

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE PRADERAS ALTIPLÁNICAS DESTINADAS AL MANEJO DE LA VICUÑA (*VICUGNA VICUGNA MOL.*)

METHODOLOGICAL APPROACH FOR ESTIMATING GRAZING CAPACITY OF HIGHLAND RANGES DESTINED TO VICUÑA (*VICUGNA VICUGNA MOL.*) MANAGEMENT

GIORGIO CASTELLARO G.

Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Agronómicas
Departamento de Producción Animal
Casilla 1004, Santiago, Chile

RESUMEN

Se presenta una aproximación metodológica para estimar capacidad de sustentación de praderas, la cual fue aplicada en dos módulos de manejo de vicuñas en el altiplano chileno, ubicadas sobre los 4.400 m.s.n.m. en la zona denominada "Puna seca". La metodología se basa en la determinación de sitios de praderas mediante la interpretación de imágenes satelitales, cartas topográficas y de vegetación; evaluación de la condición de las praderas a través del análisis de su composición botánica (transecto al paso); estimación de la producción de MS mediante la aplicación de un modelo de simulación simple basado en variables edafoclimáticas de fácil obtención y valoración energética de las principales especies vegetales presentes en las praderas, utilizando información de análisis bromatológicos. Los requerimientos de vicuñas se expresaron en términos de energía metabolizable ($3.649,6 \text{ MJ año}^{-1}$), los cuales fueron contrastados con los aportes energéticos de los diferentes tipos de pastizales. La producción promedio anual de materia seca (MS) de las praderas de secanos varió entre los 657 y $1.054 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con una capacidad de carga entre los 0,02 a 0,13 unidades vicuña (UV) $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Las praderas hidromórficas ("bofedales") fueron las más productivas, en las cuales se estimó una producción promedio anual de MS que varió entre los 1.706 y 2.292 kg ha^{-1} , con capacidad de carga entre los 1,21 y $1,64 \text{ UV ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Las diferencias observadas son atribuidas a variaciones pluviométricas, vegetacionales y de condición de las praderas. Se destaca la importancia de los bofedales en el manejo de las vicuñas y se propone validar la metodología mediante experimentación específica utilizando vicuñas.

Palabras clave: camélidos sudamericanos silvestres, capacidad de carga, praderas altiplánicas.

SUMMARY

A methodological approach is presented to estimate range's grazing capacity, which was applied in two vicuña's management modules in the Chilean highland plateau, located on 4,400 m.o.s.l. in the denominated "dry Puna" zone. The methodology is based on the determination of range's sites by means of the interpretation of satellite images, topographic and vegetation charts; evaluation of the range condition by the analysis of its botanical composition (step to step transect); estimation of the production of MS by the application of a simple simulation model based on edaphoclimatic variables of easy obtaining and range's energetic evaluation, using information of bromatological analyses of main range's species. The requirements of vicuñas were expressed in terms of metabolizable energy ($3,649.6 \text{ MJ year}^{-1}$), which will be contrasted with the energetic contributions of the different range types. The average annual dry matter production (MS) of dryland ranges varied between 657 and $1,054 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, with a grazing capacity between

the 0.02 to 0.13 vicuna units (UV) ha⁻¹ year⁻¹. The wetland ranges ("bofedales") were the more productive ranges, in which average annual dry matter production varied between the 1,706 and 2,292 kg ha⁻¹, with a grazing capacity between the 1.21 and 1.64 UV ha⁻¹ year⁻¹. The observed differences are attributed to pluviometric, vegetational and range condition variations. The importance of "bofedales" in the management of vicunas is to be noted and was proposed to validate the methodology by means of specific experimentation using vicunas.

Key words: grazing capacity, highland range, wild southamerican camelids.

INTRODUCCIÓN

La vicuña (*Vicugna vicugna* Mol.) es una especie de camélido sudamericano (CSA) silvestre de gran importancia en los ecosistemas altiplánicos de Chile, Perú, Bolivia y Argentina, fundamentalmente por su gran capacidad de adaptación al riguroso medioambiente altiplánico, su valor cultural para los pueblos originarios y por su potencial económico, al producir la fibra de origen animal más fina (Carpio, 1991). En Chile, la especie estuvo en peligro de extinción, pero debido a las acciones de conservación realizadas por organismos del Estado chileno desde inicios de la década de los 70, las poblaciones de esta especie han experimentado una paulatina recuperación, que incluso permite que en la actualidad sea posible pensar en un uso sustentable del recurso mediante su crianza en condiciones silvestre y/o de semicautiverio (Galaz y Urrutia, 2004).

La base de sustentación de la alimentación de las vicuñas en dichas condiciones lo constituye las praderas, las que en el altiplano están representadas fundamentalmente por pastizales de secano ("pajonales" y "tolares") y por praderas azonales hidromórficas ("bofedales") (Castellaro, 2005; Ahumada y Faúndez, 2002; Castellaro *et al.*, 1998; Troncoso, 1983), por lo cual resulta relevante su adecuada valoración en términos cualitativos y cuantitativos. Relacionado con estos aspectos, la determinación de una correcta carga animal es la más importante de todas las decisiones que involucran el manejo del pastoreo, desde el punto de vista de la vegetación, del ganado doméstico, de la fauna silvestre y de los retornos económicos (Holechek *et al.*, 2001).

Desafortunadamente la información relacionada con la productividad y calidad nutritiva de los pastizales altiplánicos, así como lo referente a los requerimientos nutricionales de la vicuña es escasa, lo que dificulta la determinación de la capacidad de sustentación. Por ello, en el presente trabajo se presenta una aproximación metodológica para estimar la productividad de MS anual de diferentes tipos de pastizales de un sector del altiplano, su oferta energética y a partir de dicha información, estimar su capacidad de sustentación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área del estudio. El presente trabajo se realizó en dos módulos de manejo de vicuñas ubicados en el altiplano chileno de la Decimoquinta Región de Arica y Parinacota, en las localidades de Caquena (Comuna de Putre, 18°03' Lat. S; 69°13' Long. O; 4.425 m.s.n.m. y Cosapilla (Comuna de General Lagos, 17°47' Lat. S; 69°26' Long. O; 4.400 m.s.n.m.), los cuales ocupan una superficie de 62,38 y 24,21 ha, respectivamente. El clima de esta área es denominado "Puna seca", lo que según la clasificación climática de Köppen (1948) corresponde a la tundra normal de altura (ETH), caracterizándose por montos pluviométricos anuales entre 370-400 mm año⁻¹ concentrados durante el periodo estival (diciembre a marzo), bajas temperaturas (2,4-2,5 °C de temperatura media anual) e intensa radiación solar (CORFO, 1982; Gastó *et al.*, 1993). En la Figura 1 se presentan los hidrogramas de las dos localidades donde se realizaron las evaluaciones.

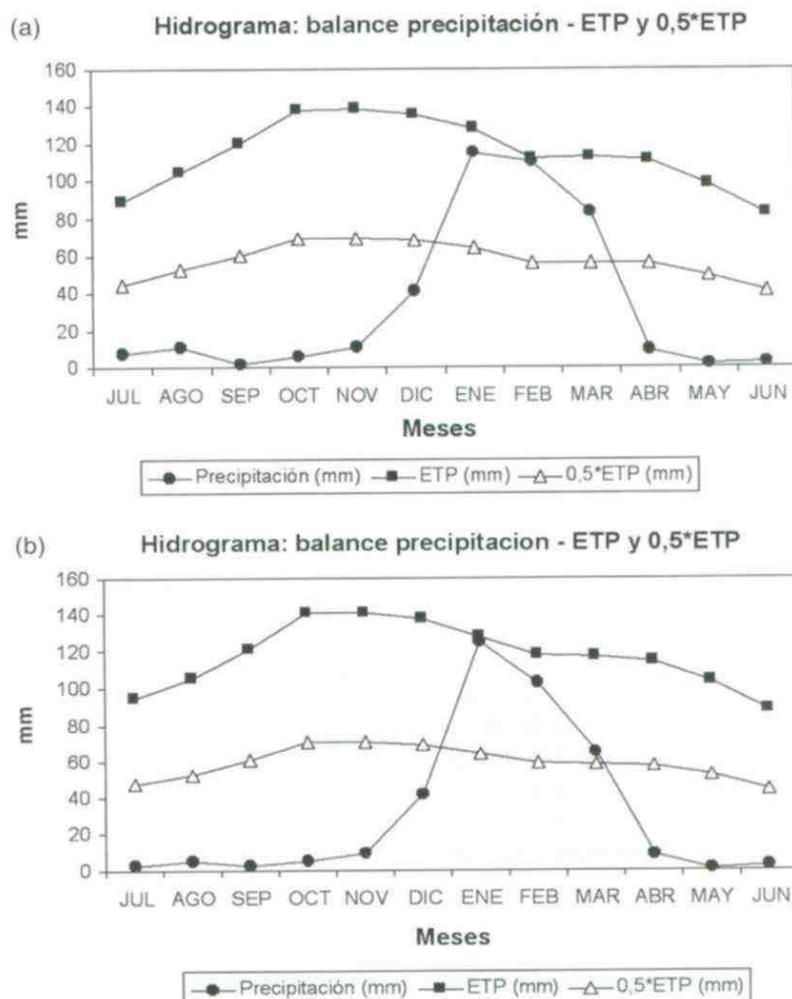


Figura 1. Hidrograma de las localidades de (a) Caquena y (b) Cosapilla (Fuente: Elaborado sobre la base de datos meteorológicos proporcionados por la Dirección General de Aguas, Región de Arica y Parinacota, 2003).

Según CORFO (1982), los suelos ocupados por los ecosistemas de “pajonales” y “tolares” se han desarrollado en pendientes fuertes y se caracterizan por ser delgados a medianamente profundos, frecuentemente pedregosos, con texturas medias a gruesas, bajos contenidos de materia orgánica (0,5 - 2%) y pH que varía entre 6,8 y 8,8, siendo clasificados como Inceptisoles, Cryochrepts (USDA, 2006). En las praderas hídricas (“bofedales”) predominan suelos orgánicos hidromórficos (Histosoles, Cryofibríst o Borofibríst) (USDA, 2006). El perfil está

constituido por una masa fibrosa de plantas herbáceas vivas y muertas, estas últimas en diferentes grados de descomposición (Troncoso, 1983). La tasa de descomposición de la materia orgánica es baja, debido al régimen de bajas temperaturas y congelamiento del perfil durante el periodo invernal. No obstante, los procesos de descomposición aumentan con la profundidad, con una importante producción de SO₂. Cuando las condiciones de reducción son permanentes, se desarrolla en el subsuelo un horizonte “gley” con colores característicos. La profun-

dididad de este perfil fibroso es variable, desde algunos decímetros, hasta 4 ó 5 m de profundidad. Esta turba está asociada a material mineral, generalmente ceniza volcánica. Los bofedales están normalmente saturados durante la mayor parte del año y son alimentados por vertientes que aportan sales solubles provenientes de las cenizas volcánicas o de la intemperización de rocas volcánicas. Estas vertientes también permiten la oxigenación del perfil. En los horizontes orgánicos, el pH varía entre 5,6 y 8,6, siendo más amplio el rango de variación para los horizontes minerales (pH entre 4,1 y 9,2). En general, estos suelos presentan alta conductividad eléctrica y baja capacidad de intercambio catiónico, lo que indicaría una alta presencia de sales solubles y baja fertilidad potencial, respectivamente (CORFO, 1982).

Identificación de los diferentes sitios de pastizales. Los diferentes tipos de pastizales del sector fueron identificados mediante la interpretación de imágenes satelitales SPOT, diferenciando distintos colores y texturas, a partir de las tonalidades infrarrojas que representan sitios con diferentes tipos de vegetación. Lo anterior se complementó con información de comunidades vegetales existentes en el área (Troncoso, 1982; Gajardo, 1999). Una vez definidas las unidades estas se superpusieron sobre cartas topográficas IGM (escala 1 : 50.000). La delimitación así efectuada fue verificada en el terreno y finalmente se definieron sobre la base de las características geomorfológicas (grados de pendiente y exposición), edáficas (textura, profundidad de arraigamiento e hidromorfismo) y de acuerdo a las asociaciones vegetales dominantes (Gastó *et al.*, 1993).

Determinación de la condición de los pastizales. En cada sitio se determinaron diferentes grados de condición analizando la composición botánica mediante el método del "transecto de pasos" (FAO, 1996). Cada cierto número de pasos se hizo un muestreo cubierta vegetal y edáfica con una aguja en cuyo extremo presenta un anillo horizontal de 3/4 de pulgada. La lectura de la vegeta-

ción requiere solo de la decisión, si el interior del anillo está ocupado por una parte de la corona, en el caso de los pastos y de las hierbas, o bien, en el caso de arbustos y árboles, de la proyección de la corona aérea perenne. Este método requiere de mediciones de los órganos permanentes de la pradera, por lo cual es independiente si este ha sido utilizado o no por el ganado. Cada transecto constó de 100 mediciones, las cuales se realizaron cada 2 a 5 pasos. El número de transectos a evaluar dependió de la superficie y de la variabilidad de la unidad bajo muestreo. La composición botánica se determinó considerando la contribución específica de cada especie vegetal (CE_i , %), determinando el número de anillos ocupados por cada una de las especies vegetales (NTA_i) con relación al total de anillos ocupados por las plantas de la pradera en cada transecto (Bonham, 1989). Para lo anterior se utilizó la siguiente fórmula:

$$CE_i = \frac{NTA_i}{\sum_{i=1}^n NTA_i} \cdot 100$$

A su vez, la cobertura de cada transecto (COB , %) fue determinada tomando en cuenta el número total de anillos ocupados por plantas con relación al total de anillos evaluados en el transecto. Los resultados de cada transecto se sumaron y promediaron, obteniéndose así la cobertura y composición botánica del elemento evaluado. Las especies vegetales determinadas en las praderas fueron clasificadas en "deseables", "menos deseables" e "indeseables", según lo propuesto en el método indicado por Huss (FAO, 1996), suponiendo un 100, 30 y 0% a los porcentajes máximos permisibles para las especies "deseables", "menos deseables" e "indeseables", respectivamente. Las plantas "deseables" son aquellas especies generalmente perennes, muy palatables y se encuentran en campos bien manejados o zonas protegidas del pastoreo. Son las primeras en ser pastoreadas y tienden a desaparecer rápidamente cuando hay sobrepastoreo. Las plantas "menos dese-

bles" son especies de importancia secundaria en campos de buena condición, aumentan con el descanso o rezago de la pradera y tienen una mayor habilidad para resistir los efectos del sobrepastoreo por lo cual reemplazan a las especies deseables cuando la condición del campo desmejora. Con el sobrepastoreo excesivo también tienden a desaparecer. Las plantas clasificadas como "inde-seables" no son pastoreadas, aun en condiciones de pastoreo excesivo, tienden a dominar en las praderas sobrepastoreadas y son generalmente plantas invasoras, tóxicas, duras y espinosas (Flores, 1992; FAO, 1996). La clasificación antes mencionada se efectuó basándose en los antecedentes proporcionados por Flores (1992) y Flórez (1992). La condición de cada sitio fue expresada como porcentaje, siendo posteriormente clasificada en clases, según lo propuesto por Holechek *et al.*, (2001), las que se indican en el Cuadro 1.

Estimación de la capacidad de carga. En cada sitio de pradera se debe estimar la producción de materia seca (MS) utilizable y su concentración de energía metabolizable, para posteriormente comparar dicha oferta con los requerimientos de las vicuñas. Conociendo lo anterior, la capacidad de carga potencial de las praderas (CCP, unidades vicuña ha⁻¹ año⁻¹) puede ser estimada utilizando la siguiente ecuación:

$$CCP = \left(\frac{PMST \cdot PSP \cdot MD \cdot FCDiet \cdot FUA}{REQEMUV} \right) \cdot (1 - Fpend) \cdot (1 - FDagua)$$

En la fórmula precedente, *PMST* es la producción anual promedio de fitomasa (kg de MS ha⁻¹) estimada para el sitio de pradera; *PSP* es el porcentaje de especies palatables (suma de aquellas que son consideradas como deseables y menos deseables); *MD* es la concentración de energía metabolizable promedio de las especies palatables (MJ kg⁻¹ de MS); *FCDiet* es un factor de corrección de la producción de MS que toma en cuenta el aporte que efectúa el tipo de pradera a la dieta global del herbívoro; *FUA* es el factor de uso apropiado del pastizal; *REQEMUV* representa el requerimiento anual de energía metabolizable de la unidad vicuña (UV); y los factores *Fpend* y *FDagua* representan las limitaciones impuestas por la pendiente del terreno de pastoreo y la distancia a las fuentes de agua de bebida, respectivamente.

Para estimar *PMST* se utilizó un modelo de simulación simple que procesa promedios mensuales de precipitación (mm mes⁻¹), temperatura media (°C día⁻¹) y radiación solar (cal cm⁻² día⁻¹). El modelo supone una producción potencial diaria de MS (*Ppot*, kg ha⁻¹ día⁻¹) de 82 kg ha⁻¹ día⁻¹, para el caso de praderas de bofedales. En los pastizales de secano, el valor de *Ppot* se modifica de acuerdo al porcentaje de especies arbustivas (*psparb*, %) presente en el pastizal y de la eficiencia relativa de transformación de la radiación solar interceptada en producir MS del estrato arbustivo

Cuadro 1
Clasificación de la condición de las praderas¹

Clase de condición	Porcentaje de condición
Excelente	76 - 100
Buena	51 - 75
Regular	26 - 50
Pobre	0 - 25

¹ Fuente: Holechek *et al.* (2001).

(EF_{sparb}) y herbáceo (EF_{spherb}). Estos últimos valores fueron calculados a partir de los datos proporcionados por Jongschaap (1999) para praderas del altiplano de Perú y Bolivia. Las hipótesis anteriores se expresan mediante la siguiente ecuación:

$Ppot = 82 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$; para praderas de bofedales.

$Ppot = 82 \cdot (EF_{spherb} \cdot (1 - 0,01 \cdot psparb) + EF_{sparb} \cdot 0,01 \cdot psparb) \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$; para praderas de secano.

La producción potencial calculada con la ecuación anterior se modifica de acuerdo con multiplicadores (valores entre 0 y 1) que reflejan el grado de cobertura del área foliar de la cubierta vegetal (Faf), la temperatura ($Ftemp$) y la restricción hídrica (Fhd), siendo esta última medida como el cuociente entre la evapotranspiración real respecto de la potencial. Estas funciones se basaron en las utilizadas por Parton *et al.* (1993) para la simulación los efectos ambientales antes mencionados sobre el crecimiento de praderas perennes (Figura 2a; 2b y 2c).

Posteriormente, el valor promedio diario de productividad ajustado por los multiplicadores antes mencionados, se multiplica por el número de días del mes, estimando de este modo la productividad media mensual. Sumando los valores mensuales se obtiene una estimación de productividad media anual, expresada en $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

En la estimación del porcentaje de especies palatables (PSP) se consideró la sumatoria de las especies que son clasificadas como deseables y menos deseables, utilizando para ello los datos promedio obtenidos en los análisis de composición botánica de cada sitio.

La MD fue estimada mediante un promedio ponderado de acuerdo con la composición botánica de la pradera y la concentración energética media de las especies palatables, la que fue estimada a partir de análisis bromatológicos proporcionada por diversos autores (Troncoso, 1982; Alzérreca *et al.*, 2001). En los cuadros 2 y 3 se presentan algunos de estos valores para las especies de mayor frecuencia presente en estos pastizales.

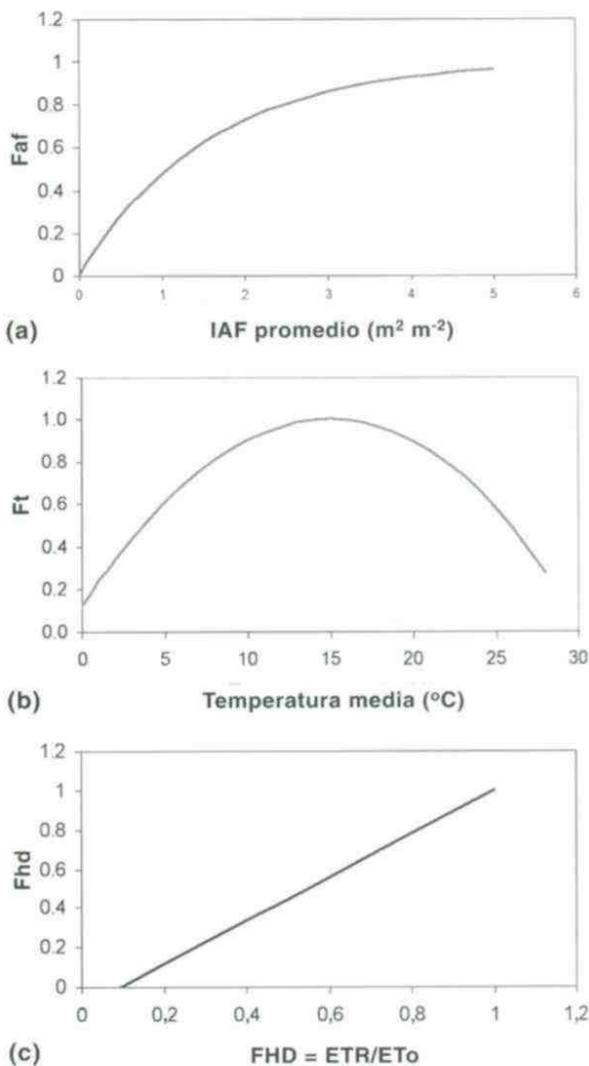


Figura 2. Funciones que modifican el crecimiento potencial de acuerdo con (a) el grado de cobertura del área foliar; (b) la temperatura; y (c) la restricción hídrica.

El coeficiente $FCDiet$ es un factor de corrección de la producción de MS que toma en cuenta el aporte que efectúa el tipo de pradera a la dieta global de la vicuña, el cual es un indicador de la preferencia de este ungulado por el tipo de pradera. Se asignaron valores de 0,69 para bofedales, 0,24 para pajonales y 0,07 para tolales, basándose en mediciones de composición botánica de dietas efectuadas en camélidos sudamericanos domésticos que pastorearon praderas altiplánicas (Castellaro *et al.*,

2004), en los cuales se supone un hábito dietario similar al de las vicuñas.

El requerimiento anual de energía metabolizable de la unidad vicuña (UV) fue estimado en 3.649,6 MJ año⁻¹, tomando en consideración el peso metabólico y la duración de los diferentes estados fisiológicos por los cuales atraviesa la hembra vicuña durante un ciclo productivo de un año (Castellaro, 2005). Un resumen de los valores obtenidos de requerimientos de energía metabolizable y su equivalente en consumo de materia seca, se presenta en el Cuadro 4.

El coeficiente *FUA* representa el factor de uso apropiado del pastizal y fue asignado a cada tipo de pradera siguiendo la aproximación propuesta por Ongaro (1995), el cual propone diferentes factores de uso de la pradera de acuerdo con la condición que esta presente. Los valores de *FUA* utilizados fueron de 0,5 para praderas en excelente y buena condición; 0,3 para praderas en regular condición; 0,1 para praderas en pobre condición; y 0,0 en praderas en pésima condición que requieren ser excluidas del uso.

Cuadro 2

Porcentaje de proteína bruta, pared celular y concentración de energía metabolizable de la materia seca de las principales especies de los bofedales del altiplano chileno

Especie	Proteína bruta (%)	Pared Celular (%)	Concentración de energía metabolizable (MD) ¹ (MJ kg ⁻¹)
<i>Agrostis tolucensis</i> H. B. K.	9,2	63,2	5,6
<i>Carex incurva</i> Lightf.	8,8	-	8,9
<i>Deyeuxia crisantha</i> Presl.	9,2	63,2	5,6
<i>Disticha muscoides</i> Nees et Meyen	10,2	57,5	7,8
<i>Eleocharis tucumanensis</i>	12,2	-	8,6
<i>Elodea potamogeton</i> (Bert.) Espinosa	8,1	38,1	9,9
<i>Hypochoeris taraxocoides</i>	12,5	-	10,2
<i>Lachemilla diplophylla</i> (Diels.) Rothm.	21,0	-	8,4
<i>Lilaeopsis andina</i> A. W. Hill.	12,4	34,8	8,7
<i>Myriophyllum elatinoides</i> Gaudich.	11,4	38,1	6,7
<i>Plantago</i> sp.	-	-	7,5
<i>Scirpus arandicola</i>	11,0	-	9,1
<i>Werneria pygmaea</i> Gillies.	15,0	56,2	8,0
<i>Arenaria rivularis</i> Phil.	-	-	7,5
<i>Cotula mexicana</i> (DC) Cabrera	-	-	7,5
<i>Deyeuxia curvula</i> Weed.	7,4	69,2	4,0
<i>Festuca nardifolia</i> Griseb.	5,6	60,1	5,4
<i>Oxychloe andina</i> Phil.	8,2	60,7	5,4

Fuente: Elaborado con antecedentes proporcionados por Troncoso (1982) y Alzérreca *et al.* (2001).

¹ MD = 0,17·DIGIV - 2, donde DIGIV es la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (SCA, 1990).

Cuadro 3

Porcentaje de digestibilidad *in vitro*, proteína cruda, pared celular y concentración de energía metabolizable (MD) de la materia seca de las principales especies de las praderas de secano del altiplano chileno

Especie	Fecha de muestreo	Tejido analizado	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la MS (%)	Proteína Bruta (%)	Pared Celular (%)	Concentración de energiametabolizable (MD) ¹ (MJ kg ⁻¹)
<i>Deyeuxia breviaristata</i> Wedd.	09-04-1981	Planta madura	51,7	10,5	66,6	6,8
	30-08-1981	Planta seca	41,0	4,6	59,6	5,0
<i>Festuca orthophylla</i> Pilgert	18-11-1980	Hojas verdes	41,0	2,2	64,7	5,0
	18-11-1980	Hojas secas amarillas	36,3	0,9	65,1	4,2
	18-11-1980	Hojas secas grises	43,4	1,4	57,8	5,4
	05-04-1981	Hojas y panoja verde	38,6	3,4	76,8	4,6
	28-08-1981	Hojas y panoja madura	30,9	2,7	76,7	3,3
<i>Stipa leptostachia</i> Griseb.	28-08-1981	Planta madura	30,0	3,7	78,9	3,1
<i>Baccharis tola</i> Phil.	19-11-1980	Hojas y brotes	44,5	6,4	21,8	5,6
	04-04-1981	Hojas y brotes	33,1	6,9	28,1	3,6
<i>Parastrephia lucida</i> (Meyen) Cabr.	15-11-1980	Hojas y flores	55,0	5,6	20,7	7,4
	05-04-1981	Hojas y flores	50,3	8,1	22,7	6,6
	28-08-1981	Hojas y flores	54,8	6,9	22,8	7,3
<i>P. lepidophylla</i> (Wedd.) Cabr.	19-11-1980	Hojas y flores	54,8	7,2	19,1	7,3
<i>P. quadrangularis</i> (Meyen) Cabr.	05-04-1981	Hojas y flores	53,4	6,3	34,4	7,1
	28-08-1981	Hojas y flores	51,9	5,3	23,0	6,8
<i>Senecio graveolens</i> Wedd.	19-11-1980	Hojas y flores	69,0	10,9	18,7	9,7
	28-08-1981	Hojas y flores	54,1	9,1	16,1	7,2
<i>Fabiana</i> sp.	04-04-1981	Hojas y flores	48,0	6,0	27,3	6,2
<i>Tasara rahmeri</i>	19-03-1982	Hojas y flores	58,6	13,2	32,5	8,0
<i>Ephedra multiflora</i> Phil. Ex Stapf	18-11-1980	Tallos	29,0	5,5	36,5	2,9
<i>Adesmia</i> sp.	11-11-1980	Hojas y flores	64,7	13,9	26,9	9,0

Fuente: Elaborado con antecedentes proporcionados por Troncoso (1982) y Alzérreca *et al.* (2001).

¹ MD = 0,17-DIGIV - 2, donde DIGIV es la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (SCA, 1990).

Cuadro 4

Requerimientos de Energía Metabolizable (EM, MJ día⁻¹) y materia seca (MS) de una hembra vicuña adulta en sus diferentes etapas fisiológicas

Etapas fisiológicas	Requerimiento de EM(MJ)	Requerimiento de MS del pastizal (kg año ⁻¹) ²
Mantenión (365 días)	2.519,6	335,9
Gestación (122 días) ²	505,3	67,4
Lactación (274 días)	624,7	83,3
Total anual	3.649,6	486,6

Fuente: Castellaro, 2005.

¹ Considera solamente el último tercio de la gestación.

² Supone una concentración energética de la dieta de 7,5 MJ kg de MS (equivalente a una digestibilidad del orden de 52,7% (Castellaro *et al.*, 1998).

Finalmente, la cifra así determinada puede ser corregida considerando la restricción de la pendiente del terreno de pastoreo (*Fpend*) y la distancia a las fuentes de agua de bebida (*FDagua*). Al respecto, y para el caso de pequeños rumiantes, los cuales tienen una mayor agilidad y un mayor instinto para recorrer terrenos en pendientes, Holechek (1988) señala que en pendientes por sobre 45% serían limitativas para estos ungulados, mientras que con pendiente inferiores a dicho valor, no sería necesario efectuar ajustes. Según los estudios citados por Vilá (1999), las vicuñas necesitarían beber agua con frecuencia, normalmente todos los días, indicando también que los cuerpos de agua de bebida son un factor determinante en su distribución, y frecuentemente estos animales se distribuyen en función de una distancia de no más allá de 1,6 km de las fuentes de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el módulo de manejo de la localidad de Caquena, se diferenciaron cuatro tipos de praderas (Pajonal de *Festuca orthophylla-De-*

yeuxia curvula; Bofedal de *Distichia muscoides-Oxychloe andina-Eleocharis tucumanensis*; Bofedal de *O. andina-F. nardifolia-Carex incurva* y Bofedal de *D. curvula-F. nardifolia-Werneria pygmaea*), las que presentaron condiciones variables en los rangos de regular a excelente (Cuadro 5). La producción de MS del pajonal se estimó en 860 kg ha⁻¹ año⁻¹, mientras que la de los bofedales varió entre 2.150 y 2.292 kg ha⁻¹ año⁻¹. La distribución de la producción de MS anual se presenta en la Figura 3.

A su vez, en el módulo de la localidad de Cosapilla, se diferenciaron cinco tipos de praderas (Pajonal de *F. orthophylla-D. curvula-Pycnophyllum bryoides*; Tolar de *Parastrephia lepidophylla-Baccharis incarum*; Bofedal de *D. muscoides-C. incurva-E. tucumanensis*; Bofedal de *O. andina-C. incurva-D. muscoides* y Bofedal de *Plantago barbata-F. nardifolia-C. incurva*), cuya condición varió entre los rangos de regular a excelente (Cuadro 6). En este sector la producción de MS de las praderas de secano varió entre 657 y 1.054 kg ha⁻¹ año⁻¹, mientras que las de los bofedales observó un rango entre los 1.706 y 2.290 kg ha⁻¹ año⁻¹. La distribución de la producción de MS anual, en esta localidad, se presenta en la Figura 4.

Cuadro 5
Capacidad de carga de las praderas del módulo de vicuñas de la localidad de Caquena, Comuna de Putre, Región de Arica y Parinacota, Chile

Tipo de pradera	Superficie (ha)	Cobertura vegetal (%)	Condición	Producción de MS (kg ha ⁻¹)	Porcentaje especies palatables	MD (MJ kg ⁻¹)	FCDiet	FUA	Aporte neto de EM (MJ ha ⁻¹) (UV ^o ha ⁻¹ año ⁻¹)	CCP ¹	Total UV	Porcentaje de UV
Pajonal de <i>F. orthophylla</i> - <i>D. curvula</i>	23,24	40,78	Regular	860,0	100,00	4,7	0,24	0,3	291,0	0,08	1,85	3,61
Bofedal de <i>D. mustoides</i> - <i>O. andina</i> - <i>E. tucumanensis</i>	3,70	91,50	Excelente	2.292,0	100,00	7,2	0,69	0,5	5.693,3	1,56	5,77	11,26
Bofedal de <i>O. andina</i> - <i>F. nardifolia</i> - <i>C. incurva</i>	22,19	84,71	Buena	2.150,0	99,59	6,1	0,69	0,5	4.506,1	1,23	27,39	53,43
Bofedal de <i>D. curvula</i> - <i>F. nardifolia</i> - <i>W. pygmaea</i>	13,10	86,27	Buena	2.195,0	99,60	6,0	0,69	0,5	4.525,5	1,24	16,25	31,69
Terrenos sin vegetación	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	62,38										51,27	100,00

¹ Dada la topografía del terreno y debido a que los módulos cuentan con agua de bebida, no se efectuaron ajustes por pendiente ni por distancia al agua.

Cuadro 6
Capacidad de carga de las praderas del módulo de vicuñas de la localidad de Cosapilla, Comuna de General Lagos, Región de Arica y Parinacota, Chile

Tipo de pradera	Superficie (ha)	Cobertura vegetal (%)	Condición	Producción de MS (kg ha ⁻¹)	Porcentaje especies palatables	MD (MJ kg ⁻¹)	FCDiet	FUA	Aporte neto de EM (MJ ha ⁻¹) (UV° ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	CCP ¹	Total UV	Porcentaje de UV
Pajonal <i>F. orthophylla</i> - <i>D. curvula</i> - <i>P. bryoides</i>	1,37	48,48	Buena	1.054,0	71,90	5,4	0,24	0,5	491,1	0,13	0,18	0,81
Tolar de <i>P. lepidophylla</i> - <i>B. Incarum</i>	7,68	32,22	Regular	657,0	62,07	7,0	0,07	0,3	59,9	0,02	0,13	0,54
Bofedal de <i>D. muscoides</i> - <i>C. incurva</i> - <i>E. tucumanensis</i>	2,59	97,50	Excelente	2.290,0	93,81	8,1	0,69	0,5	6.003,3	1,64	4,26	18,62
Bofedal de <i>O. andina</i> - <i>C. incurva</i> - <i>D. muscoides</i>	11,10	93,93	Excelente	2.290,0	98,45	7,3	0,69	0,5	5.678,0	1,56	17,27	75,48
Bofedal de <i>P. barbata</i> - <i>F. nardifolia</i> - <i>C. incurva</i>	0,86	71,00	Excelente	1.706,0	100,00	7,5	0,69	0,5	4.414,3	1,21	1,04	4,55
Terrenos sin vegetación	0,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	24,21	100,00									22,88	100,00

¹ Dada la topografía del terreno y debido a que los módulos cuentan con agua de bebida, no se efectuaron ajustes por pendiente ni por distancia al agua.

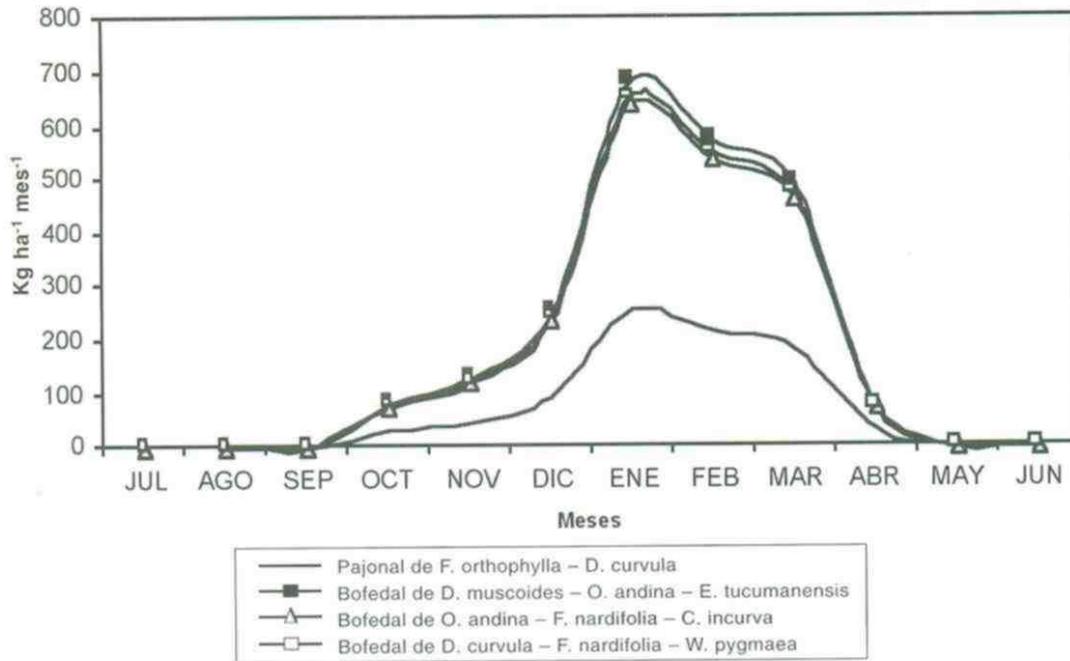


Figura 3. Producción mensual de MS de los diferentes tipos de praderas presentes en el módulo de manejo de la localidad de Caquena. Comuna de Putre, Región de Arica y Parinacota, Chile.

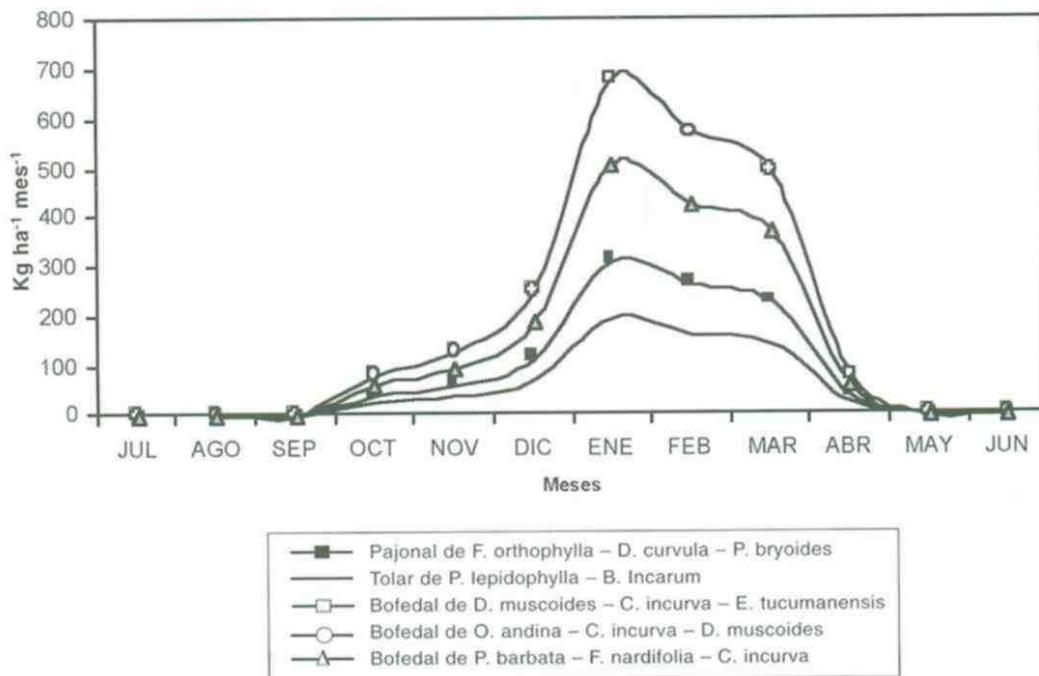


Figura 4. Producción mensual de MS de los diferentes tipos de praderas presentes en el módulo de manejo de la localidad de Cosapilla, Comuna de General Lagos, Región de Arica y Parinacota, Chile.

En las figuras 3 y 4 puede apreciarse la marcada estacionalidad del crecimiento de los pastizales altiplánicos, lo cual se concentra en los meses de diciembre a marzo, lo que coincide con la época lluviosa y de temperaturas más favorables. En este periodo es de esperar que los requerimientos de las vicuñas sean satisfechos en una alta proporción por los aportes de las praderas, no así en la época de seca de fines de otoño a mediados de primavera, donde es de esperar un déficit de forraje tanto en cantidad como en calidad nutricional, siendo por lo tanto necesaria la suplementación del ganado. En las vicuñas especialmente se destacan los periodos del inicio del último tercio de la gestación y la lactancia media y tardía, donde además de deficiencias en energía, puede resultar limitativa la proteína y ciertos macrominerales, como calcio y fósforo. Se estima que durante estos periodos los requerimientos de energía metabolizable aumentan entre 60 a 70% respecto de los de mantención, y las concentraciones de proteína cruda del forraje debieran ser del orden del 13%. Especial referencia debe hacerse, además, con los requerimientos de vicuñas en crecimiento (juveniles), donde son necesarias concentraciones de energía metabolizable y proteína cruda de la dieta, estimadas entre 10 - 11 MJ kg⁻¹ y 8 - 9%, respectivamente (Castellaro, 2005). Estos requerimientos pueden ser suplidos mediante la utilización de suplementos simples elaborados sobre la base de la utilización de forrajes, como henos de alfalfa, avena y cebada; subproductos de molinería, como afrecho de trigo; granos de cereales, como avena, e incluso con residuo de cosecha de maíz. La elección de los ingredientes será función de su composición nutritiva, el precio y la disponibilidad en la zona.

En el primer módulo de manejo, la CCP de las praderas de secano de la Comuna de Putre se estimó en 0,08 UV ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 5), mientras que en los diferentes tipos de bofedales la CCP varió entre 1,23 y 1,56 UV ha⁻¹ año⁻¹. A su vez, en el segundo módulo de manejo, para las praderas de secano se estimó una CCP variable entre 0,02 y 0,13 UV, mientras que en los bofedales la CCP varió entre

1,21 y 1,64 UV ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 6). Las diferencias observables están relacionadas principalmente con condiciones de diferencia pluviométricas, que generan un balance hídrico más favorable en la localidad de Caquena. A lo anterior se le suma las diferencias encontradas en la composición botánica y cobertura vegetal, lo que en definitiva genera diferencia en la condición de las praderas.

CONCLUSIONES

- Queda en evidencia la gran importancia que tiene el bofedal dentro de lo que es la capacidad sustentadora del ecosistema altiplánico, ya que en ambos módulos de manejo evaluados, este tipo de praderas aporta más del 96% de la capacidad de carga.
- Las diferencias en productividad y consecuentemente en la capacidad de carga de las praderas evaluadas en los módulos de manejo están dadas fundamentalmente por diferencia asociadas al balance hídrico, tipo de vegetación y condición de las praderas.
- Las cifras de capacidad de sustentación, estimadas para los diferentes pastizales evaluados, deben ser tomadas como orientadoras porque constituyen una primera aproximación al problema. No se dispone de la totalidad de las mediciones de terreno necesarias para hacer cálculos más precisos, especialmente en cuanto a la producción de MS de las praderas y a su distribución dentro del año, así como datos cuantitativos relacionados con los requerimientos nutricionales y de composición botánica de las dietas de las vicuñas. Estos aspectos debieran ser abordados en futuras investigaciones orientadas a validar parte de la metodología propuesta.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y la Corpora-

ción Nacional Forestal, Región de Arica y Parinacota, Chile. Se agradece la colaboración del Sr. José Luis Urrutia, encargado del Proyecto "Manejo Silvestre y en Cautiverio de la Vicuña en Comunidades Indígenas Aymaras de la Región de Tarapacá", y a todo el personal de terreno del mencionado proyecto.

LITERATURA CITADA

- AHUMADA, M. C. y L. Y. FAÚNDEZ. 2002. Guía descriptiva de las praderas naturales de Chile. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero, Departamento de Protección de los Recursos Naturales Renovables. 98 pp.
- ALZÉRRECA, H. A. y CH. D. LUNA. 2001. Manual del ganadero para el manejo de bofedales. Autoridad binacional del lago Titicaca, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Asociación Integral de Ganaderos en los Andes Altos (AIGACAA). La Paz, Bolivia. 40 pp.
- ALZÉRRECA, H. A., CH. D. LUNA, G. C. PRIETO, A. G. CARDOZO y J. E. CÉSPEDES. 2001. Estudio de la capacidad de carga en bofedales para la cría de alpacas en el sistema TDPS - Bolivia. Autoridad Nacional del lago Titicaca. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Asociación Integral de Ganaderos en Camélidos en los Andes Altos (AIGACAA). La Paz, Bolivia. 277 pp.
- ALZÉRRECA, H. A. y A. CARDOZO. 1991. Valor de los alimentos para la ganadería andina. Serie técnica: IBTA/SR-CRSP/001. La Paz, Bolivia. 82 pp.
- BONHAM, C. D. 1989. Measurements for terrestrial vegetation. J. Wiley & Sons. 338 pp.
- CARPIO, M. 1991. Aspectos tecnológicos de la fibra de los camélidos andinos. Capítulo 11 pp. 297-359. En: Novoa, C. y A. Flórez (Eds.). Producción de rumiantes menores: Alpacas. Red de Rumiantes Menores (RERUMEN). Lima, Perú. 359 pp.
- CASTELLARO, G. G. 2005. Manejo nutritivo de la vicuña en condiciones de pastoreo. Capítulo 7, pp. 221-246. En: Galaz, J. L. y G. González (Eds.). Técnicas de Manejo Productivo de la Vicuña (*Vicugna vicugna* Molina, 1782) en Chile. Corporación Nacional Forestal - Fundación para la Innovación Agraria (CONAF - FIA). Santiago, Chile. 280 pp.
- CASTELLARO, G.; T. ULLRICH, B. WACKWITZ, y L. A. RAGGI. 2004. Composición botánica de la dieta de alpacas (*Lama pacos* L.) y llamas (*Lama glama* L.) en dos estaciones del año, en praderas altiplánicas de un sector de la provincia de Parinacota, Chile. Agricultura Técnica (Chile) 64 (4): 353-364.
- CASTELLARO, G., C. GAJARDO, V. H. PARRAGUEZ, R. ROJAS, J. TERROBA y L. A. RAGGI. 1998. Productividad de un Rebaño de Camélidos Sudamericanos Domésticos (CSA) en un Sector de la Provincia de Parinacota: I. Variación estacional de la composición botánica, disponibilidad de materia seca, valor pastoral y valor nutritivo de los bofedales. Agricultura Técnica. Agricultura Técnica (Chile) 58 (3): 191-204.
- CORFO. 1982. Análisis de los Ecosistemas de la Primera Región de Chile. Sociedad Agrícola CORFO Ltda. - U. de Chile. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile. 195 pp.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 2003. Registros climatológicos de cuencas altiplánicas. Ministerio de Obras Públicas. Departamento de Hidrología.
- FLORES, E. 1992. Manejo y evaluación de pastizales. Boletín divulgativo. Proyecto TTA. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial, Fundación para el Desarrollo del Agro, Organización Nacional Agraria, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 27 pp.
- FLÓREZ, M. A. 1992. Manual de forrajes para zonas áridas y semiáridas andinas. Forrajes. Red de rumiantes menores (RESUMEN). Lima, Perú. 281 pp.
- GALAZ, J. L. y J. L. URRUTIA. 2004. Cría en cautiverio de vicuñas (*Vicugna vicugna mensealis*) en Chile. En: A. IRIARTE; TALA, CH.; GONZÁLEZ, B. ZAPATA, B.; GONZÁLEZ,

- G. y MAINO, M. (Eds.) pp. 353-361. Cría en cautividad de fauna chilena. Servicio Agrícola y Ganadero. Parque Metropolitano, Zoológico Nacional. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile. 410 pp.
- GAJARDO, R. 1999. Flora y vegetación. Informe final. Tomo I. Diagnóstico redefinición cobertura act. Snaspe 1ª Región, Provincia de Parinacota. Gobierno Regional de Tarapacá. p: I-1 - I-62.
- GASTÓ J., F. COSIO y D. PANARIO. 1993. Clasificación de Ecorregiones y determinación de sitio y condición. Manual de Aplicación a municipios y predios rurales. Red de Pastizales Andinos. Santiago, Chile. 254 pp.
- HOLECZEK, J. L., R. D. PIEPER and C. H. HERBEL. 2001. Range Management, Principles and Practices. 4th edition. Prentice Hall, New Jersey. 587 pp.
- HOLECZEK, J. L. 1988. An approach for setting the stocking rate. *Rangelands* 10: 10-14.
- JONGSCHAAP, R. 1999. LINPAS model: Dynamic simulation of rangeland production in the Altiplano of Peru and Bolivia. In: Proceedings of the third international symposium on systems approaches for agricultural development (SAAD-III). Lima, Peru November 8-10, 1999.
- KOEPPEL, W. 1948. Climatología. Fondo de cultura económica. México. 478 pp.
- ONGARO, L. 1995. Studio e valutazione del pascolo nella Tunisia meridionale. *Rivista de Agricoltura Subtropicale e Tropicale*. 89 (2): 251- 264.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 1996. Principios de manejo de praderas naturales. 2ª ed. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 272 pp.
- PARTON, W. J., M. O. SCURLOCK, D. S. OJIMA, T. G. GILMANOV, R. J. SCHOLLES, D. S. SCHIMEL, T. KIRCHNER, J. C. MENEAUT, T. SEASTEDT, E. GARCÍA MOYA, A. KAMNALRUT and J. I. KINYAMARIO. 1993. Observations and modelling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. *Global Biogeochemical Cycles* 7(4): 785-809.
- SCA. 1990. Feeding Standards for Australian livestock. Ruminants. Standing Committee on Agriculture, Ruminants Subcommittee. CSIRO Publications. East Melbourne, Victoria, Australia. 266 pp.
- TRONCOSO, R. 1982. Evaluación de la capacidad de carga del Parque Nacional Lauca. CONAF. 1ª Región. Santiago, Chile. Informe de consultoría. 222 pp.
- TRONCOSO, R. 1983. Caracterización ambiental del ecosistema bofedal de Parinacota y su relación con la vegetación. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 252 pp.
- USDA (U.S. Department of Agriculture). 2006. Keys to soil taxonomy. 10th ed. Washington D.C. U.S. Department of Agriculture. Soil Survey Staff. Natural Resource Conservation Service. 333 pp.
- VILÁ, B. 1999. La importancia de la etología en la conservación y manejo de la vicuña. *Etología* 7: 63-68.