivir en grupos es el hecho de reducir las pérdidas por acción de los predadores. En consecuencia, la predación podría ser considerada un importante agente de selección en la evolución de la organización social y la estructura de la población de las vicuñas. Los predadores también podrían ser considerados un factor importante en términos ecológicos, a través de la eliminación selectiva de las vicuñas viejas, heridas o enfermas. Los predadores debieran ser considerados un factor positivo en la mantención de una población de vicuñas saludable y debieran

realizarse todos los esfuerzos posibles por mantener el predador natural como parte de la comunidad.

### Capacidad de Carga

Ya se ha mostrado que  $K$  corresponde a la asíntota superior de la curva de crecimiento logístico. Cuando  $N$  es igual a  $K$ , la tasa de crecimiento es cero.  $K$  equivale al número de individuos que el medio ambiente puede sustentar. Si  $N < K$ , existen recursos no utilizados que pueden ser explotados, los individuos sobreviven y producen más crías de las que se necesitan para reemplazar a las que se pierden y la población crece. Si  $N > K$ , los recursos son insuficientes como para satisfacer las necesidades de los miembros de la población, la mortalidad aumenta, los nacimientos disminuyen y la población no logra reemplazar las pérdidas, por lo que se reduce.

$K$  ha recibido el nombre de capacidad de carga. El término capacidad de carga significa cosas diferentes, dependiendo de quien lo use y del fin con que se use. En el manejo de praderas, se usa con un sentido económico. La finalidad de quien administra una pradera es obtener el máximo de ganado o de animales de caza mayor de dicha pradera. Utilizan estudios de densidad de las plantas, de la composición de la vegetación, del crecimiento vegetativo y de la proporción de crecimiento anual de la vegetación arrancada por los animales. Luego, estudian las tendencias de cambio de la vegetación para obtener un equilibrio entre plantas y animales que permita una máxima producción sostenida de lana, leche, carne o pieles. Este método puede llamarse *capacidad de carga económica*.

La capacidad de carga representa la vegetación ideal en términos de la vegetación en pie y determina las especies de plantas que aumentan, disminuyen o invaden el área de pastoreo a lo largo del tiempo. El uso apropiado es generalmente la proporción de crecimiento anual que puede ser extraída sin desplazar la vegetación ideal. Cuando las condiciones de una pradera se alejan de esta situación óptima, quien la administra inicia una acción que las revierte. El medio que emplea es usualmente la manipulación del pastoreo.

La densidad de animales que está en equilibrio con las condiciones de la pradera definidas y que proporciona una máxima producción sostenida es descrita como la capacidad de carga de la pradera. Esta densidad *no* es la máxima carga animal en pie que el suelo puede sustentar, sino la carga animal en pie que entrega el máximo rendimiento. Estos dos conceptos son distintos. La carga animal en pie que proporciona la máxima producción sostenida es menor que la máxima producción que puede ser sustentada, porque el alimento por cabeza debe mantenerse en un nivel suficientemente alto para generar la producción definida.

En el manejo de áreas de caza, la idea de capacidad de carga es diferente. Es la máxima densidad de animales que puede ser sostenida indefinidamente sin inducir tendencias de cambio en la vegetación. A esto se le puede llamar *capacidad de carga ecológica*. Esta última difiere de la capacidad de carga económica en cuanto a que implica una mayor carga animal en pie y una menor vegetación en pie. Ambas describen un equilibrio entre animales y vegetación que debe ser alcanzado, pero los puntos de equilibrio son diferentes.

Sin embargo, existe una falacia implícita en ambos conceptos. Para quien administra un área de caza, esta falacia consiste en pensar que la cosecha de una producción sostenida no disminuye la densidad de una población por debajo de la capacidad de carga ecológica. Para quien administra una pradera, consiste en creer que la densidad de animales según una capacidad de carga económica, la densidad y composición de las plantas, según esta misma capacidad de carga, constituyen la única combinación de ambas que no induce cambios en la vegetación.

Supongamos que tenemos una población de vicuñas que se compone de 672 animales que están en equilibrio con 1.322 unidades de vegetación,  $K = 672$ . Esta es una población que no ha sido cosechada. Se solicita un experto para que evalúe las condiciones de la pradera. Este concluye que, en comparación con su vegetación ideal, la proporción de especies vegetales reproductoras e invasoras es demasiado alta y que la proporción de crecimiento anual extraída excedió el factor de uso apropiado. Concluye que la pradera fue expuesta a sobrepastoreo y que se debe manejar la densidad de las vicuñas que pastan en ellas. Si su estimación fuera que la población excede de la capacidad de carga económica en un 40%, exigiría reducir el número de vicuñas en un 40% para lograr que la vegetación regrese a las condiciones ideales.

Un experto en el manejo de áreas de caza visualiza la misma situación y ve una producción sostenida que puede ser tomada y que será reemplazada mediante la reproducción y aún así, puede proporcionar una máxima densidad de población de vicuñas en la pradera. Puesto que la reproducción anual de vicuñas excede en un 20% la tasa de reemplazo, el experto sugiere reducir en un 40% el número de vicuñas. Desde su punto de vista, existe una producción sostenida de aproximadamente un 40% que puede ser cosechada cada año y que será reemplazada mediante la reproducción, de modo que la tendencia de la población permanecerá estable. Su interés consiste en mantener

una población de vicuñas estable cercana a la densidad máxima que la pradera puede sustentar, de manera que se pueda obtener el máximo rendimiento cada año.



Un ecólogo poblacional que visualizara la situación, llegaría a una conclusión diferente tanto de la del experto en el manejo de praderas como de la del experto en áreas de caza. Dado que el número de vicuñas presente corresponde a la capacidad de carga en ese instante, la población se halla en equilibrio con los recursos. Concluye que no es necesaria reducción alguna y que las fluctuaciones estacionales y anuales son simplemente parte de la dinámica del sistema. ¿A qué se debe la discrepancia entre estos tres especialistas? El biólogo poblacional apunta el número de animales que es factible desde un punto de vista biológico en un hábitat determinado, regulado por factores naturales. El experto en el manejo de praderas y el experto en áreas de caza buscan la máxima producción de vicuñas por otras razones, ya sea económicas o deportivas. Gran parte de la confusión deriva de un concepto erróneo del equilibrio entre los herbívoros y la vegetación. Por definición la capacidad de carga se mide en unidades de densidad de animales, no de vegetación. Existe la idea generalizada de que el medio ambiente es como un contenedor de un tamaño determinado que ha de estar lleno de animales. En realidad, al igual que los animales, las plantas son habitantes y los herbívoros y la vegetación han coevolucionado. No existe un nivel de equilibrio único para cualquier especie en un hábitat determinado; más bien, existen muchos para cualquier medio ambiente dado.

### **Distribución del Espacio y Hábito de Apareamiento**

En general, hemos tratado las adaptaciones de las poblaciones a sus ambientes físicos y biótico, sin analizar las interacciones entre los individuos. No obstante, la forma en que un individuo actúa en relación con otro es básica para la dinámica de las poblaciones. La naturaleza de los recursos determina también el patrón de distribución óptimo de los individuos de una población. Como resultado de lo anterior, la variación del patrón de distribución de los recursos específicos a cada especie hace que las diferentes especies utilicen distintas tácticas de distribución del espacio.

El área que un individuo recorre durante sus actividades diarias recibe el nombre de ámbito de hogar. El ámbito de hogar se define en términos del área utilizada, no de la forma en que es utilizada. Los ámbitos de hogar pueden superponerse y su tamaño difiere entre los individuos de diferente edad y sexo. Los individuos satisfacen todas sus necesidades biológicas dentro de su ámbito de hogar. Aun cuando los ámbitos de hogar pueden superponerse en forma considerable, a menudo existe el interior de cada uno de ellos un área que rara vez se comparte y en la cual las vicuñas residentes pasan la mayor parte del tiempo. Estas áreas al interior de los ámbitos de hogar, en las cuales los individuos concentran sus actividades, reciben el nombre de áreas nu-

cleares. Como se dijo anteriormente, la superposición se ve restringida en el área nuclear.

Si los individuos mantienen un área de uso exclusivo e impiden que otros animales de la misma especie compartan esa área con ellos por medio de la defensa o del dominio, el área recibe el nombre de *territorio*. Si al interior de su ámbito de hogar los individuos dispusieran de todos los recursos en la medida necesaria, no sería preciso el comportamiento territorial. El único factor importante que favorece la territorialidad es la *competencia*. Los individuos compiten por una pareja, por el alimento, por protección, abrigo, sitios de pariciones, espacio o cualquier otro requisito que favorezca el éxito del apareamiento. La intensidad de la competencia entre los individuos depende del número de individuos que encuentren un mismo recurso por el que se debe luchar. Cuando la existencia de recursos es impredecible y éstos se hallan distribuidos a manchones, los animales viven en grupos. Cuando la existencia de recursos es predecible y éstos se hallan dispersos, los animales exhiben espaciamiento. En algunos casos, es el individuo quien defiende un territorio; en otros, éste puede ser defendido por el grupo.

Las vicuñas son territoriales: las vicuñas machos defienden los territorios que son utilizados por las hembras para alimentarse, descansar, aparearse y realizar sus actividades diarias sin competencia de otros grupos. Existe poca diferencia entre el territorio y el ámbito de hogar de una vicuña; sin embargo, existen datos que indican que el tamaño del área defendida varía de una estación a otra.

Dado que algunos individuos que tienen la potencialidad de reproducirse, se ven impedidos de hacerlo por no encontrar un sitio apropiado para establecerse y atraer una pareja, se ha sugerido que la territorialidad regula la densidad de población. Además, se ha sugerido que la territorialidad ha evolucionado con el propósito específico de regular el tamaño de la población. Esto no es así. La limitación del tamaño total de la población reproductiva es probablemente una consecuencia secundaria de la territorialidad, no una fuerza que la estimule. La razón principal de la evolución de la territorialidad es la defensa de recursos económicamente defendibles.

El hábito de apareamiento o unidad de reproducción también debe ser considerado en el estudio de la dinámica de las poblaciones. Se presentan varios tipos de hábitos de apareamiento. Entre los mamíferos, se clasifican en los siguientes tipos: *promiscuidad* (la unión de la pareja dura sólo el tiempo que toma la cópula); *poligamia* (un macho y más de una hembra) y *monogamia* (un macho y una hembra). Las vicuñas residentes y reproductivas viven en un territorio fijo y su hábito de apareamiento es la poligamia. Un macho

sexualmente maduro defiende un territorio que es utilizado por un grupo de hembras maduras, hembras subadultas y crías. Al parecer, sólo los machos que tienen un territorio se reproducen cada año. La razón entre los sexos al momento del nacimiento es de 1 macho: 1 hembra, pero la razón entre los sexos entre los adultos reproductivos, se aproxima a 1 macho: 4 hembras. Los machos que no tienen territorio forman tropillas de machos solteros errantes. No todos los machos sexualmente maduros se reproducen cada año, pero toda hembra sexualmente madura se asocia a un macho territorial y es reproductora potencial cada año.

A menudo, los machos que viven en tropillas de solteros son considerados excedentes. De hecho, en ciertos esquemas de manejo, los machos de las tropillas de solteros pueden ser considerados animales excedentes, que pueden ser aprovechados sin afectar la dinámica de población de la vicuña. Esta es una premisa errónea. Los machos que viven en las tropillas de solteros, constituyen los futuros machos reproductores; llevan las combinaciones genéticas para las futuras generaciones. De este modo, son importantes como reserva de diversidad genética. Aún más, el período que las vicuñas machos pasan en la tropilla de solteros constituye un período de intensa competencia entre machos, en el cual aquellos machos de la más alta calidad se imponen sobre los demás. Este es un importante proceso, que se ve favorecido por la selección natural. También constituye un período en el cual los machos jóvenes aprenden a ser machos adultos y a comportarse entre los otros machos. La eliminación de estas vicuñas subadultas y adultas de las tropillas de machos solteros puede tener efectos a largo plazo en la estructura etaria y en la estructura genética de la población. Estos machos son tan importantes para el futuro de las vicuñas de una población como lo son las hembras. No constituyen un excedente. Las únicas vicuñas que pueden ser consideradas un excedente o un producto disponible para la venta son aquellos individuos de ambos sexos que son demasiado viejos como para reproducirse o que están enfermos como para sobrevivir y por ende, reproducirse.

# 5

## ASPECTOS CONDUCTUALES Y REPRODUCTIVOS DE LA VICUÑA

*Alfonso Glade C.  
Pedro D. Cattán*

La vicuña (*Vicugna vicugna* Molina 1782) es una de las cuatro especies de camélidos sudamericanos que habitan las mesetas altoandinas del Norte de Chile. Su proceso evolutivo le ha permitido adaptarse a un ecosistema muy pobre en recursos alimenticios y extremadamente duro en sus condiciones climáticas.

La presente distribución se asemeja a la descrita para época incaica, distando mucho su actual densidad de la existente en aquellos días. Su límite Norte lo constituye el paralelo 9 de la Latitud Sur. (Brack 1979), alcanzando en su límite Sur los 30° latitud en la República Argentina (Cajal 1979), aproximadamente con ello a los 2.500 kilómetros de longitud su distribución.

En Chile se le encuentra desde los 17°30' Lat. S. límite con Perú y Bolivia hasta los 28° Lat. S., que corresponde al sur de la ciudad de Copiapó. La población, calculada a Enero de 1982 (Rodríguez et al 1982) consta de 12.049 animales, los que se distribuyen en 10.312 para el altiplano de la I Región, 1.570 en la II Región y sólo 167 para la III Región.

La mayor población chilena se ubica dentro de los límites del Parque Nacional Lauca (17°5' - 19° Lat. S, 69°30' Long. W.), donde reciben protección efectiva contra la caza furtiva, permitiendo aumentar varias veces la población de 600 animales existentes en 1970, cuando fue creada esta Área Silvestre Protegida.

Existe concenso sobre la complicada sociedad que forman las vicuñas. La primera división nace entre los grupos familiares y los grupos de machos solitarios (Koford 1957; Wilson 1975). Los primeros conforman la población sexual activa, estando compuestos por un macho dominante y territorial, una o varias hembras adultas y sub-adultas, más las crías menores de un

año, existiendo una jerarquización muy definida. Los grupos de machos solteros son los individuos hasta más del centenar, no poseen territorios, contentándose con ocupar zonas marginales. No existe cohesión ni jerarquía evidente, caracterizándose por ser muy móviles y cambiantes en su composición numérica.

Los grupos familiares poseen territorios de alimentación y otros de dormitorio (Koford 1957; Franklin 1976). Los primeros poseen límites bien definidos, que son defendidos por el macho dominante de la intrusión de otros grupos familiares o grupos de machos. A través del año varían poco en su superficie, permitiendo que ocurran todas las actividades claves de las vicuñas en su interior, evitando disturbios de individuos extraños al grupo. Se ubican éstas, en los terrenos bajos que presentan buen abastecimiento de agua y forraje durante todo el año. Los territorios de dormitorio en colinas y lomas, son menos defendidos y sólo tienen como objeto servir para que el grupo pernocte. Pueden ser uno o varios sitios, estando generalmente entre 200 y 2.000 metros del territorio de alimentación.

Escasas son las investigaciones ecológicas realizadas sobre la vicuña, ya que principalmente se ha escrito sobre su distribución en los diversos países en distintas épocas (Jungius 1972; Boswall 1972; Torres y Rodríguez 1981; Cajal 1979; Cardozo y López 1981; Alzérrec 1982). Uno de los primeros estudios realizados sobre la ecología, comportamiento y organización social de la vicuña fue efectuado por Koford (1957), el cual permaneció entre abril de 1951 y noviembre de 1952 en Perú, Chile y Bolivia, realizando observaciones. El documento más completo y reciente fue efectuado por Franklin en 1976, *Socioecology of the Vicuña*, en el cual analiza detalladamente el comportamiento de la especie en Perú.

Otros autores han incursionado en el campo del manejo de las poblaciones y aspectos afines. Los más destacados son Hofmann y Otte (1977 a; b; 1979 a; b; d; 1980), Brack (1979; 1980 a; b;), Cardozo (1981), Torres *et al* (1978), Jungius (1971). Recopilación bibliográfica sobre la especie ha sido realizada por Cardozo (1968; 1978). No existen antecedentes ecológicos o biológicos para las vicuñas de Chile.

La presente investigación pretende obtener los primeros antecedentes ecológicos básicos de la vicuña en Chile, tendientes a asentar sobre bases científico-técnicas, los planes de manejo de este recurso natural renovable.

Los objetivos del estudio realizado se resumen en:

- a) Describir y analizar aspectos del comportamiento, con énfasis en los grupos reproductivos.

- b) Obtener información sobre antecedentes reproductivos relacionados con natalidad, mortalidad neonatal y expulsión de crías desde grupos familiares.

### **Material y Métodos**

Se trabajó en el Parque Nacional Lauca, sector Las Cuevas (18°10' Lat. S.; 69°27' Long. W.) a 4.470 m.s.n.m. durante el período comprendido entre febrero de 1981 y junio de 1982. Se utilizaron once grupos familiares de vicuñas, con un total de animales que varió entre 50 y 70 individuos, según las épocas del año.

Se seleccionó dentro del sector Las Cuevas, un área de 1.568 ha, donde habitaban los once grupos familiares de vicuñas. Como apoyo cartográfico se confeccionó un mapa escala 1:8.500 exclusivo de la zona en estudio, además de un mapa general del sitio Las Cuevas, escalas 1:45.000 según base topográfica de la carta Instituto Geográfico Militar 1:100.000 y fotointerpretación del vuelo Hycon realizado en 1955.

Se instalaron cuatro casetas de observación de un metro cuadrado, de madera y ventanas amplias de vidrios, en zonas altas desde donde se visualizan los territorios de alimentación de cada grupo de vicuñas. Se contó además con una casa rodante que cumplió las veces de dos puestos de observación. Se señalaron cinco áreas en donde se alimentaban vicuñas que estaban bajo observación, colocándose piedras pintadas cada 100 m. a fin de tener puntos de comparación para las distancias.

Los antecedentes de temperatura, humedad y precipitaciones son los oficiales de los registros de la Empresa Nacional de Electricidad de la Estación Parinacota, ubicada a 15 km de Las Cuevas.

Se observó desde mayo de 1981 hasta abril de 1982 las actividades de las vicuñas pertenecientes a los grupos territoriales, los cuales fueron designados con número para cada familia, a fin de facilitar su identificación.

La jornada de trabajo se extendió desde las 08.00 hasta las 18.30 hrs. Las actividades realizadas por cada uno de los integrantes del grupo bajo estudio se observaron durante un período de 30 minutos cada hora, registrándose en formularios el tiempo utilizado en ello. Se dividió a los individuos en tres grupos: machos, hembras y crías. Se realizaron resúmenes de cada media hora y de cada día de observación, utilizándose promedios para las clases hembras y crías, ya que generalmente estaban conformadas por más de un individuo cada uno.

La unidad de medida fue el minuto, necesitando cada actividad como mínimo una duración de un minuto para ser consignada. Los lugares de observación fueron las casetas instaladas y la casa rodante.

Cada mes se fijó el número de horas totales a realizar, seleccionándose cada día los grupos a estudiar por cada uno de los tres observadores. Cada persona observó sólo una familia a la vez, para seguir atentamente las acciones.

El trabajo realizado significó un total de 306 días en el interior de las casetas de observación. De ellas se eligieron 134 días (12 por mes, salvo mayo que tenía sólo 2) que totalizaron 914 horas de observación. Mensualmente se seleccionaron los 12 días que registraron la mayor cantidad de minutos con vicuñas presentes durante los períodos en que correspondía observar, siendo la suma anual de 23.790 minutos.

Cada mes contó con un determinado número de minutos de observación para las tres clases de vicuñas familiares, los que fueron descomponiéndose de acuerdo con las actividades realizadas. Se calculó el porcentaje del tiempo que demandó cada evento mensualmente en relación con el total de minutos observados para cada clase en el correspondiente mes.

Estos porcentajes mensuales fueron la base para el análisis de las actividades de las vicuñas, elaboración de gráficos, tablas y cálculos estadísticos. De acuerdo a Calzada (1964), se procedió a realizar una transformación angular del seno del arco  $\sqrt{x}$  de los porcentajes, dado que por su falta de denominador común, la distribución no fue normal y además el número de registros era inferior a 100.

Esta transformación se empleó para el cálculo de todas las pruebas estadísticas realizadas. Se utilizó la prueba de t de Student para comparar promedios de pares de actividades, correlación y regresión lineal para definir tendencias y chi cuadrado ( $x^2$ ) para definir el ajuste entre las curvas de regresión calculadas y reales.

## RESULTADOS

### Actividades Básicas

Un total de 16 actividades fueron observadas en las vicuñas pertenecientes a los grupos familiares en sus territorios de alimentación, lugar en el cual permanecían la mayor parte del día. La cuantificación porcentual men-

sual reveló en el transcurso del año tendencias claras en algunos de ellos, así como ocurrencias estacionales en otras.

**Comer:** Fue la principal acción desarrollada por las tres clases de animales que conforman el grupo familiar —macho, hembra y crías— a lo largo del tiempo diario mensual.

El macho dedica entre 83,9 y 98% de su tiempo a la alimentación (Figura 15-1), existiendo una tendencia a aumentar el tiempo dedicado a ello a partir de mayo hasta abril ( $r = 0,82$ ,  $P < 0,01$ ). Este incremento evidenció disminuciones en enero y febrero, época coincidente con el desarrollo vegetacional del área. Figura 16-5.

**Figura 16-5**  
Porcentaje del tiempo mensual empleado en comer por el macho, las hembras y las crías

	Macho (%)	Hembras (%)	Crías (%)
MAY	84,8	93,8	88,9
JUN	86,3	91,6	90,7
JUL	86,8	93,1	89,5
AGO	87,8	95,3	92,9
SEP	83,9	89,2	89,4
OCT	91,7	93,6	93,3
NOV	89,5	93,5	94,0
DIC	94,8	93,6	93,6
ENE	89,2	93,5	94,9
FEB	90,9	89,2	62,3
MAR	96,3	95,9	56,7
ABR	98,0	96,9	76,9

Las hembras ocupan entre el 89,2 y 96,9% del tiempo total mensual a esta actividad, no existiendo tendencia en las variaciones observadas. Se verifica disminución sólo en febrero y septiembre, esta última coincidente con lo observado para el macho. Las crías presentan dos situaciones fácilmente diferenciales: entre mayo y enero valores que oscilan entre 88,9 y 94,9%, a diferencia de lo observado en febrero, marzo y abril donde sólo dedican del 56,7 al 76,9% de su tiempo mensual a comer.



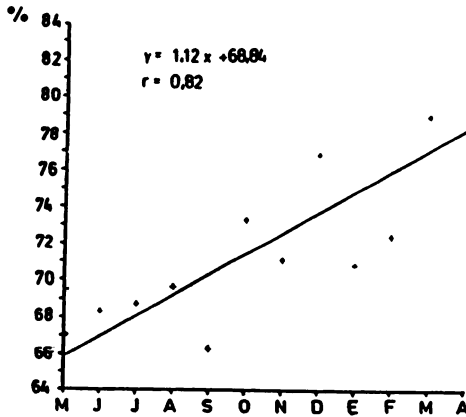


Figura 16-5. Porcentaje del tiempo mensual empleado por el macho en comer (las cifras graficadas corresponden al seno del arco  $\sqrt{x}$ ).

La primera etapa demuestra como al transcurrir los meses de vida de las crías, éstas dedican progresivamente más tiempo a esta actividad. Los otros meses coinciden con la época de nacimientos donde presentan la mayor dependencia de la alimentación láctea las crías, en detrimento del tiempo empleado en comer.

Con la información obtenida, se pudo evidenciar la existencia de diferencias en el tiempo empleado para este evento entre hembras y crías ( $P < 0,05$ ), no así para la relación macho-crías y macho-hembra.

**Caminar:** El tiempo empleado fue similar para las tres clases de animales dentro de los grupos familiares, no existiendo diferencias estadísticamente significativas. Se observa una tendencia al aumento entre marzo y septiembre, disminuyendo progresivamente de septiembre a febrero. En los tres casos, los valores mínimos ocurren entre diciembre y mayo, coincidiendo con las lluvias del "invierno altiplánico". Los valores máximo alcanzados en septiembre son respectivamente de 4,2; 3,7 y 3,7% para macho, hembras y crías.

**Echarse:** Es una actividad desarrollada de distintas maneras según la clase de animal que se trate. El macho en promedio lo hace el 3,4% de su tiempo (rango 0 a 7,6%) mientras que las hembras demostraron un valor levemente mayor de 4% (con rango entre 0,6 y 9,8%) al año, aunque no fue significativa la variación entre ellos. Las crías tienen en cambio un promedio más elevado, del 10,5% , registrándose un aumento en febrero, marzo y abril que fue de hasta 41,1% del tiempo mensual de las crías. Esto provocó que

existiesen diferencias reales en el tiempo dedicado por las crías a esta actividad en relación al macho ( $P < 0,05$ ) y también entre crías y hembras ( $P < 0,05$ ).

*Los encuentros agresivos:* El tiempo que le demandaron al macho, tuvieron su punto más alto en mayo con 12,6% del tiempo, descendiendo irregularmente al transcurrir los meses hasta abril. (Figura 17-5), demostrando con ello una tendencia a la disminución ( $r = -0,82$ ,  $P < 0,01$ ) que arrojó los valores menores entre diciembre y abril. Los registros obtenidos para hembras y crías fueron mínimos e irregulares. No fueron estimados debido al papel pasivo que desempeñan en los encuentros agresivos de un macho contra una familia o contra otro macho.

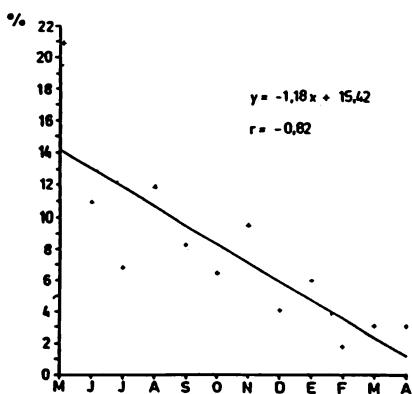


Figura 17-5. Porcentaje del tiempo mensual empleado por el macho en encuentros agresivos. (las cifras graficadas corresponden al seno del arco  $\sqrt{x}$ ).

Analizando mensualmente la actividad respecto al porcentaje que ocurrió en la mañana (antes de las 13 hrs.) y en la tarde (Fig. 18-5), se puede concluir que no existieron tendencias a desarrollar los encuentros agresivos en alguna secuencia a través de los meses y estaciones, pero la actividad fue más frecuente en la tarde ( $P < 0,01$ ) a través del año.

Los encuentros agresivos entre machos territoriales o entre un macho territorial y machos solteros fueron agrupados en tres categorías de acuerdo a la agresividad demostrada (Cuadro 1). Para estas actividades los machos utilizan tres indicadores corporales para evidenciarle al contrario el estado agresivo que la situación les produce. La pechera compuesta de largos pelos blancos es el signo más evidente a distancia, que caracteriza el encuentro agresivo

más leye, denominado amenaza. La carga se reconoce por la persecución a cierta distancia, con la cola erguida y el cuello bajo cuando corren. El ataque se caracteriza porque existe contacto generalmente por mordiscos a los cuartos posteriores del agredido.

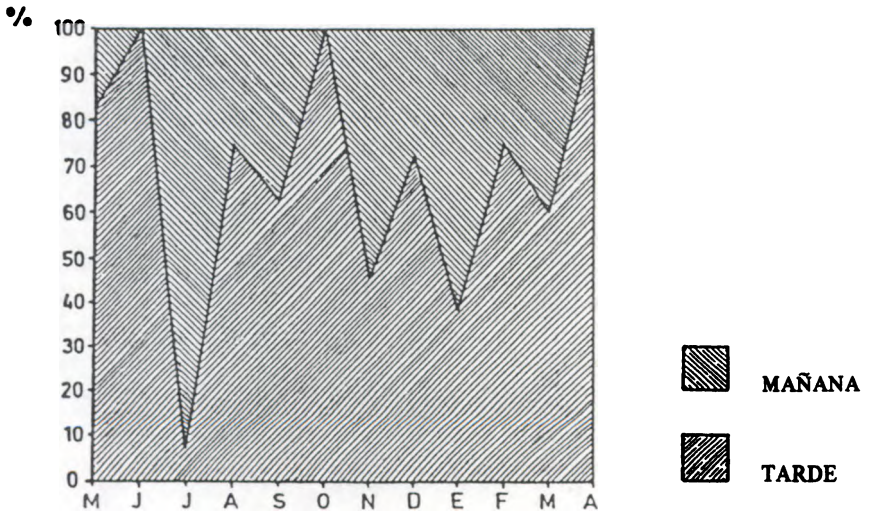


Figura 18-5. Distribución porcentual del tiempo diario empleado por el macho en encuentros agresivos.

En la práctica, podían darse encuentros agresivos que mezclaban las tres categorías cuando ellos se prolongaban por más de 5 ó 10 minutos.

Esta misma actividad difiere cuando se ejecuta entre miembros de un grupo familiar. Se distinguieron cuatro niveles de agresividad (Cuadro 2) para los individuos adultos, con características corporales basadas en postura de orejas, cabeza y cuello, además de la cola. Su observación fue escasa en los 11 grupos estudiados, no registrándose nunca encuentros de tipo mediano o grave entre un adulto y una cría. La advertencia fue comúnmente observada cuando animales adultos y crías se encontraban comiendo muy cerca (aproximadamente 2 metros uno del otro), siendo estas últimas receptoras del evento y nunca iniciadoras. Cabe hacer notar que la duración de la advertencia rara vez superó los 10 a 15 segundos, ya que el animal agredido se alejaba, superándose rápidamente el incidente.

	Tipo de encuentro agresivo			
	amenaza	carga	ataque	
Indicaciones Corporales	pechera	visible	a veces visible	no visible
	cabeza y cuello	erguido	bajo o erguido	bajo
	cola	normal o erguida	erguida	erguida
	tipo de agresión	vista fija a distancia	persecución	morder escupir patear
	distancia entre agresor y agredido	mayor a 50 m.	entre 50 y 5 m.	5 m. a contacto

**Cuadro 3-5.** Resumen esquemático de los tres tipos de encuentros agresivos y sus indicadores corporales, reconocidos entre vicuña de grupos distintos.

Los encuentros agresivos entre y dentro de grupos poseen uno de sus indicadores corporales que varía cuando se trata de niveles de agresión mínima, aquí denominados amenaza y advertencia. En la primera de ellas, el individuo que recibe el mensaje conductual se halla a varias decenas de metros a lo menos, por lo que ver una zona blanca, grande o inmóvil le advierte la agresividad potencial de otro animal, de igual forma que las orejas echadas hacia atrás horizontalmente lo hacen con individuos familiares que se ubican a pocos metros entre sí.

**Revolcarse:** Es una actividad que se realiza por todos los individuos de una familia, en porcentajes muy bajos cada mes. El promedio anual del macho llega al 0,13% (rango 0 a 0,4%), las hembras 0,09% y las crías 0,1% (rangos de 0 -0,2 y 0 -0,3% respectivamente). No se encontraron diferencias significativas entre los tres tipos de vicuñas.

	Tipo de encuentro agresivo				
	Advertencia	Leve	Mediana	Grave	
Indicadores Corporales	orejas	horizontales	horizontales	horizontales	horizontales
	cabeza y cuello	bajo a medio	medio	medio a erguido	erguido a medio
	colá	normal	normal a ligeramente erguida	erguida	erguida
	tipo de agresión	vista fija	intentar morder	morder regurgitar alimento patadas	morder escupir patear
	contacto físico de los animal.	nunca	nunca	a veces	siempre

Cuadro 4-5. Resumen esquemático de los cuatro tipos de encuentros agresivos y sus indicadores corporales, reconocidos entre miembros de un mismo grupo familiar.

*Defecar y orinar:* En el macho es del 0,53% del tiempo como promedio anual, con variaciones mensuales entre 0,3 y 0,9%. Las hembras en cambio, presentaron un promedio anual de 0,3% (rango 0,2 a 0,6%) y las crías de 0,25% con un rango de 0,1 a 0,5%. No existe diferencia estadística entre los valores obtenidos para las hembras y las crías, pero si en el caso del macho frente a las hembras ( $P < 0,01$ ) y las crías ( $P < 0,01$ ).

*Juego de las crías:* Demuestra una estacionalidad a partir del momento del nacimiento –febrero– con 0,6% del tiempo mensual, hasta julio. Existe una alta correlación ( $r = -0,83$ ,  $P < 0,05$ ), en la disminución paulatina de ocurrencia de la actividad, a medida que avanza la edad de las crías.

*Correr:* Tiene como promedio anual en el macho un 0,4% con rango de 0 a 1,3%, en las hembras es de 0,21% con valores que fluctúan entre 0 y

1%. Las crías presentan el promedio anual más bajo (0,12%), siendo el rango de valores entre 0 y 0,8%. No se verificó diferencias entre los miembros de los grupos familiares para esta actividad.

*La observación:* Es una actividad realizada principalmente por el macho, para lo cual puede ir entre 0,1 y 3,7% del tiempo mensual, siendo el promedio de 1,4%. Las hembras tuvieron un promedio de 0,21% y las crías de 0,22%, los que no mostraron diferencias estadísticas. Si lo hicieron en cambio los valores del macho frente a las hembras ( $P < 0,01$ ) y a las crías ( $P < 0,01$ ). No se observa tendencia de esta actividad a través de los meses investigados, en los cuales es posible evidenciar tres aumentos en junio, agosto y enero.

*Mamar:* Por parte de las crías y amamantar de las hembras se inician en febrero, alcanzando su punto mayor en mayo (2 y 14% respectivamente) para finalizar entre octubre y noviembre. Puede precisarse entonces que al 1° de diciembre todas las crías se encontraban destetadas. El análisis mensual de ocurrencia porcentual de mamar en la mañana o en la tarde demuestra un claro predominio de la actividad en la tarde ( $P < 0,01$ ).

Las hembras presentaron todos los meses un promedio más bajo que el correspondiente a las crías, ello debido a que para construir los valores de la hembra promedio, hubo que hacerlo con ejemplares con y sin crías, siendo estos últimos los responsables de la diferencia observada en los porcentajes.

En septiembre se evidenció la actividad contraria, es decir, no poder mamar y no dejar mamar, con valores de 0,2 y 0,1% del tiempo mensual respectivo.

Actividades de las vicuñas con el agua de la zona fueron muy escasas. Sólo en agosto el macho tomó agua como actividad básica (0,1% del tiempo mensual), mientras que las crías lo hicieron en agosto y octubre, en porcentajes inferiores. En las hembras esta actividad no fue observada.

Sólo en junio se registró al macho darse un baño que le demandó el 0,1% de su tiempo mensual.

## **Población**

Tanto para 1981 y 1982, las pariciones se agruparon en un corto período durante febrero y marzo. El lapso entre el primero y el último parto fue en ambos casos de 39 días, ocurriendo 16 partos en 1981 y 13 en 1982 en los grupos en estudio. El día central del período correspondió al 3 de marzo en 1981 y al 1° de marzo en 1982.

Al término de las pariciones (1° de abril) habían nacido 16 crías de 22 hembras adultas (68,2% de hembras paridas) en la temporada 81, siendo al año siguiente 21 las crías de 32 hembras (65,6% de hembras paridas). Ninguno de los 29 partos registrados ocurrió en los territorios de alimentación, ni fue posible visualizarlo. Se observó sólo una monta durante el período. Esta tuvo lugar en el territorio de alimentación, con una duración de 32 minutos.

La expulsión de crías ocurrió entre los 176 y 352 días de edad, según se constató en 11 ocasiones, siendo el día central del período el 299 de edad para la temporada 81 - 82 en Las Cuevas. El 54,5% de las expulsiones ocurrieron en febrero de 1982, a la edad promedio de 352 días. En diciembre, se observaron en los grupos de machos solteros, crías ya desplazadas de su grupo familiar.

El grupo familiar varió entre 4,28 y 7,63 vicuñas, siendo la media de  $5,68 \pm 0,61$  en 15 meses y 2 semanas de registros. El número total se incrementó durante febrero y marzo de cada año, para posteriormente ir declinando con el transcurso de los meses en forma gradual. Las unidades vicuñas mostraron un promedio de  $4,74 \pm 0,31$ , observándose un aumento entre el verano de 1981 y la segunda quincena de enero de 1982, para luego presentar un rápido descenso entre esa fecha y el 1° de marzo. (Fig. 19-5).

El análisis de varianza de las unidades vicuña en la familia promedio, agrupadas en las estaciones del año, reveló diferencias estadísticamente significativas para las variaciones observadas ( $P < 0,05$ ). En otoño se registraron 4,57 Unid. Vic., en primavera 4,91, en invierno y verano 4,79 y 4,72 Unid. Vic. respectivamente.

El número de hembras osciló entre 3,36 y 2,64 animales por familia, con la sola excepción del 15 de marzo de 1982 donde se alcanzó bruscamente un promedio de 4,27 animales. Se observa en la Figura 4 que el número es relativamente estable a través del año.

Las crías incrementaron su número entre el 15 de febrero y el 1° de abril de 1981 (Fig. 19-5), para posteriormente evidenciar un leve pero sostenido descenso hasta el 15 de febrero de 1982. De ahí hasta el 15 de marzo se registró nuevamente un aumento evidente. El macho fue siempre un ejemplar a través de todo el año por familia.

La relación de sexos en las crías no fue posible cuantificar, obteniéndose eso sí la correspondiente a los adultos en grupos familiares, que resultó de 1 macho por cada 3,08 hembras. Para el mismo período, los 11 grupos

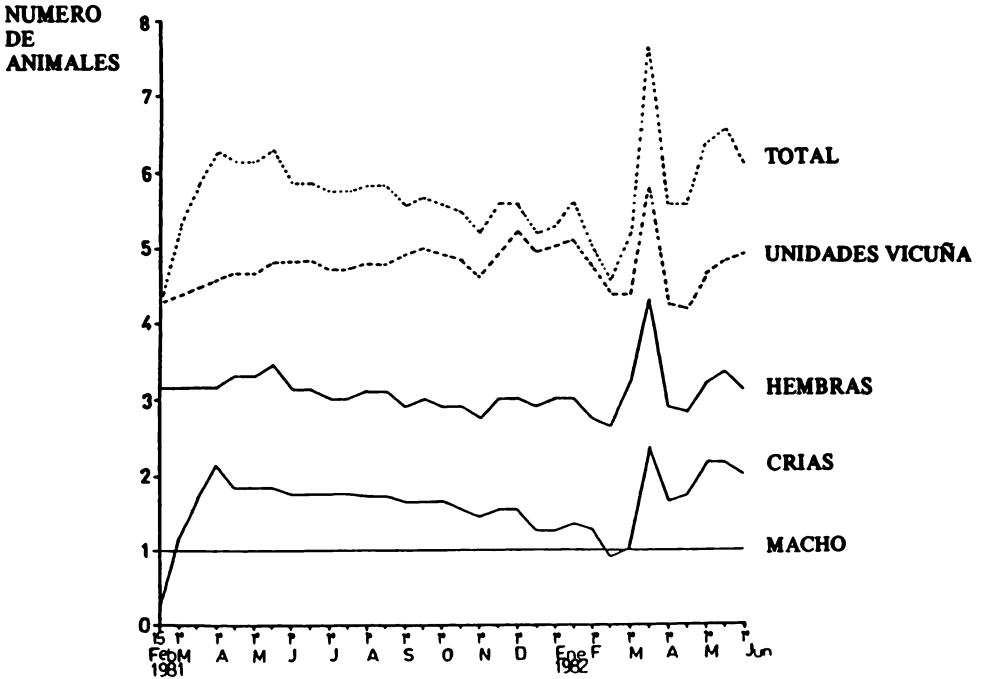


Figura 19-5. Composición del grupo familiar promedio de vicuñas.

familiares presentaron un promedio de 4,08 individuos adultos frente a 1,60 crías, no contabilizándose ejemplares sub-adultos en ninguna familia. El grupo familiar promedio resultó 1 macho 3,08 hembras y 1,60 crías (1:3,08:1,60).

La relación de machos y crías por 100 hembras, demostró dentro de los grupos familiares una variación entre 32 y 34 para los machos a través del ciclo anual medido en cuatro oportunidades, no siendo significativa la correlación para dichos resultados. La variación de las crías cada 3 meses abarcó desde 68 en la primera medición (terminadas las pariciones) 58,56 y 42 en la última antes del nuevo período de partos. Se desprende que la disminución observada entre abril y julio se debe a mortalidad, siendo de 14,71% de las crías nacidas. La diferencia que presenta octubre con respecto a julio es de 3,45% también atribuible a mortalidad; por lo que la mortalidad de crías de los seis primeros meses de vida alcanzó para la temporada de 1981 la cifra de 17,65%. La medición realizada en enero está influenciada mayoritariamente por las expulsiones ya ocurridas de crías, no pudiendo distinguirse la cifra que por mortalidad influyó en el descenso evidenciado. Se encontró



una alta correlación en el descenso evidenciado ( $r = -0,97$ ,  $P < 0,05$ ). El ajuste de la curva fue adecuado, siendo  $y = -4,65 x + 60,2$ ,  $P < 0,01$ .

Finalizada la temporada de pariciones (1° de abril), la relación 100 hembras: número de crías, mostró diferencias para ambos años. Mientras en 1981 alcanzó 100:68, al año siguiente sólo llegó a 100:56. El promedio de 15 meses y 2 semanas para la relación número de machos: 100 hembras: número de crías fue de 32: 100: 52 para el área de estudio y sus grupos familiares.

La comparación de esta relación entre los animales del área de estudio (1.568 ha), la zona de censo Las Cuevas (8.016 ha) y el Parque Nacional Lauca (520.000 ha) en tres oportunidades a través de 12 meses, reveló que no existieron diferencias estadísticas significativas en la relación obtenida por las crías frente a 100 hembras para ninguna de las tres zonas comparadas. Los machos territoriales tuvieron diferencias significativas en una de las comparaciones realizadas, a saber entre los pertenecientes al área de estudio y los machos de la zona de censo Las Cuevas ( $P < 0,05$ ).

### Discusión

El ciclo diario de una familia de vicuñas desde que despierta, va a su territorio de alimentación, pasa en él gran parte del día y retorna en la tarde a su dormitorio, no presentó diferencias con lo observado en vicuñas de otras latitudes (Franklin 1974; 1976).

Las actividades realizadas por las vicuñas en sus territorios están reguladas por la época del año, salvo algunas excepciones. Las crías en sus primeros meses caminan poco, descansan bastante tiempo, maman y juegan, comen o mordisquean el pasto en porcentajes bajos del tiempo total. A los seis meses de vida (1° de septiembre) se asemejan a los adultos en el porcentaje del tiempo empleado en comer, caminar, echarse, revolcarse, correr y defecar; ya no se les observa jugar, mamando sólo en 25% de lo observado en mayo. Ello indica que están perfectamente preparados para valerse por sí mismos como individuos, pues su último lazo de dependencia —mamar— disminuye aceleradamente para desaparecer al 1° de diciembre, al cumplir 9 meses de edad.

Las hembras tienen actividades que desarrollan todo el año sin cambios notorios o tendencias, como ser el comer, echarse, revolcarse, defecar y orinar, correr y observar. Variaciones estacionales se verificaron en el tiempo dedicado a caminar dentro del bofedal —al igual que para las otras clases de vicuñas— cuyos propósitos es buscar áreas con mejores pastos. Entre septiembre y noviembre dedicaron más tiempo a ello por ser una época crítica en la disponibilidad de alimento, debiendo invertir mayor energía en cosechar la

pradera. El amamantamiento comienza en febrero alcanzando el mayor porcentaje del tiempo diario en mayo, con un leve descenso al mes siguiente, reflejándose con ello que los cuatro primeros meses post-parto (hasta el 1° de julio) son fundamentales en la relación hembra-cría y su adaptación al nuevo medio. Los meses siguientes hasta el destete (1° de diciembre), demuestran una sostenida disminución de la importancia del hecho, observándose incluso en septiembre la renuncia de la hembra de amamantar a su cría. Franklin (op. cit.) encontró que el destete ocurre en julio-agosto, posiblemente influenciado por el medio más pobre en recursos alimenticios y la mayor densidad de vicuñas con la consiguiente competencia intraespecífica. Analizando el amamantamiento según el período del día en que ocurre, quedó demostrado que la ingesta de leche por parte de las crías luego de despertar en la mañana, es suficiente para dedicarse a otras actividades cuando arriban al territorio de alimentación. Pero pasado las 13 hrs. y antes de retirarse de él, necesitan imperiosamente volver a ingerir leche. Por último lo hacen en el viaje de regreso o al llegar al dormitorio, evidenciando tres períodos claros en su alimentación materna: temprano en la mañana, a media tarde y al oscurecer.

El macho, por su singular comportamiento, difiere de las otras clases de vicuñas. El tiempo empleado en comer no varía significativamente del evidenciado para las hembras y crías mayores de 6 meses, pero mostró una tendencia al aumento a medida que transcurría el estudio. A pesar de presentar valores en enero y febrero más bajos que diciembre —explicables por la mayor cantidad y calidad del forraje— se obtuvieron valores superiores para los dos meses siguientes. En las hembras, sólo febrero registró una disminución en el tiempo empleado, atribuible a la mayor disponibilidad de alimento. En ambas clases de vicuñas no se observó que dedicaran menos tiempo a comer durante el período de crecimiento vegetativo de la pradera, como era de esperarse.

La acción de caminar, reflejo de la dificultad para encontrar alimento, estuvo acorde con el estado de la pradera. Entre diciembre y mayo, el macho dedicó un bajo porcentaje de su tiempo a ello, aumentando notoriamente entre junio y noviembre, coincidiendo con el período de nulo crecimiento vegetativo y sequía descrito por Troncoso (1982).

Las acciones de revolcarse, correr y echarse no mostraron grandes variaciones a través del año, siendo similares con las hembras y/o crías.

Los encuentros agresivos y otros eventos asociados fueron importantes sólo en el macho, apoyando su rol fundamental en la mantención de la organización social de las vicuñas. A través de los meses de estudio, los encuentros agresivos como tales evidenciaron una disminución. Los registros obtenidos

entre febrero y abril fueron los más bajos de los 12 meses investigados, coincidiendo con la época de partos y montas de las vicuñas. Franklin (op. cit.) concluyó que los machos protegían más sus territorios durante este período.

Sin poder explicar las causas de la disminución observada en el presente estudio, puede pensarse que los encuentros agresivos están influenciados poderosamente por otros factores además de la época reproductiva, como por ejemplo disponibilidad de forrajes y agua, tamaño de territorios y densidad de vicuñas entre otros.

Las horas más activas de encuentros agresivos se presentaron en la tarde, a diferencia de lo encontrado por Franklin (op. cit.), donde los máximos valores se obtuvieron en la mañana.

Se reconocieron y esquematizaron cuatro niveles de encuentros agresivos dentro de un grupo familiar. Los dos niveles más leves de agresividad fueron los más observados, evitando los animales enfrentarse decididamente, a la vez que observó a las hembras y crías respetar la posición de líder del macho, no provocándolo.

Entre grupos familiares se definieron tres grandes tipos de encuentros agresivos sostenidos por los respectivos machos territoriales. La Carga resultó ser el más frecuente, relegando el uso de las Amenazas y Ataques a menos ocasiones.

Entre machos vecinos las disputas se refieren a la delimitación de los respectivos territorios, siendo raro que los encuentros agresivos sobrepasen los 10 minutos. Frente a grupos de machos solteros, en general se muestran intolerantes, persiguiéndolos hasta por 30 minutos y aunque estén a más de mil metros del territorio de alimentación.

El promedio anual destinado a los encuentros agresivos fue bajo, sólo de 2,5% del tiempo total del macho, siendo esporádicos los casos de contacto entre animales. Franklin clasificó en 8 tipos diferentes las agresiones, concluyendo que fueron frecuentes los tres tipos más leves, sin embargo indica que los casos más severos duraron uno y dos días completos.

Acciones ligadas a los encuentros agresivos, como la defecación y micción, así como el observar, registraron promedios anuales más altos en el macho, que para hembras y crías, de las cuales difirieron estadísticamente, pero no coincidieron con períodos determinados del año.

Las actitudes demostradas por las familias de vicuñas frente a la presen-

cia humana y/o de animales domésticos concuerda con lo reportado por Franklin (1976) para Pampa Galeras, en Perú. Frente al culpeo (*Canis culpaeus*), reaccionan en forma individual y no como grupo, quedando demostrado que no le temen cuando los encuentros ocurren durante el día. Dentro de cada familia, los individuos se relacionan poco entre sí, aunque Franklin demostró la existencia de un severo status social para todo el grupo, en donde el macho representa el individuo más dominante.

En relación a parámetros poblacionales, la época de pariciones se desarrolló en un lapso de 48 días, tomando en conjunto las temporadas 1981 y 1982. El primer parto fue registrado el 9 de febrero y el último el 28 de marzo. Entre ambas fechas, 29 crías nacieron en los grupos familiares en estudio. Franklin (op. cit.) señala que el 90% de los partos ocurren en Pampa Galeras entre el 22 de febrero y el 7 de abril, evidenciándose un adelanto en dos semanas en los partos de Las Cuevas con respecto a la zona estudiada en Perú.

El porcentaje de hembras paridas (68,2 y 65,5% en 1981 y 1982 respectivamente) es notoriamente más bajo que los publicados por Franklin, donde los porcentajes de hembras visiblemente preñadas pocas semanas antes del período de pariciones fue de 85, 95 y 85% para los años 1969, 1970 y 1971. En ambos estudios sólo se consideraron hembras adultas.

Contrariamente a lo descrito en Perú (Franklin op. cit.), ninguno de los partos ocurrió en el territorio de alimentación ni fue posible observarlos. Se presume que ocurrieron temprano de mañana en los dormitorios o durante el desplazamiento hacia el territorio de alimentación.

La predación sobre crías fue notoria durante la temporada de pariciones y los tres primeros meses de vida. Pero escasos ejemplares muertos previnieron de las crías bajo estudio, deduciéndose que la zona de caza del culpeo se extendía más allá del área de investigación. Se encontraron dos vicuñas adultas muertas y zorros comiendo los restos (Rojas com. pers.). Franklin (op. cit.) no encontró restos de crías, ya que no pudo ubicar las madrigueras de los zorros, pero manifiesta haber encontrado vicuñas adultas, aparentemente sanas, muertas por perros, zorros y pumas. Desde inicios de 1981, sólo se localizaron tres vicuñas cazadas por pumas en todo el Parque Nacional (Blanco com. pers.).

Las expulsiones de crías de sus grupos familiares ocurrieron entre los 6 y 12 meses de edad, sucediendo más de la mitad de ellas pocos días antes que cumplieran el año, teniendo ya tres meses de destetadas. Franklin señala

que a partir de los seis meses de edad son expulsadas las crías machos y entre diciembre y enero las crías hembras, a la edad de 10 a 11 meses. Es interesante destacar que en Las Cuevas la expulsión es más tardía que en Pampa Galeras. No se observó intentos del macho por expulsar las crías como lo descrito previamente. Simplemente una mañana el grupo presentaba igual número de hembras adultas y una cría menos que el día anterior, no verificándose cadáveres en las madrigeras conocidas de los zorros. A partir del noveno mes de edad, se registró en las crías la adopción de una postura de sumisión frente al macho, igual a la graficada en Perú (Franklin op. cit.).

Dentro de la dinámica poblacional, la familia promedio fue de 5,68 individuos, algo inferior a la registrada por Franklin (op. cit.) que resultó de 6,1 animales. La composición según clases de vicuñas-machos: hembras: sub-adultos; crías fue para Las Cuevas de 1: 3,08: 0: 1,60 y para Pampa Galeras de 1: 3,2: 0, 1: 1,8, reflejando bastante semejanza los datos obtenidos en ambos estudios.

La composición de la familia promedio a través de los meses de estudio reveló que los cambios en el número total de vicuñas fue influenciado mayoritariamente por las crías, ya fuesen por sus nacimientos, muertes o expulsiones. El número de machos no varió y las hembras oscilaron entre rangos estrechos generalmente. Similar observación fue realizada también por Franklin. Las unidades vicuña por familia promedio fue de 4,74, la cual cambió poco a lo largo del tiempo. Se observa al final del período de pariciones la mayor diferencia entre estas unidades y el número total de vicuñas, la cual va disminuyendo paulatinamente hasta antes de las nuevas pariciones. La explicación se encuentra en el crecimiento de las crías, por lo cual cada vez se asemejan más a la unidad vicuña. Por esto mismo según cabía esperar, las unidades vicuñas fueron estadísticamente diferentes a través de las estaciones.

La relación de machos por 100 hembras no varió significativamente a lo largo de un ciclo anual, reflejando la estabilidad existente en la composición de los grupos familiares. El número de crías por 100 hembras varió en ambos períodos (1981 y 1982), de 68 a 56 al finalizar los partos. Franklin para la misma fecha registró 70, 59 y 67 crías por 100 hembras en los años 1969, 1970 y 1971. En ambos casos, además de coincidir los valores obtenidos, se evidencia una disminución con el transcurso de los meses. La mortalidad de los seis primeros meses de vida de las crías fue del orden del 17,65% en la temporada '81. Un porcentaje similar puede atribuirse a todo el P.N. Lauca para el mismo período, dada la representatividad de la muestra. En los tres primeros meses de edad de las crías ocurrió la mortalidad más significativa, siendo al 1° de julio de 14,71%. Esta cifra representa respecto a la morta-

lidad total de crías —17,65%— el 83% de ella, lo que permite identificar este período como el más crítico para la sobrevivencia de las crías. Franklin registró para los cuatro primeros meses una mortalidad de 10 y 30% de las crías en 1969 y 1970 respectivamente. Cardozo y López (1981) calcularon para 1979 una mortalidad hasta los cuatro meses de 43,9% en las crías de la Reserva de Ulla-Ulla, 70,2% en Kanapata y 70,7% en Charaña-Laruta (todas en Bolivia), añadiendo que el mejor año en Ulla-Ulla fue 1974, donde la mortalidad para idéntico período sólo alcanzó 40,6% de las crías. Es evidente que lo ocurrido en Las Cuevas se asemeja al promedio de los antecedentes presentados por Franklin, presentando la población boliviana mortalidades excesivas que, en parte, podrían explicarse por la caza furtiva.

### Conclusiones

1. Los animales mayores a 6 meses de edad de un grupo familiar, dedican cerca del 90% de su tiempo diario a la ingesta de forrajes, principalmente en los bofedales.
2. El macho familiar dedica un porcentaje de su tiempo, inferior al 3%, a encuentros agresivos. Ellos ocurren de preferencia en la tarde, utilizando prioritariamente las acciones descritas como niveles bajos de agresión hacia sus congéneres.
3. Las pariciones ocurren desde la segunda semana de febrero hasta la última de marzo. La proporción de pariciones varió entre el 65 y 68% de las hembras reproductoras.
4. La mortalidad de crías en los 3 primeros meses de vida alcanzó el 14,7%. La mortalidad de crías total anual se estimó en 17,6%.
5. La expulsión de crías desde los grupos familiares se verificó entre los 6 y 12 meses de edad, ocurriendo el 54,5% de ellas durante febrero.
6. La familia de vicuñas promedio consta de 5,68 individuos, los que se dividen en 1 macho, 3,08 hembras y 1,6 crías. Las variaciones observadas a través del año se deben fundamentalmente al nacimiento de crías, mortalidad neonatal y expulsión de ellas. La relación de sexos en los adultos de los grupos familiares fue de 32 machos por cada 100 hembras.



# 6

## UN MODELO DE SIMULACION PARA EL MANEJO DE POBLACIONES DE VICUÑA

*Jorge E. Rabinovich,  
María J. Hernández,  
Jorge L. Cajal*

Las actividades pioneras de conservación de la vicuña se realizaron en Perú, en donde se estableció en 1967 la Reserva Nacional de Pampa Galeras, con la finalidad de proteger la especie y manejar la población local de vicuñas pensando en su aprovechamiento por los campesinos andinos.

La reserva contaba al principio con una población de unos 1.000 individuos en 1967 y la cifra llegó casi a 50.000 en 1978, cuando empezó a declinar. Entonces, se suscitó un vigoroso debate debido a que los científicos del gobierno peruano sugirieron la necesidad de realizar un sacrificio selectivo en la población de vicuñas. Los grupos conservacionistas hicieron reclamos airados y los técnicos en la materia publicaron estudios que se oponían al sacrificio selectivo y la cosecha (Eltringham y Jordan, 1981) por un lado; y que favorecían dichas prácticas, por otro lado (Norton-Griffiths y Torres, 1980).

Ante esta situación, se tornó la atención hacia modelos matemáticos, en la esperanza de poder incorporar una nueva perspectiva a los procesos de toma de decisiones. Hay esfuerzos precedentes preliminares en esta línea de investigación, principalmente basados en el uso del modelo exponencial (Rodríguez et al., 1983); del modelo logístico (Norton-Griffiths y Torres, 1980); y modelo de la Tabla de Vida aplicado a guanacos (Raedeke, 1976), pero ninguno de estos incorporó, en forma explícita, factor alguno de regulación de poblaciones, a pesar que Tarak (1978) aseguró enfáticamente, que los factores que dependen de la densidad poblacional son importantes para el manejo de las poblaciones de vicuñas. Más aún, ninguno de los modelos mencionados consideró aspectos económicos del problema. Nosotros creemos que este factor es



un requisito, si se espera que el modelo sea utilizado como una herramienta de manejo.

Con estas ideas en mente, se desarrolló un modelo de simulación, con ayuda del computador, con miras a cumplir los siguientes objetivos: 1. establecer si era posible desarrollar un modelo relativamente realista con la información existente; 2. detectar los "vacíos" de información crucial que no permiten la optimización de las decisiones de manejo; y 3. proporcionar una guía preliminar de las "mejores" estrategias de manejo, basada en criterios tanto biológicos como económicos.

Los detalles completos acerca del modelo pueden ser hallados en un informe anterior (Rabinovich et al. 1984) y aquellos lectores que estén interesados en conocer el programa de simulación, en lenguaje FORTRAN, pueden adquirirlo mediante un pedido expreso al primer autor de este trabajo.

## El Modelo

El modelo fue desarrollado a partir de los limitados datos de campo, disponibles para los autores acerca de las poblaciones de vicuña, cubriendo los siguientes rubros: climatología, productividad primaria y tamaños estimados de población (Figura 20-6). La confiabilidad de estos últimos fue verificada por Norton-Griffiths y Torres (1980). El modelo fue diseñado para el caso de poblaciones de vicuña, pero es lo suficientemente general como para ser aplicado también a poblaciones de guanacos.

## Dinámica Poblacional

La Figura 21-6, presenta un esquema con las características de la población y de la organización social de las vicuñas, que se consideran relevantes para describir la dinámica poblacional en la que se fundamenta nuestro modelo. Los procesos migratorios no fueron tenidos en cuenta, pero se consideró que la población estaba regulada por dos funciones que dependen de la densidad poblacional: fecundidad y mortalidad, en el sentido señalado por Norton-Griffiths y Torres (1980). Estos fenómenos dependen de la disponibilidad de pastos, la que depende a su vez de la densidad poblacional de los herbívoros y de la productividad primaria neta. Esta última está en función de la precipitación, por lo que también se simuló las lluvias. Se utilizó una función sinusoidal (basada en los datos de 14 años) antes que algún modelo dinámico, como el Marikoviano por ejemplo, debido a que el lapso cubierto por los datos climáticos es muy corto. Todas las funciones utilizadas en el modelo están descritas en la Figura 22-6.

**Figura 20-6**  
**Datos de campo del Sector Central Galeras, Perú**

Año	Precip. (a) (mm/año)	NPP(a,b)	Población Total de Vicúñas	Machos en Grup. Fam. (c) (1 por gpo.) (c)	Hemb. Adul. (c)	Sub- adul. (c)
1967	830	—	813	—	—	—
1968	460	—	891	—	—	—
1969	405	—	865	—	—	—
1970	440	—	1.079	—	—	—
1971	460	—	—	—	—	—
1972	735	—	2.080	—	—	—
1973	725	—	2.366	—	—	—
1974	240	—	3.023	1.316	4.047	2.375
1975	275	384	4.102	1.989	5.563	3.171
1976	515	367	4.544	2.326	6.760	3.807
1977	350	235	4.745	2.965	8.463	4.126
1978	220	158	4.940	3.448	9.213	4.723
1979	315	245	4.751	2.474	7.499	1.858
1980	315	265	4.414(d)	—	—	—

(a) Datos de la Reserva Nacional Pampa Galeras solamente (65 Km<sup>2</sup> del Sector Central Galeras).

(b) NPP = Productividad Primaria Neta anual (log de materia seca por ha).

(c) Datos de todo el Sector Central Galeras (957 Km<sup>2</sup>).

(d) Excluyendo 472 individuos extraídos.

*FUENTE:* Norton - Griffiths y Torres (1980)

Los parámetros fueron calibrados por diversos métodos, dependiendo de la disponibilidad de programas y del tiempo de computación requerido por el número de parámetros de cada función. En el caso de la función de precipitación, se minimizó un chi-cuadrado por “prueba y error” utilizando variaciones por pasos fijos de los valores de los parámetros. La función de productividad primaria neta fue calibrada mediante regresión lineal basada en datos de campo. Las dos funciones dependientes de la densidad poblacional fueron calibradas minimizando un chi-cuadrado, por el método de “búsqueda flexible polihédrica” (Powell, 1964) utilizando un programa (SIMPLEX) que desarrolló Himmelblau (1972). Debido a que los resultados preliminares mostraron algunas discrepancias entre los valores de campo y los simulados de las poblaciones de vicúñas, se tuvo que recalibrar los parámetros dependientes de la densidad, minimizando el chi-cuadrado entre los valores de la población total, pero usando datos de campo de productividad primaria neta y no los simulados.

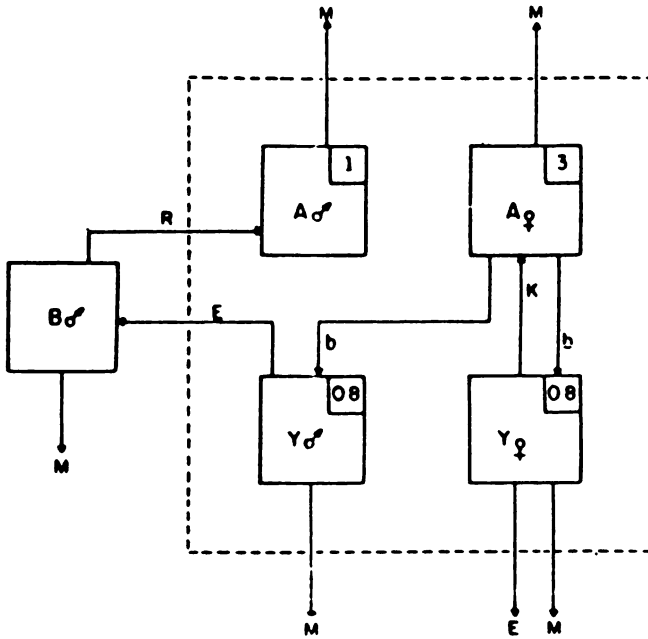


Figura 21-6. Organización social y poblacional en que se basa el modelo de simulación. Los números ubicados en la esquina superior derecha de los cuadros representan el número promedio de vicuñas de cada clase en una banda familiar típica. A♂, macho residente; A♀, hembras de la banda; y♂, machos juveniles; y♀, hembras juveniles; B♂, machos célibes; M, mortalidad (natural); b, proceso de nacimiento; E, expulsión de la banda; K, mantenido dentro de los límites de una proporción ♀/♂, de lo contrario sigue E y se une a un macho de B para formar una nueva familia; R, reemplazo del macho residente debido a mortalidad.

La presencia de herbívoros domésticos fue considerada como una constante basada en los valores de densidad poblacional de 1980, expresados como unidades-vicuña (Figura 23-6). Los supuestos básicos del modelo están listados en la Figura 24-6.

### Manejo de Poblaciones

Las vicuñas proporcionan lana, carne y pieles, por lo que se modelaron dos tipos de operaciones: cosecha y esquila. Ambas fueron consideradas sin tener en cuenta mejoras tecnológicas como drenaje, mejoramiento de la calidad de los pastos, selección genética para obtener vicuñas domesticadas, etc.

Figura 22-6  
Procesos básicos simulados en el modelo de las vicuñas

Proceso	Unidades	Función	Definición de los Parámetros o Variables	Valores
Precipitación	mm/año	$P = A (\cos 2 Jii/F) + SRNI + B$	A factor de escala J valor del año de simulación F factor de periodicidad S valor seleccionado al azar para sumar o restar R R número aleatorio entre 0 y 1 N factor de escala por ruido B factor de amplitud	550 1, 2, 3... 4 1, -1 0.....1 0,3 750
Productividad Primaria neta	kg materia seca por Ha por año	$NPP = Ap + Bp P$	Ap intersección Bp pendiente	119,11 0,472
Disponibilidad de pastos	kg materia seca por vicufla por día	$G = NPP (U/ (TD))$	U factor de conversión Ha a Km <sup>2</sup> T factor de conversión años a día D variable, densidad de población (vicuflas por Km <sup>2</sup> )	100 365
Mortalidad	Porcentaje	$M = Amexp (-BmG)$	Am valor de mortalidad máxima Bm parámetro de curvatura	100 5
Fecundidad	Juveniles por cada 100 hembras	$Y = Af \{1 - \exp [-Bf (G - Cf)]\}$	Af valor de fecundidad máxima Bf parámetro de curvatura Cf umbral de fecundidad	60,45 0,5 0,1
Cosecha	Proporción	$H = (D* - De) / D$ , si $D > De$ $H = 0$ , en todo otro caso	D variable, densidad de población (vicuflas por Km <sup>2</sup> ) De densidad de escape	sujeito a maximización
Arreo	vicuflas por día	$K = Akexp (-Bk r)$	Ak máximo valor de arreo Bk parámetro de curvatura r distancia (Km) desde el lugar de captura hasta el corral	90 0,565

**Figura 23-6**  
**Hervíboros domésticos presentes en la Reserva Nacional Pampa Galeras**  
**(65 Km<sup>2</sup>), en 1980**

Hervívoro	Número de Individuos	Factor de Conversión (vicuña/herbívoro)	Herbívoros en Unidades-Vicuña
Ovejas	345	1,11	383
Alpacas	10	1,67	17
Llamas	120	1,67	200
Burros	11	4,44	49
Caballos	1	5,55	6
Bovinos	107	5,55	594
Cabras	8	1,11	9
<b>TOTAL</b>	<b>602</b>		<b>1.258</b>

**Nota:** La conversión a Unidades-Vicuña está basada en el consumo de pastos.

El proceso de cosecha está basado en un valor crítico (umbral) fijo de densidad ( $D_e$ ) debajo del cual no se cosecha. En el caso de densidades superiores a  $D_e$  se aplica como cosecha una tasa proporcional a la diferencia entre  $D_e$  y la densidad poblacional real (ver la expresión algebraica en la Figura 22-6). Este método de cosecha es conocido como la regla de escape fijo, o "bang-bang" (Clark, 1976).

El proceso de esquila requiere de la captura y liberación diarias de las vicuñas durante un período de tres meses (Abril, Mayo, Junio). Los animales son arreados a caballo hacia una red en forma de embudo hasta que finaliza en un corral ("manga"). La esquila se ejecuta con una esquiladora eléctrica de dos brazos. Los supuestos básicos para el manejo, también se listan en la Figura 24-6.

El modelo contabiliza el número de animales esquilados y cosechados, estableciendo sus costos y ganancias. Diversas combinaciones entre cosecha y esquila fueron simuladas. La combinación óptima depende de relaciones biológicas y económicas puesto que la cosecha supone la matanza de animales, mientras que la esquila puede ser aplicada al mismo individuo año tras año.

Para optimizar el manejo se tiene que definir una función objetivo, pero un valor  $D_e$  que optimice la ganancia, no necesariamente optimiza la producción de cosecha (aquí consideramos que la cosecha se refiere al número de

vicuñas sacrificadas, sin ninguna implicación de valor económico). Preferimos no especificar una única función objetivo, sino que analizamos alternativas de manejo basadas en varios valores de  $D_e$  relacionados con indicadores económicos, ambientales y poblacionales, los cuales pueden ser presentados gráficamente para facilitar la optimización del proceso de toma de decisiones en forma simple y flexible (Peterman, 1977).

Los procesos básicos que se presentan en la Figura 22-6 fueron ejecutados en secuencia, según se indica en el flujograma de la Figura 25-6. Los valores de los parámetros y de las condiciones iniciales se muestran en la Figura 26-6.

### Figura 24-6

#### Suposiciones implícitas o explícitas utilizadas en el modelo

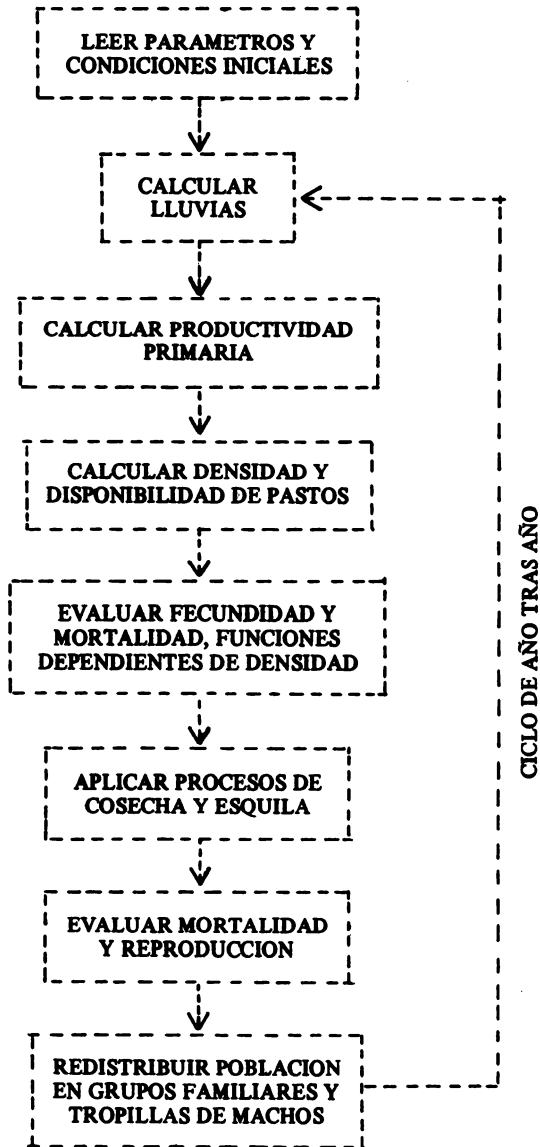
---

##### Dinámica Poblacional:

- El número de grupos familiares no cambia con el deterioro de las condiciones ambientales.
- No hay movimientos locales ni migraciones.
- Hay un efecto retardado: las funciones de fecundidad y de mortalidad dependen de la disponibilidad de pastos del año anterior.
- No se consideró la calidad nutricional de los pastos.
- La función de mortalidad, dependiente de la densidad, es la misma independientemente de la edad o sexo.
- La reproducción fue considerada como un comportamiento de tipo "caja negra"; la fecundidad, expresada en términos de juveniles por hembra en cada grupo familiar, incluye los procesos de mortalidad fetal, natalidad, mortalidad neonatal, reproducción retardada y emigración.
- Hay un valor umbral de disponibilidad de pastos para que tenga lugar la reproducción.
- No se consideró ningún deterioro del habitat, a ningún nivel de densidad poblacional.

##### Manejo de Poblaciones:

- Los animales no son dañados al ser arreados o esquilados.
  - Sólo el 80% de los animales capturados pueden ser esquilados.
  - Se realiza la cosecha de acuerdo a las siguientes prioridades: machos célibes, hembras juveniles, machos residentes.
  - La operación de cosecha mediante caza o aporreo y descabezamiento de los animales esquilados, fue considerada como de costo insignificante.
  - La producción de lana de vicuñas es la misma, independientemente de sexo o edad.
  - La esquila puede ser aplicada al mismo individuo todos los años.
  - Los costos y beneficios por unidad son constantes en el tiempo.
  - Aun cuando no se comercializa vicuñas en el presente, éstas tienen un valor potencial de US\$ 20,40 y 25 por individuo, por su carne, piel y lana, respectivamente.
-



**Figura 25-6**

**Diagrama de flujo del modelo de simulación para el manejo de camélidos sudamericanos**

**Figura 26-6**  
**Valores de los parámetros y condiciones iniciales**  
**utilizados en la simulación**

<b>Rubro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Area	65	Km <sup>2</sup>
Población en grupos familiares	813	N° de individuos
Población en grupos familiares	0,720	Proporción
Hembras/Machos en grupos familiares	3,1	Razón proporcional
Valor máximo de fecundidad	60,45	Juveniles/100 hembras
Tamaño promedio del grupo familiar	5,3	N° de individuos

*FUENTE:* Norton - Griffiths y Torres (1980)

## Resultados

### Simulación sin Manejo

El modelo produce una curva de crecimiento de la población que puede ser comparada con los 14 años de datos disponibles (Figura 27-6). La simulación a lo largo de un período más largo, muestra un crecimiento limitado de la población, el cual tiende a estabilizarse cuando se llega a densidades de 100 a 120 vicuñas por Km<sup>2</sup>. Las oscilaciones en la disponibilidad de pastos y en el tamaño de la población, en la vecindad del nivel de estabilidad, se deben a los componentes aleatorios propios de la simulación de la precipitación. La disponibilidad de pastos decrece a medida que aumenta la densidad de la población, llegando a valores de menos de 1 kg/día/individuo. Este es el valor crítico aproximado, cerca del cual la fecundidad llega a cero y la mortalidad empieza a aumentar rápidamente. De acuerdo con las funciones que dependen de la densidad poblacional, la fecundidad se reduce a cerca de 20 juveniles por cada 100 hembras y la mortalidad aumenta hasta un 5-10% anual. Hay correspondencia entre la máxima de la población simulada y la mínima de la disponibilidad de pastos, debido al retraso natural de un año entre la disponibilidad de pastos y su efecto en la fecundidad y la mortalidad.

### Convalidación

El proceso de convalidación debe ser realizado con un conjunto de datos que no hubiera sido utilizado en la calibración de los parámetros; para ello se apeló a 5 años de datos de la Reserva Nacional San Guillermo, Argentina. Las condiciones climatológicas y la productividad primaria neta son diferentes



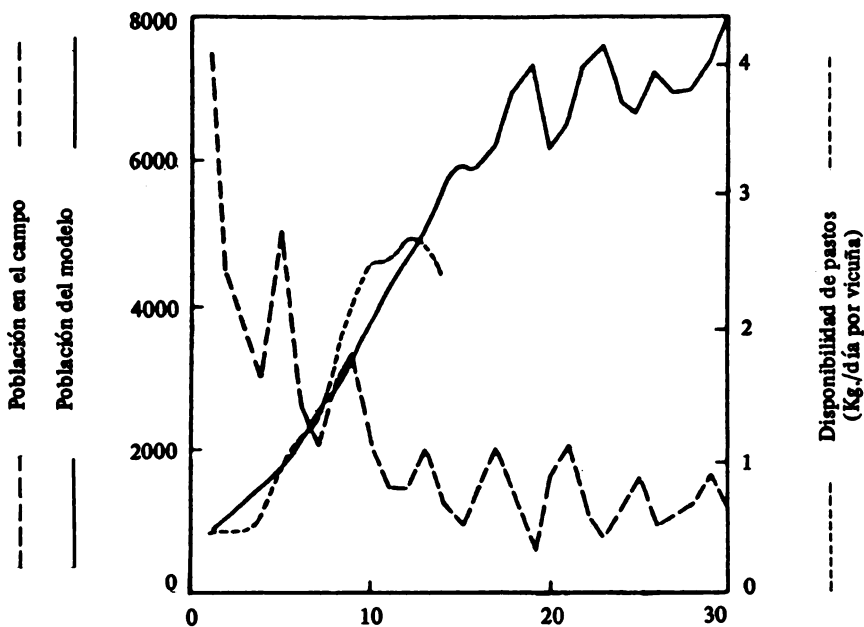


Figura 27-6. Población total de campo y simuladas; esta última extendida por 30 años de simulación, al igual que la disponibilidad de pastos. (Los datos de campo son de Norton - Griffiths y Torres, 1980).

a las de Pampa Galeras, Perú. Por otro lado, también debe tenerse en cuenta que la densidad poblacional era baja, comparativamente; y que existía competencia con Guanacos, en San Guillermo.

Todas estas diferencias configuraron una prueba de convalidación más exigente de lo normal. Debido a que no se contaba con un registro de datos sobre precipitación de San Guillermo, se utilizó 375 kg de pasto/ha/año, obtenido en el campo por uno de los autores, como valor de la productividad primaria neta. La presencia de guanacos fue considerada en términos de unidades-vicuña (un guanaco es equivalente a 1,56 vicuñas, por peso en adultos). La dinámica poblacional de los guanacos no fue modelada, pero sí se incorporaron valores poblacionales en el campo. La figura 4 presenta los valores de población, tanto del campo como los simulados. Como la disponibilidad de pastos simulada, nunca bajó de menos de 1, 2, 3... kg/día /individuo (muy por encima de los requerimientos de la vicuña), en ningún momento se llegó a valores críticos de densidad, de manera que la mortalidad simulada nunca estuvo por encima de cero.

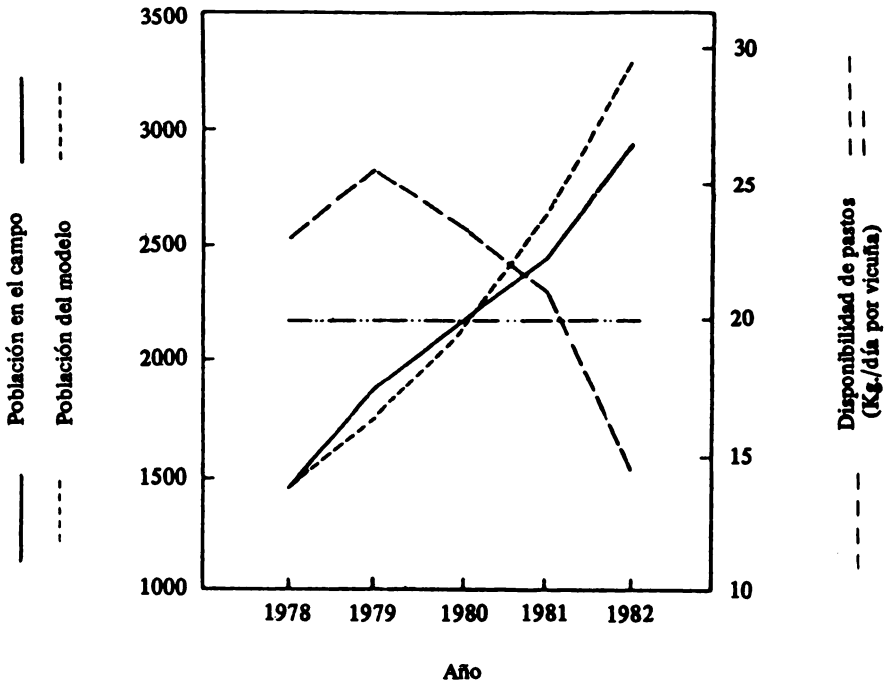


Figura 28-6. Convalidación del modelo utilizando estimaciones poblacionales de la Reserva Nacional San Guillermo (sector Los Leones), Provincia de San Juan, Argentina (200 Km<sup>2</sup>) (Cifras de campo de Cajal et al., 1983) Esta convalidación incluyó competencia con guanacos.

### Simulación con Manejo

En el apéndice se muestran los costos y ganancias que resultan de la esquila, lo que permite el cálculo del ingreso neto por "manga", a varios niveles de densidad poblacional. El número de "mangas" fue escogido mediante la maximización de los beneficios netos anuales asociados a una dada densidad poblacional de vacuñas (Figura 29-6).

Se utilizaron varios indicadores económicos y poblacionales en el análisis de manejo, resultando los más interesantes el número de individuos cosechados y el beneficio neto total. Estos fueron obtenidos para 20 años de simulación, variando dos parámetros:  $D_e$  y la densidad inicial de simulación,  $D_i$ . Los resultados son presentados gráficamente utilizando nomogramas (Peterman, 1977), en los cuales las líneas unen valores iguales del indicador (isolíneas o líneas de contorno) en el plano  $D_e, D_i$ .

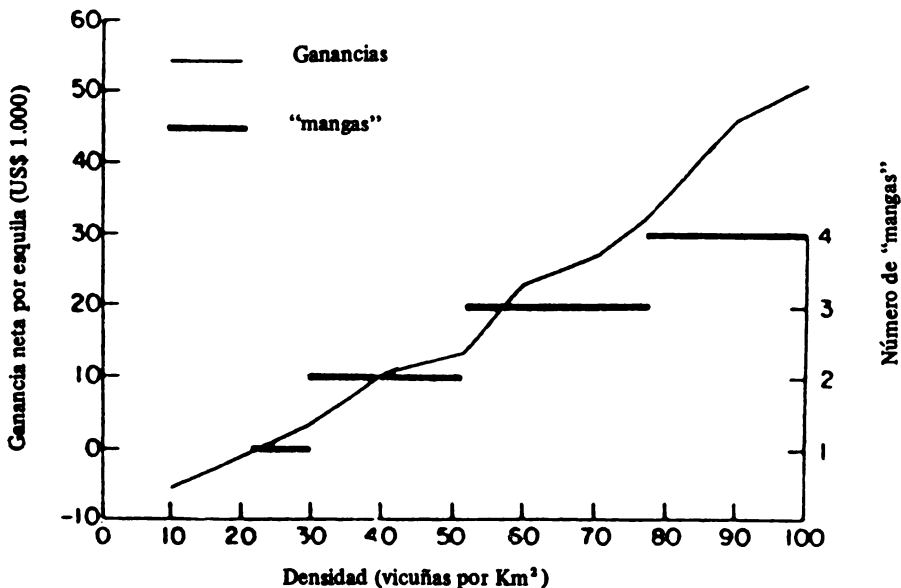


Figura 29-6. Número de "mangas" y ganancia neta total por esquila como una función de la densidad de vicuña en un área de 65 Km<sup>2</sup>.

El análisis de los resultados, como totales acumulativos a lo largo de 20 años, nos condujo a la conclusión que el número de individuos cosechados está afectado esencialmente por  $D_e$  y sólo en menor medida por  $D_i$ . Una cosecha productiva óptima fue lograda para un valor de  $D_e$  igual a unas 40 vicuñas por Km<sup>2</sup>. Por otro lado, el beneficio neto total es más sensible a los valores tanto de  $D_e$  como de  $D_i$  (habiéndose incluido las ganancias obtenidas por la esquila). La máxima ganancia se obtiene cuando el valor de  $D_e$  es de entre 60 y 70 vicuñas por Km<sup>2</sup>.

Otros análisis que se efectuaron tuvieron en cuenta diversas tasas de descuento (un parámetro económico que convierte ganancias futuras en valores actuales). A medida que se incrementa la tasa de descuento (a) las ganancias acumulativas decrecen para un mismo  $D_e$  y  $D_i$ , (b) el valor óptimo de  $D_e$  disminuyó, y (c) los valores de  $D_i$  se tornaron más influyentes.

Los resultados también fueron analizados como promedios anuales. La Figura 6 muestra los nomogramas correspondientes a cuatro indicadores distintos; un valor óptimo de  $D_e$  puede obtenerse combinando dos o más nomogramas. Por ejemplo, para maximizar la ganancia anual promedio, restringida a una estabilidad en el ingreso (por ejemplo, para un coeficiente de variación

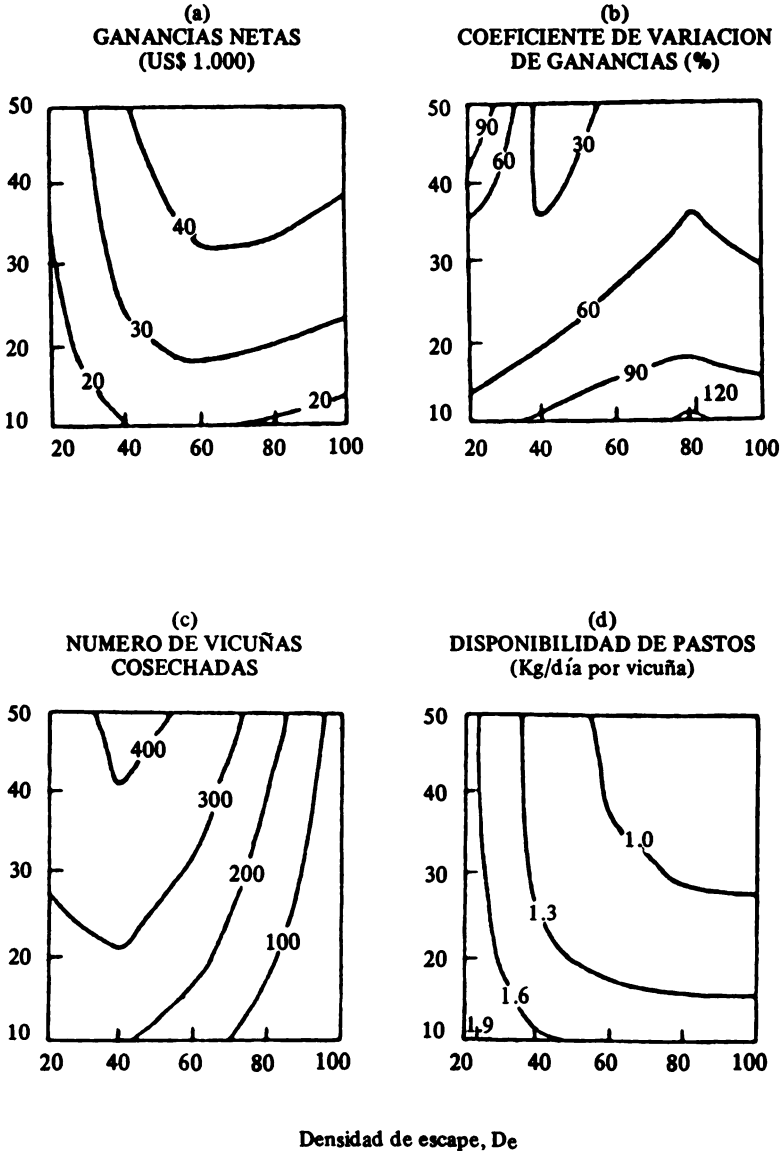


Figura 30-6. Nomogramas de indicadores de decisiones (en términos de valores promedio por año) para el análisis de manejo. La densidad inicial representa la condición original en el primer año de simulación en la computadora. Todas las densidades están dadas en vicuñas por Km<sup>2</sup>.

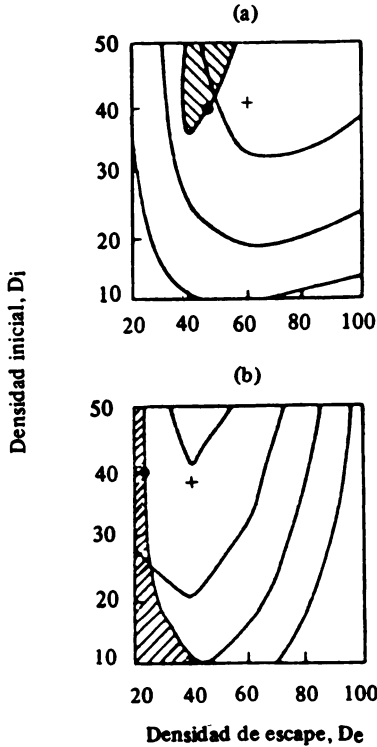
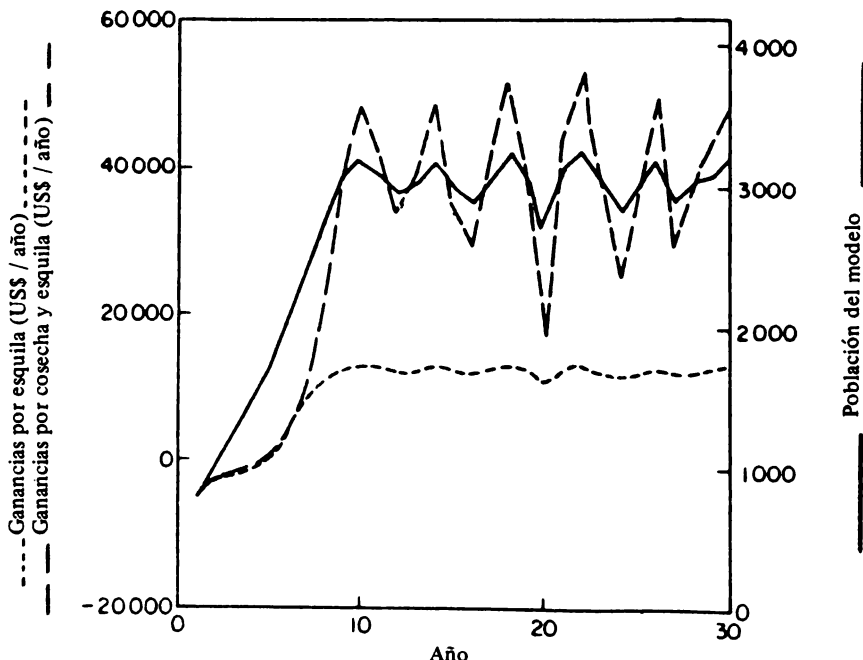


Figura 31-6. Superposición de nomogramas para la optimización del manejo (a) Maximización de Fig. 6a. sujeta a la restricción de Fig. 28-6b con un valor del 30% (b) Maximización de Fig. 6c sujeta a la restricción de Fig. 28-6a con un valor de 1,6 Kg/día por vicuña.

menor del 30%), superponemos las Figuras 30-6a y 29-6b produciendo la Figura 31-7a, en la que el valor óptimo de  $D_e$  tiene que estar dentro del área sombreada. Para un valor  $D_i$  de 40 vicuñas por  $\text{Km}^2$ , el valor óptimo de  $D_e$ , sin restricciones, fue de unas 60 vicuñas por  $\text{Km}^2$  (Figura 29-6a) que no cae dentro del área sombreada de la Figura 30-7 (ver la cruz). En cambio, el valor óptimo de  $D_e$ , con la condición de restricción, es de unas 45 vicuñas por  $\text{Km}^2$  (ver el punto neutro en la Figura 30-7a).

Siguiendo el mismo procedimiento, la maximización del indicador poblacional (número de individuos cosechados) podría afectarse de la restricción de un indicador ambiental (por ejemplo, la disponibilidad de pastos) como se muestra en la Figura 30-7b. El área sombreada de este gráfico incluye los valores para los que la disponibilidad de pastos es mayor de 1,6 Kg de materia seca



**Figura 32-6.** Resultado de la simulación de manejo utilizando la regla “bang-bang” con una densidad de escape fija  $D_e$  de 40 vaciñas por  $Km^2$ . Las condiciones iniciales corresponden a los datos de campo de 1967.

por vaciña por día. También, para el caso de un  $D_i$  igual a 40 vaciñas por  $Km^2$ , el valor óptimo de  $D_e$  resulta ser de unas 25 vaciñas por  $Km^2$  (punto negro Figura 31-7b) en lugar de 40 vaciñas por  $Km^2$  como hubiera sido el caso si no se hubieran impuesto restricciones (cruz en la Figura 31-7b).

Una simulación de 30 años, utilizando la regla “bang-bang” y un valor  $D_e$  de 40 vaciñas por  $Km^2$ , se muestra en la Figura 32-6. El año 1 de simulación corresponde a los datos de campo de 1967. La cosecha se inició en el octavo año, cuando la población llegó al valor crítico  $D_e$ . La población simulada se estabilizó alrededor de 3.000 vaciñas, y no de 7.000 vaciñas como sucedió en las simulaciones sin manejo. Los beneficios obtenidos por la esquila fueron casi constantes, pero las ganancias totales oscilaron debido a las fluctuaciones en la población cosechada.

### Análisis de Sensibilidad

Los resultados obtenidos dependen de los valores de los parámetros ajustados, razón por la cual se tuvo que evaluar la magnitud de la variación en

las variables del modelo en respuesta a cambios en los valores de los parámetros. Debido al elevado número de parámetros que se utilizaron en el modelo, los análisis de sensibilidad se realizaron en tres etapas sucesivas aplicando técnicas diferentes, en cada etapa.

(1) Regresión lineal múltiple por pasos. Los parámetros y variables que se utilizaron en el análisis de sensibilidad, fueron escogidos subjetivamente. Se diseñó un programa que asignaba automáticamente tres valores diferentes a cada uno de los siguientes siete parámetros (Ver las definiciones en la Figura 22-6). proporción  $\varphi / \delta$  en grupos familiares,  $A_f$ ,  $B_f$ ,  $C_f$ ,  $B_m$ , A y B (por ejemplo,  $B_f + 0.2B_f$ ,  $B_f$ ,  $B_f - 0.2B_f$ ); y cinco valores a cada uno de los siguientes cuatro parámetros:  $A_k$ ,  $B_f$ ,  $A_p$  y  $B_p$  (por ejemplo,  $A_k + 0.5A_k$ ,  $A_k + 0.2A_k$ ,  $A_k$ ,  $A_k - 0.2A_k$ ,  $A_k - 0.5A_k$ ). Los valores dados a los parámetros fueron 15-60% menores o mayores que los valores estándar que aparecen en la Figura 22-6. Las variables del modelo que fueron analizadas en su respuesta a la variación de los parámetros fueron aquellas que se utilizaron como indicadores en las simulaciones de manejo.

Para los análisis de regresión, los parámetros fueron considerados como variables independientes y los indicadores de manejo fueron las variables dependientes. El método de regresión por pasos selecciona las variables independientes (parámetros) que mejor explican la varianza de la variable dependiente. La importancia *relativa* de los parámetros en la predicción, fue evaluada utilizando los coeficientes de regresión parcial estandarizados. Cuando las variables poblacionales fueron utilizadas como indicadores, el parámetro  $B_f$  resultó el más importante, seguido de  $B_m$  (es decir, los exponentes de la densodependencia de las funciones de la fecundidad y de la mortalidad, respectivamente). Cuando se utilizaron variables económicas como indicadores los parámetros  $A_k$  y  $B_k$  fueron los más importantes. Los parámetros A y B fueron importantes también, pero éstos no fueron analizados mayormente pues es usual que se pueda obtener en el campo registros confiables de precipitación.

(2) Análisis de Coordenadas Polares. Este método permite analizar la sensibilidad (cuantitativamente aunque de manera subjetiva) utilizando gráficos basados en un sistema de coordenadas polares (Thornton et al., 1979). Este método fue aplicado a los parámetros  $B_f$  y  $B_m$ , los cuales mostraron ser los más influyentes en el análisis de regresión múltiple por pasos. Los parámetros fueron perturbados en un 50%, por encima y por debajo de sus valores estándar. Al igual que en el caso anterior, las variables analizadas fueron usadas como indicadores en las simulaciones de manejo. Una ventaja de este procedimiento es su capacidad para resumir grandes cúmulos de información, pero posee la limitación que sólo se puede perturbar un parámetro por vez.

En cada análisis gráfico se realizaron dos simulaciones de 30 años: una con el valor estándar del parámetro (“simulación base”) y la otra con el valor del parámetro perturbado (“simulación perturbada”). Para cada año simulado se computó la razón entre el valor perturbado y el valor base de cada indicador, constituyendo la “razón de sensibilidad”. Los años simulados son representados en unidades angulares (30 años corresponde a 360 grados) y las razones de sensibilidad se representan como la longitud del vector radial. Así, si la relación de sensibilidad es de cerca de la unidad en cada año, el resultado adoptará la forma de un círculo, significando que la perturbación no afectó al indicador examinado. La Figura 32-6 muestra los resultados del análisis de sensibilidad cuando se aumentó en un 50% el valor estándar de  $B_f$  en once variables del modelo. Cada gráfico tiene el círculo de la unidad a modo de referen-

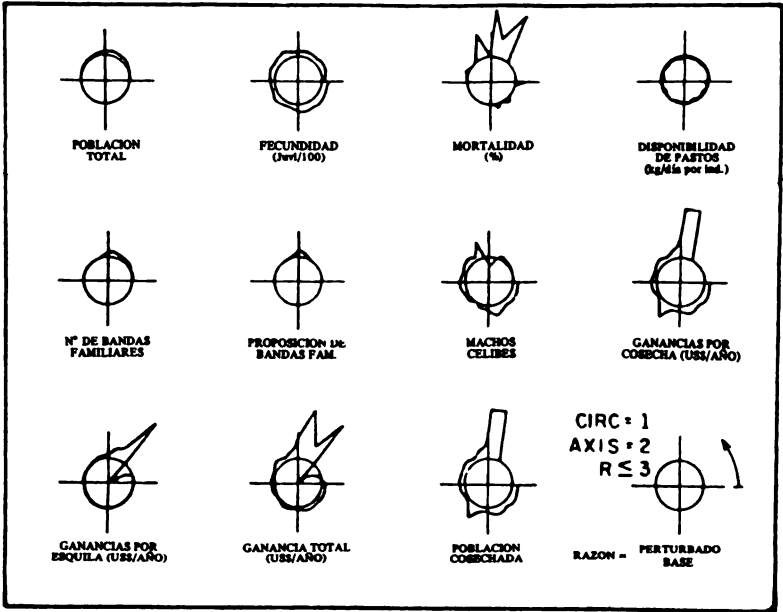


Figura 33-6. Resultados del análisis de sensibilidad utilizando coordenadas polares, para un incremento del 50% en el parámetro  $B_f$ , de 0,5 a 0,75. El gráfico en la esquina inferior derecha muestra la representación básica del sistema utilizado: la razón de sensibilidad (= razón simulación perturbada / simulación base) está graficada sobre el círculo de la unidad; los ejes perpendiculares entre sí están en una escala que representa un valor igual a 2 para facilitar la referencia visual; razones mayores de 3 están truncadas. Los picos suelen indicar algún efecto retardo en la respuesta o un proceso de compensación de los mecanismos de regulación.



cia. Este análisis, aplicado a  $B_f$  y  $B_m$  confirmó la importancia capital de estos dos parámetros.

(3) Búsqueda Directa. Los efectos de perturbar simultáneamente los parámetros  $B_f$  y  $B_m$  fueron analizados en función del proceso de toma de decisiones, esto es, la selección de la densidad de escape óptima ( $D_e$ ). Los nomogramas que se hicieron con este propósito indicaron que existe una interacción entre los dos parámetros en el caso de la mayoría de los indicadores del modelo. A medida que  $B_f$  se incrementaba también lo hacía el valor óptimo  $D_e$ . Este cambio fue ligeramente modificado cuando los valores de  $B_m$  fueron diferentes. La Figura 33-6 muestra las modificaciones de  $D_e$  en función de  $B_f$  para el caso de tres diferentes indicadores del modelo, cuando se mantiene constante el valor estándar de  $B_m$ .

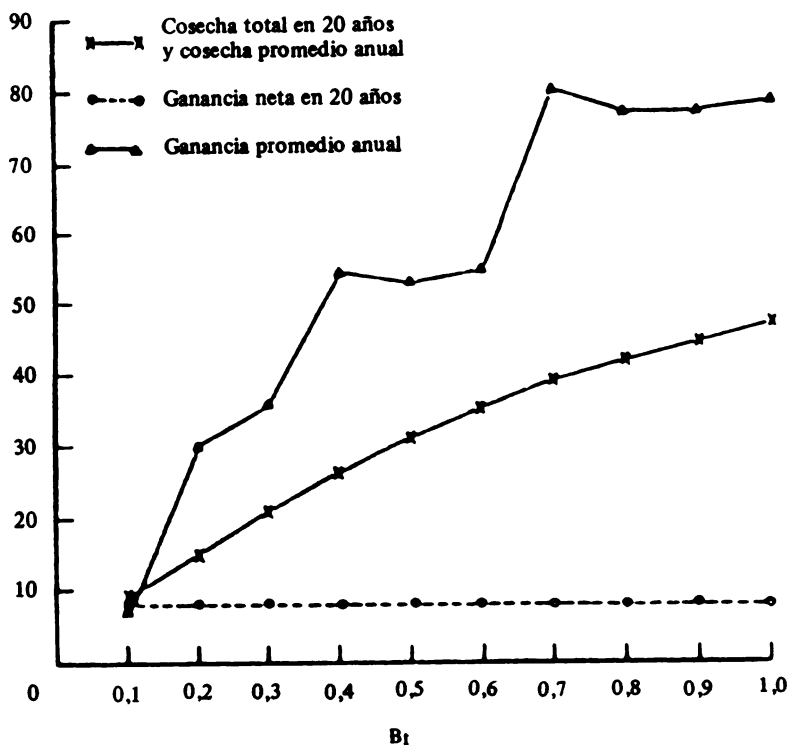


Figura 34-6. Sensibilidad de la variable de decisión de manejo respecto de la variación de parámetros: respuesta de la densidad de escape óptima a los cambios en el parámetro  $B_f$ , para el caso de tres indicadores para decisiones. El parámetro  $B_m$  se mantuvo constante con su valor estándar igual a 5.

## Discusión

La regla de cosecha de escapes fijos que se utilizó aquí es sólo uno de los diversos procedimientos de optimización posibles. Se seleccionó debido a que se comporta como una de las reglas más eficientes en situaciones que incluyen factores ambientales aleatorios, tales como la variabilidad en la precipitación que se observó en la Reserva Nacional Pampa Galeras. La eficiencia de esta regla de optimización resulta de la fuerte retroalimentación que la caracteriza, sin embargo resulta interesante comparar la densidad de escape óptimo que obtuvimos para el caso del número cosechado (40 vicuñas por  $\text{Km}^2$ ), con otras reglas de optimización de la cosecha.

En un trabajo anterior, Norton-Griffiths y Torres (1980) estimaron una capacidad de sostenimiento de  $K = 89,4$  vicuñas por  $\text{Km}^2$ , suponiendo que las poblaciones de vicuñas crecen de acuerdo con el modelo logístico. Por otro lado, se sabe (Caughley, 1978) que para el caso del modelo logístico, el rendimiento sostenido máximo (RSM) se obtiene a un nivel de población de  $K/2$ , el cual sería de  $44,7$  vicuñas por  $\text{Km}^2$  en la Reserva Nacional Pampa Galeras, un valor que es ligeramente mayor que el obtenido por nosotros para el escape fijo.

Un estudio colateral, completamente independiente, acerca de la productividad de las poblaciones de vicuñas en Chile (Rodríguez et al., 1983) da un estimado, mediante un análisis energético de la capacidad de sostenimiento teórica, de cada uno de los ambientes de las vicuñas. Nuestros cálculos de la capacidad de sostenimiento global, en la forma de una suma ponderada, dieron un valor para  $K$  de  $79$  vicuñas por  $\text{Km}^2$ . Si nos apegamos a las normas de un modelo logístico de crecimiento demográfico, entonces el nivel de población para un máximo rendimiento sostenido sería de  $39,5$  vicuñas por  $\text{Km}^2$ .

Ajustando los datos de población de 14 años, de Pampa Galeras, a las curvas de reclutamiento de Ricker y Chapman utilizadas en pesquerías (Chapman, 1973), se obtendría el MRS a niveles de densidad de  $41$  a  $45$  vicuñas por  $\text{Km}^2$ , respectivamente.

Hay que tener en cuenta que estos cuatro niveles de población óptima para la cosecha (cuyo promedio es de  $42,6$  vicuñas por  $\text{Km}^2$ ), al igual que nuestro valor de  $40$  vicuñas por  $\text{Km}^2$ , como densidad de escape óptima, se refieren a la maximización del número cosechado sin tener en cuenta consideraciones económicas.

Nuestros resultados no se pueden comparar utilizando indicadores económicos con los de otros estudios, puesto que en ningún caso se realizaron

análisis económicos. Sin embargo, es interesante destacar que nuestra densidad de escape óptima de 60-70 vicuñas por Km<sup>2</sup> fue obtenida con una tasa de descuento igual a cero. La densidad de escape para maximizar los diferentes indicadores económicos es muy sensible al nivel de la tasa de descuento que se utilice: cuanto mayor sea la tasa de descuento utilizada, menor resultará la densidad de escape. Tanto Perú como Argentina, con tasas inflacionarias altas y considerables incertidumbres respecto del futuro económico, representan situaciones típicas de tasas de descuento altas. Consecuentemente, los gobiernos de estos países debían imponer medidas estrictas para regular el manejo de las poblaciones de vicuñas, particularmente en el control y ejecución de regulaciones, a fin de ser coherentes con la tasa de descuento igual a cero que se utilizó en este trabajo.

En estos análisis, no hemos incorporado la cosecha seleccionada por edades pues se acepta que la cosecha no-selectiva no es menos eficiente, aunque sí es menos costosa (Caughley, 1978). En nuestro modelo sólo se consideró la cosecha selectiva por sexos, completándose la cuota anual de cosecha con machos solteros.

Nuestro modelo incluye competencia con otros herbívoros en una manera indirecta: la disponibilidad de pastos está afectada no sólo por la densidad de la población de vicuñas, sino también por los otros herbívoros locales domesticados. Sin embargo, no hicimos intento alguno para desarrollar un modelo de manejo completo para todos los herbívoros, como sería por ejemplo la ubicación óptima de las diversas especies en los pastizales.

## Conclusiones

Esperamos haber logrado los tres objetivos. Se considera que el segundo de éstos resultará el más útil de los tres y se consiguió en parte, gracias al análisis de sensibilidad, pudiendo resumir las conclusiones de la materia siguiente:

- (1) Es de fundamental importancia la determinación de los coeficientes exponenciales de las funciones densodependientes, esto es, sus tasas de cambio, especialmente en el proceso de fecundidad.
- (2) Las estimaciones de densidad deben ser expresadas como densidades ecológicas, esto es, basadas sólo en aquellas áreas del hábitat que son adecuadas para las vicuñas.
- (3) La productividad primaria del estudio estuvo basada en estimaciones potenciales. La productividad primaria neta, en diferentes condiciones de

carga por pastoreo, debe ser evaluada, particularmente en los casos de densidades muy altas.

- (4) No hay información sobre movimientos de un valle a otro; debe evaluarse la dispersión a un nivel mayor que el local, sobre todo para verificar si ocurre a la manera de una válvula de seguridad cuando las densidades son muy altas.

En cuanto al rubro de decisiones de manejo, se concluye con una recomendación general y otra específica:

- (5) Aun cuando la regulación que depende de la densidad parece funcionar principalmente a través de la fecundidad (minimizando en esta forma las pérdidas por mortalidad, ocurre sobrepastoreo cuando las densidades son altas. Consecuentemente, se recomienda una cosecha periódica de la población, sea o no anual. El transporte de vicuñas para repoblar otras áreas, es una opción aceptable pero que sólo posterga el tiempo en que las cosechas periódicas deberán empezar.
- (6) La densidad óptima para maximizar una cosecha sostenida, que sea compatible con una población "saludable" (bajo condiciones como las de la Reserva Nacional Pampa Galeras), es de unas 40 vicuñas por Km<sup>2</sup>. Esta densidad de escape puede subir hasta 60-70 vicuñas por Km<sup>2</sup>, si se aplican criterios económicos con una tasa de descuento igual a cero.

No creemos que estas decisiones de manejo sean completamente confiables, de manera que sugerimos que se apliquen como una prueba de campo piloto, cuando así lo permitan los acuerdos internacionales. Otros factores económicos y operacionales que no fueron considerados (mercadeo, tasas de inflación, técnicas de mejoramiento de tierras y riego, cacería clandestina, contrabando, etc.) tendrán que ser incorporados en futuros esfuerzos de modelaje, con la finalidad de hacer más confiables las recomendaciones que ayuden a hacer decisiones sobre manejo.

### Apéndice

El proceso de esquila sólo puede ser ejecutado en los meses de Abril, Mayo y Junio: 60 días de trabajo (5 días por semana) más 5 días adicionales para la construcción y desmantelamiento de las "mangas". Este proceso fue simulado utilizando una subrutina que evalúa el número de vicuñas capturadas y esquiladas, por "manga" (ver la función de arreo en la Figura 22-6), considerando costos y ganancias (Figura 34-6). Por ejemplo, para un área de 65

**Km<sup>2</sup> y una densidad de 40 vicuñas por Km<sup>2</sup>, se puede obtener costos y ganancias para una “manga”, durante toda la estación de esquila, como sigue:**

---

<b>Area de arreo cubierto por una “manga”</b>	<b>28,3 Km<sup>2</sup></b>
<b>Tiempo empleado</b>	<b>53,6 días de trabajo</b>
<b>Costo por “manga”</b>	<b>US\$ 17.648.-</b>
<b>Número total de vicuñas capturadas</b>	<b>1.131</b>
<b>Rendimiento económico</b>	<b>US\$ 25 por vicuña</b>
<b>Ganancia bruta por “manga”</b>	<b>US\$ 28.275.-</b>

---

**Figura 35-6**  
**Costos y ganancias asociados con la esquila de vicuñas**

*Costos por "manga"*

Rubro	Cantidad	Costos Unitarios (US\$)	Totales para tres meses (US\$)
Personal	10 arreadores 3 trasquiladores 2 choferes	200 por individuo por mes	9.000
Caballos	12	30 por caballo, <sup>(a)</sup> por mes	1.080
Manga	1000 metros red 100 postes	5 por metro red 10 por poste	1.000 <sup>(b)</sup> 200 <sup>(b)</sup>
Trasquiladora de dos mangos	1 <sup>(c)</sup> 360 litros de gasolina <sup>(d)</sup>	700 0,3 por litro	140 <sup>(b)</sup> 108
Vehículos	2 400 litros de gasolina	15.000 0,3 por litro	6.000 <sup>(b)</sup> 120
<b>Total</b>			<b>17.648.-</b>

*Ganancias por Unidad:*

Producción de lana, promedio = 0,25 Kg por vicuña.

Valor de la lana = 100 US\$ por Kg.

- (a) 5 días de alimentación en establo y dos días de pastoreo. Alimento en establo por caballo: 2 Kg de avena (0,7 US\$/Kg) + 2 Kg de alfalfa (0,05 US\$/Kg).
- (b) Debido a depreciación (20% anual) del capital invertido, con un período de vida útil de 5 años.
- (c) Capacidad: 7 vicuñas por hora.
- (d) Consumos: 1 litro/hora, 6 horas/día, 5 días/semana.



# 7

## LITERATURA CONSULTADA

Los números en paréntesis al final de cada referencia indican el capítulo o capítulos en los cuales el trabajo fue consultado.

Aldenderfer, M.

1985 Rupestral art at Cueva Cimarrón, Department of Tacna, Southern Perú. Paper presented to the VII International Symposium on Rock Art in the Americas, Bogotá, Colombia. (1)

Altamirano, A.

1979 Análisis de restos de fauna de Piedras Gordas, Cerro de Pasco, Perú. Manuscrito en Archivo, Laboratorio de Paleontozoología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. (1)

Alzérreca, H.

1982 Area de distribución y centros de protección de vicuñas en Bolivia, *En: Comunicaciones de la Vicuña: N° 4*, pp. 13-16. La Paz, Bolivia. (5)

Brack, A.

1979 The Vicuñas present situation in Peru and the alternatives for their management. Ministerio de Agricultura y Alimentación. Lima. (5)

Brack, A.

1980 a Situación actual de la población de vicuñas en Pampa Galeras y zonas alejadas, y recomendaciones para su manejo Min. Agri. y Alim., P.E.U.R. V.: 15 p. Lima, Perú. (5)

Brack, A.

1980 b Captura y traslado de vicuñas con fines de repoblamiento durante el año 1979. Min. Agric. y Alim., P.E.U.R.V.: 9 p. Lima, Perú. (5)

Brack, A., Hoces, D. y Sotelo, J.

1981 Situación actual de la vicuña en el Perú y acciones a ejecutarse para su manejo en el año 1981. Ministerio de Agricultura y Alimentación, Lima, Perú, 71 pp. (6)

Boswall, J.

1972 Vicuña in Argentina. *Oryx*. 1: 449-453. (5)



- Cajal, J.  
1979 Informe de la República Argentina. En: reunión de los países signatarios del convenio para la conservación de la vicuña. Documento final. pp. 24-31 Min. Agric. y Alim. P.E.U.R.V., Lima, Perú. (5)
- Cajal, J.  
1983 Comentarios sobre el documento: declaración sobre la vicuña. Recursos Naturales Renovables, Subsecretaría de Ciencia y Tecnología, Buenos Aires, Argentina, 7 pp. (6)
- Cajal, J., Pujalte, J. y Reca, A.  
1983 Resultados de los censos de camélidos silvestres en las reservas de San Guillermo (San Juan), Laguna Brava (La Rioja) y Laguna Blanca (Catamarca). Informe a la XI Reunión Argentina de Ecología, 17-23 Abril, Córdoba, Argentina, 1983, 18 pp. (6)
- Calzada B.  
1964 Métodos estadísticos para la investigación. 2ª Ed.: pp. 381-386. Calzada Ed. Lima, Perú. (5)
- Cardich, A.  
1959 Los yacimientos de Lauricocha y la nueva interpretación de la prehistoria peruana. Actas y Trabajos del II. Congreso Nacional de Historia del Perú, Vol. 1: 93-109, Lima. (1)
- Cardich, A.  
1983 A propósito del 25 Aniversario de Lauricocha. Revista Andina, Tomo 1:1: 151-173, Centro Bartolomé de Las Casas, Cuzco. (1)
- Cardozo, A.  
1968 Bibliografía de los Camélidos Sudamericanos. Est. Exp. Gan. Patacamaya. Bol. Exp.: N° 32, 35 p. Bolivia. (5)
- Cardozo, A.  
1978 Bibliografía de los Camélidos Sudamericanos "B". 53 p. policrom Artes Gráf., Bogotá, Colombia. (5)
- Cardozo, A.  
1981 Actividades del Programa nacional de la vicuña en Bolivia. Informe de Bolivia a la 2ª reunión de la Com. Tec. Adm. Conv. Multinac. para la Cons. de la Vicuña: 4 p. INFOL. La Paz, Bolivia. (5)
- Cardozo, A. y López, J.  
1981 Control de la población de vicuñas de Bolivia en 1980. Serie Estudios Especializados: EE 14, 10 p. INFOL, La Paz, Bolivia. (5)

- Cardozo, A.  
1985 **Legislación Internacional sobre camélidos sudamericanos, Volumen II.** Imprenta Papiro, La Paz, Bolivia. (1)
- Caughley, G.  
1978 **Analysis of Vertebrate Populations.** Wiley & Sons., New York, 234 pp. (6)
- Chapman, D.G.  
1973 **Spawner-recruit models and estimation of the level of maximum sustainable catch.** Rapp. P.V. Réunion. Cons. Int. Explor. Mer, 164: 325-332. (6)
- Convenio para la Conservación y Manejo de la Vicuña  
1984 **"Acta final Segunda Reunión Técnica del Convenio".** CONAF. Arica, Chile. (3)
- Eberhardt, L.L.  
1978 **"Appraising Variability in Population Studies".** The Journal of Wildlife Management. Vol. 42, N° 2. (3)
- Eltringham, S.K.  
1980 **"An Aerial Count of Vicuña in the Pampa Galeras National Reserve and Surrounding Regions.** Ayacucho, Perú. Final Report to the International Fund for Animal Welfare. Mimeograf. London. (3)
- Eltringham, S.K. y Jordan, W.J.  
1981 **The Vicuña of the Pampa Galeras National Reserve The Conservation Issue.** En: P.A. Jewel y S. Holt (editores), **Problems in Management of Locally Abundant Wild Animals.** Academic Press, New York, pp. 277-289. (6)
- Emlen, J.M.  
1984 **Population Biology,** Macmillan Publishing Company, New York. 547 pp. (4)
- Engelstad, H.  
1982 **Material textil.** En: **Materiales textiles de Garagay.** Revista del Museo Nacional, Tomo XLVI: 163-204, Lima. (1)
- Flores Ochoa, J.  
1977 **Pastores de Puna: uywamiching punarunakuna.** Instituto de Estudios Peruanos, Lima. (1)
- Franklin, W.L.  
1974 **The social behaviour of the vicuña.** En: **The behaviour of ungulates and its relation to management,** Geist V. et Walter I., Eds. IUCN Pub. New ser., Vol.: 477-487. (5)

- Franklin, W.L.  
1982 Biology, ecology and relationship to man of the South American Camelids. En: M.A. Maters y H.H. Genoways (editores), *Mammalian Biology in South America*. Spec. Publ. Ser. 6, Pumatuning Laboratory of Ecology. University of Pittsburgh, Pennsylvania, pp. 457-489. (6)
- Giles, R.H.  
1978 *Wildlife Management*. W.H. Freeman. San Francisco. (2)
- Glade, A.  
1982 Antecedentes ecológicos de la vicuña (*vicugna-vicugna*) para su manejo en el Parque Nacional Lauca, I Región, Chile: 112 p. Tesis de Médico Veterinario, Universidad de Chile. (5)
- Himmelblau, D.M.  
1972 *Applied Nonlinear Programming*. McGraw-Hill, New York, 498, 498 pp. (6)
- Hofmann, R. y Otte, K.C.  
1977 Utilización de la Vicuña en Perú: 48 p. Rep. Fed. Alemana. (5)
- Hofmann, R. y Otte, K.C.  
1977 El censo de la vicuña silvestre P.U.R.V.S. Pub. Téc. N° 1: 52 p. Ayacucho, Perú. (5)
- Hofmann, R. y Otte, K.C.  
1979 Algunas referencias principales sobre el manejo de la vicuña P.U.R.V.S.: 30 p. Nazca, Perú. (5)
- Hofmann, R. y Otte, K.C.  
1979 Entrega en custodia, modalidad alternativa experimental para el manejo de poblaciones de vicuñas silvestres. P.U.R.V.S.: 33 p. Nazca, Perú. (5)
- Hofmann, R. y Otte, K.C.  
1979 Captura y esquila de la vicuña silvestre. P.U.R.V.S.: 28 p. Nazca, Perú. (5)
- Hofmann, R. y Otte, K.C.  
1979 Observaciones y recomendaciones para el manejo de la vicuña en Pampa Galeras durante 1979. P.U.R.V.S.: 45 p. Nazca, Perú. (5)
- Hofmann, R. y Otte, K.C.  
1980 El censo de la vicuña silvestre en Pampa Galeras, una breve reseña. P.U.R.V.S.: 17. Nazca, Perú. (5)
- Hofmann, R., Otte, K.C., Ponce, C. y Ríos, M.  
"El manejo de la vicuña silvestre". Tomo II; Pub. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). (3)

- Hurtado de Mendoza, L.  
1980 Cazadores de las punas de Junín y Cerro de Pasco, Perú. Manuscrito en archivo, Departamento de Antropología, Smithsonian Institution, Washington, D.C. (1)
- Hurtado de Mendoza, L.  
1982 Patrones prehispánicos de uso de diversos tipos de piedra en la región del río Cunas, Huancayo. *Revista del Museo Nacional*.
- Jolly, G.M.  
1969 Sampling Methods for Serial Censuses of Wildlife Populations. *E. Afr. Agric. For* 5. 34: 46-49. (3)
- Jungius, H.  
1971 The vicuña in Bolivia: The status of an endangered species and recommendations for its conservation. *Z. Säugetierkunde*, 36: 129-146. (S)
- Jungius, H.  
1972 Bolivia and the Puna. *Ecol. Monogr.*, 27: 153-219. (5) (6)
- Lavallée, D., Julien, M. y Wheeler, J.  
1982 Telarmachay: Niveles precerámicos de ocupación. *Revista del Museo Nacional*, Tomo XLVI: 55-133, Lima. (1)
- Krebs, C.J.  
1985 Ecology Harper and Row, Publisher, New York, 800 pp. (4)
- Moen, A.N.  
1983 Wildlife Ecology, W.H. Freeman. San Francisco. (2)
- Niemeyer, H.  
1972 Las pinturas indígenas rupestres de la Sierra de Arica. Editorial Jerónimo de Vivar, San Felipe, Chile. (1)
- Norton - Griffiths, M.  
1978 "Counting Animals" Handbook N° 1 En: A series of handbooks on Techniques currently used in Africa Wildlife Ecology. Nairobi, Kenya. (3)
- Norton - Griffiths, M. y Torres, H.  
1980 Evaluation of ground and aerial census work on vicuña in Pampa Galeras, Perú. Informe al World Wildlife Fund y a la International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources. Gland, Suiza, 96 pp. (3) (6)
- Odum, E.P.  
1974 Relationship between structure and function in the Ecosystem. En: Reading in Conservation Ecology. George W. Cox. San Diego State. University. (2)

**Plan Nacional de la Utilización de la Vicuña 1965-2010.**

- 1978      **Proyecto Especial Utilización Racional de la Vicuña, Coordinación Nacional del Proyecto Vicuña, Ministerio de Agricultura y Alimentación, Lima, Perú. 64 pp. (6)**
- Peterman, R.M.**  
1977      **Graphical evaluation of environmental management options: examples from a forest-insect pest system. Ecol. Modelling, 3: 113-148. (6)**
- Prescott, W.**  
1847      **History of the Conquest of Perú. (Edición reciente). The Modern Library, New York. (1)**
- Powel, M.I.D.**  
1964      **An efficient method for finding the minimum of a function of several variable without calculating derivatives. Comput, J., 7: 155-161. (6)**
- Rabinovich, J., Cajal, J., Hernández, M., Puig, S., Amaya, J. y Ojeda, R.**  
1984      **Un modelo de simulación en computadores digitales para el manejo de vicuñas y guanacos en sudamérica. Subsecretaría de Ciencias y Tecnología, Buenos Aires, Argentina, 210 pp. (6)**
- Rabinovich, J.**  
"Ecología de Poblaciones Animales" Serie de Biología. Monografía N° 21 Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Secretaría Regional de la O.E.A. (6)
- Raedeke, K.**  
1976      **El guanaco de Magallanes, Chile. Distribución y Ecología. Corporación Nacional Forestal de Chile, 182 pp. (6)**
- Rick, J.**  
1976      **Prehistoric hunters of the High Andes. Academic Press, New York. (1)**
- Ricklefs, R.**  
1979      **Ecology. Chiron Press. New York. 966 pp. (4)**
- Rodríguez, R., Torres, H.**  
1981      **"Metodología para Determinar la Población de Vicuñas en el Parque Nacional Lauca". CONAF I Región, Chile. (3) (5)**
- Rodríguez, R. Núñez, E., Glade, A. y Palma, R.**  
1983      **"Programa de Entrenamiento en el Manejo de la vicuña". Publicación Técnica N° 5 CONAF, Chile. (3)**
- Rodríguez, R., Núñez, E., Glade, A.**  
1982      **La situación actual de la vicuña en Chile. Documento de trabajo N° 2: 18 p. CONAF Arica, Chile. (5)**

- Rodríguez, R., Glade, A. y Núñez, E.  
1983 Bases para el manejo de la vicuña en la Provincia de Parinacota, I Región, Chile, 43 pp. (3) (5) (6)
- Roughgarden, J.  
1979 Theory of Population Genetics and Evolutionary Ecology: An Introduction. MacMillan Publishing Company. New York, 634 pp. (4)
- Sánchez, E., Hoces, D.  
1983 "Plan de Manejo Vicuña 1983. Ministerio de Agricultura y Alimentación. Proyecto Especial Utilización Racional de la Vicuña. Lima, Perú. (3)
- Soule, M.  
1986 Conservation Biology. The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer Associates. Massachusetts. (2)
- Tarak, A.  
1978 Proyecto de reserva de vicuñas Parque Nacional Carahuasi (Provincia de Jujuy). Dirección de Parques Nacionales, Buenos Aires, Argentina, pp. 196-216. (6)
- Tello, J. Mejía Xesspe, T.  
1979 Paracas II parte: Cavernas y Necrópolis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. (1)
- Thornton, K.W., Lessem, A.S. Fordk, D.E. y Stirgus, C.A.  
1979 Improving ecological simulation through sensitivity analysis. Simulation, 32 (5): 155-166. (6)
- Torres, H., Palma, R., Hernández, L., Rottman, Y., Mann, G.  
1978 Plan para la Conservación y Aprovechamiento Racional de la Vicuña. Corporación Nacional Forestal. Arica, Chile. 66 pp. (2) (5)
- Troncoso, R.  
1982 Evaluación de la capacidad de carga animal del Parque Nacional Lauca. Informe de Consultoría: 147 p. CONAF. Santiago, Chile. (5)
- Wilson, E.D.  
1975 Sociobiology, the new synthesis: pp. 480-491. Belknap Press of Harvard Univ. Cambridge, Mass. U.S.A. (5)
- Wing, E.S.  
1978 Animal domestication in the Andes. En: Advances in Andean Archaeology, D.L. Browman, ed.; pp. 167-188, Mouton Publisher, La Haya y París. (1)







