

Desarrollo de un modelo para asignación variable de carga animal (MAVC) en Patagonia Sur

**Miguel A Andrade^{1,2}, Diego D Suárez³, Pablo L Peri^{1,2,4}, Pablo Borrelli⁵,
Sebastián G Ormaechea¹, Daniela Ferrante^{1,2}, Emilio H Rivera¹ y María V
Sturzenbaum¹**

*¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), cc 332, (CP 9400) Río Gallegos,
Santa Cruz, Argentina*

andrade.miguel@inta.gob.ar

*²Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), Lisandro de la Torre 1070 (CP
9400), Río Gallegos, Argentina.*

³Río Gallegos (9400) Av. Presidente Néstor Kirchner 976.

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

⁵Ovis 21. Belgrano 1585 - Trevelin - Argentina

Resumen

El ajuste de la carga animal es un aspecto clave en el manejo del pastoreo extensivo y en Santa Cruz, Argentina se realiza tradicionalmente utilizando una asignación fija de forraje (AFF) por animal, indistintamente si un potrero se utiliza continuamente durante el año o se usa estacionalmente durante el invierno. En este trabajo se generó un modelo para asignación variable de carga (MAVC) que contempla aspectos biológicos de balance de biomasa y calidad del pastizal relacionado con distintas variables del animal. El modelo se generó para 6 áreas ecológicas de Patagonia Sur: Pastizal Subandino, Matorral de Mata Negra, Estepa Magallánica Seca, Estepa Magallánica Húmeda, Complejo Andino y Ecotono Fueguino y puede ser utilizado en campos con uso continuo o estacional. El análisis de sensibilidad mostró que la variable porcentaje en dieta de forraje (variable que estima el consumo del animal) fue la más influyente en la respuesta del modelo. La variable de respuesta Residuo Forrajero Estimado por el modelo fue explicada satisfactoriamente por sus variables predictoras (Carga Animal Previa, Carga Animal Propuesta y Disponibilidad Forrajera) y resultó acorde con los datos de residuos forrajeros obtenidos durante los chequeos a campo ($R^2=0.91$; $p<0.01$). Los resultados indican que el MAVC arroja valores similares a los

cálculos realizados mediante AFF cuando los campos son utilizados anualmente. Por el contrario, cuando se evalúa el uso invernal, el modelo propone menores valores de carga animal que el método tradicional. El modelo MACV desarrollado en el presente trabajo ha logrado un balance entre complejidad y practicidad en la estimación de la capacidad de carga animal, lo cual sugiere que es una herramienta importante que puede ser utilizada en el manejo de los sistemas ganaderos en los pastizales de Patagonia Sur.

Palabras clave: curvas de incremento relativo, pastoreo, uso sustentable

Development of a variable stocking rate allocation model (VSRAM) in southern Patagonia

Abstract

Stocking rate adjustment is a key aspect in extensive grazing management. In Santa Cruz, Argentina, sheep carrying capacity is estimated through a fixed forage allowance (FFA) regardless of paddock use. In this work, we developed a variable stocking rate allocation model (VSRAM) based on the simulation of forage biomass and quality dynamics and the setting of critical residue targets at the end of the grazing period. The model was generated for 6 ecological areas of southern Patagonia and it can be used in paddocks with continuous or seasonal use. Model sensitivity analysis showed that the diet was the most sensitive variable for stocking rate estimations. We found a significant lineal correlation between values estimated by VSRAM and data observed in the field ($R^2=0.91$; $p<0.01$). The results indicated that stocking rate estimation from the model and FFA had similar values when paddocks were used on an annual basis. However, when paddocks are used for short periods in winter, the model predicted lower stocking rate values than the traditional method. The VSRAM model achieved a balance between complexity and practicability for sheep carrying capacity determination. Our results suggest that this model is an important tool that can be used in the management of livestock systems in grasslands of South Patagonia.

Keywords: grazing, relative growth curves, sustainable use

Introducción

Uno de los principios en el manejo sustentable de pastizales consiste en la estimación de la capacidad de carga animal que soporta un potrero en función de la receptividad del ambiente (Golluscio et al 2009). La cantidad potencial de herbívoros que puede soportar un ecosistema dependerá de la cantidad de energía fijada por los productores primarios (Odum 1972); cuya forma de almacenamiento final es la Productividad Primaria Neta (PPN) (Odum 1971 citado en Sala y Austin 2000). Los herbívoros utilizan sólo una parte de esta energía que corresponde al tejido aéreo y/o a la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) y es la que determina, en última instancia, la carga global que puede soportar el sistema. Existen diversas técnicas para estimar la PPNA (Monteith 1972; Sala et al 1988; Sala y Austin 2000; Piñeiro et al 2006), la cual varía espacial y temporalmente (Paruelo y Golluscio 1994; Jobbágy et al 2002; Paruelo et al 2004; Golluscio et al 2009), y en ecosistemas áridos depende fuertemente de la cantidad y distribución de las precipitaciones (Noy-Meir 1973; Sala et al 1988).

En la estimación de capacidad de carga, además de la PPNA influyen distintos aspectos relacionados con el animal (requerimientos energéticos, selección de hábitat y dieta, entre otros) (Hanley 1982; NRC 1985; Hofmann 1988; Haresing 1989; Illius y Gordon 1993); los relacionados al sistema de producción (potreros de invernada y veranada, distribución de aguadas) (Golluscio 2009) y cuestiones de manejo propiamente dichas (tiempo y sistema de pastoreo, entre otros) (Vallentine 2001; Golluscio 2009).

En este sentido, hacia mediados de la década de 1980, el ajuste de carga animal fue propuesto por distintos autores como una manera de atenuar el impacto negativo de la ganadería sobre los pastizales, lo que originó la aparición de varias metodologías de evaluación objetiva de pastizales y cálculo de receptividad: Guías de Condición de Pastizales (Siffredi y Becker 2001; Bonvissuto et al 2008), Método del Valor Pastoral (Nakamatsu et al 2001; Elissalde et al 2002), Botanal (Toothill et al 1978; Suárez 2007a); Método Ñirantal Sur-San Jorge (Peri 2009) y Método Santa Cruz (Borrelli y Oliva 2001).

En los distintos ambientes de Santa Cruz y Tierra del Fuego, Argentina la metodología para la evaluación de la capacidad de carga se basa en la estimación de una fracción de la PPNA que considera únicamente el forraje conformado por aquellas especies de mayor preferencia por el ovino (gramíneas de alta calidad, ciperáceas y dicotiledóneas herbáceas) (Borrelli 2001a). Dicha estimación se realiza mediante un muestreo estratificado por sitio (Borrelli y Oliva 2001) mediante cortes durante el pico de acumulación de biomasa (diciembre-marzo). Finalmente, para realizar los cálculos de carga animal se propone utilizar una Asignación Fija de Forraje (AFF) anual que varía levemente en función del objetivo de manejo y el área ecológica considerada (Borrelli 2001b).

El método descrito es relativamente sencillo y de fácil aplicación aunque presenta inconvenientes cuando las estimaciones se realizan para períodos inferiores al año (e.g., potreros con uso invernal). En este caso los cálculos se realizan en base a la receptividad anual, pero al considerar que el potrero se utiliza una menor proporción de tiempo durante el año, se incrementa el número de cabezas casi en forma proporcional para ese período de tiempo, asumiendo que los animales que podría mantener el potrero durante un año, se pueden mantener de igual manera durante ese menor período de tiempo en función del forraje disponible. Lo anterior, sobrestima la capacidad de carga del potrero para esos meses, ya que los $\text{kg MS} \cdot \text{ha}^{-1}$ de intercoironal utilizados para estimar la receptividad anual, no necesariamente reflejan la cantidad y calidad del invierno.

Por esta razón, contar con una herramienta que permita mejorar las estimaciones de carga animal y evaluar el momento óptimo de entrada y salida de los potreros sería de suma utilidad. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo que permita mejorar la estimación de carga animal en distintas áreas ecológicas de la Patagonia Austral, teniendo en cuenta los principales procesos biológicos involucrados en el balance de biomasa, calidad forrajera del pastizal y aspectos de dieta de ovinos.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de influencia de este trabajo incluyó 6 áreas ecológicas pertenecientes a las provincias de Santa Cruz y Tierra del Fuego (Figura 1).

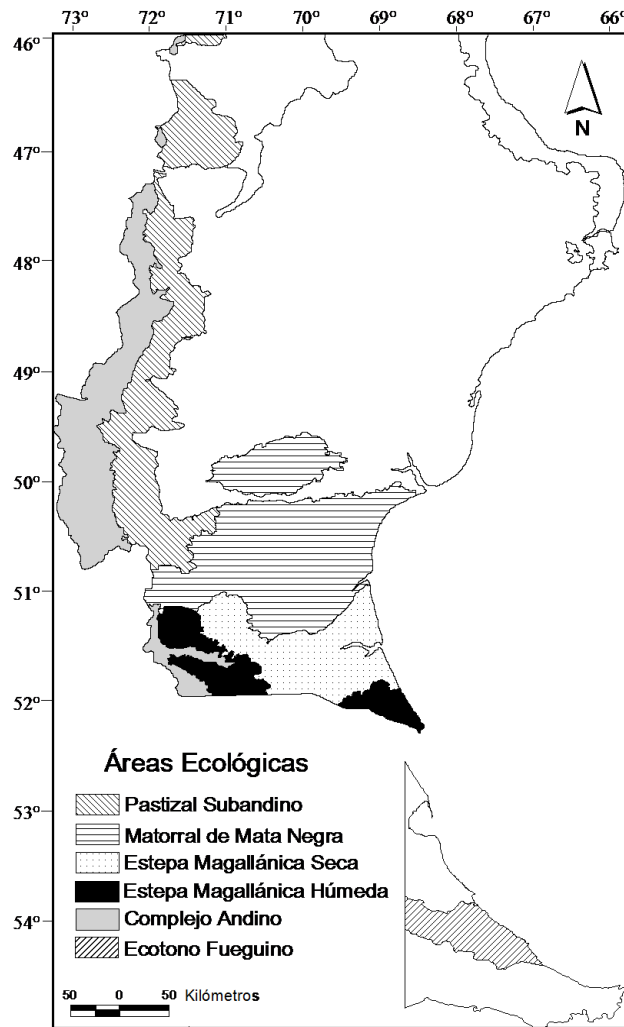


Figura 1: Áreas ecológicas de Patagonia Sur donde se desarrolla el modelo de asignación variable y evaluación de carga (MAVC).

Pastizal Subandino (PSA): Estepa gramínea en la que domina *Festuca pallescens* acompañada de *Stipa chrysophylla* y *Poa spiciformis*. Es un área de clima frío semiárido, con un régimen de precipitaciones del orden de los 400 mm anuales distribuidos de manera uniforme durante el año. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 7 y 8°C. El paisaje es del tipo ondulado, con presencia de mesetas volcánicas, valles fluviales y cañadones.

Matorral de Mata Negra (MMN): Es un área ecológica donde *Junellia tridens* (el arbusto dominante “mata negra”) puede ocupar hasta el 70% de la superficie del suelo. En menor proporción aparecen las especies del tipo *Festuca pallescens* hacia el norte del área y *Festuca gracillima* más al sur, acompañados de especies del género *Poa* (Roig et al. 1985). El clima del área es frío árido de meseta y costero, con una temperatura media anual que varía entre 6°C a 8°C (Soto 2004). Las precipitaciones medias alcanzan los 200 mm anuales y exhiben un máximo invernal. El paisaje general es plano con presencia de mesetas sedimentarias y alturas que oscilan entre los 300 y 500 m (Movia et al 1987).

Estepa Magallánica Seca (EMS): Es un área extensa de pastizal con una cobertura vegetal que oscila entre el 50 y 70% y caracterizada por la dominancia de *Festuca gracillima* (coirón fueguino) y casi sin presencia de arbustos. Dentro de las gramíneas denominadas bajas (intercoironal), se encuentran *Bromus setifolius*, *Poa spiciformis* y *Rytidosperma virescens*,

entre otras. El clima es templado frío semiárido de meseta (Soto 2004), con precipitaciones que oscilan los 200 mm anuales con una leve concentración hacia el invierno y con temperaturas medias anuales que alcanzan los 7°C. El paisaje es principalmente plano con ondulaciones, mesetas sedimentarias que pueden alcanzar los 300 m.s.n.m y terrazas glaciales.

Estepa Magallánica Húmeda (EMH): Es una estepa gramínea de *Festuca gracillima*, fisonómicamente similar a EMS pero con presencia de arbustos de *Chilliostrichum diffusum*. El clima es subhúmedo con características oceánicas. El rango anual de precipitaciones es de 200 a 400 mm con ligera concentración estival. El promedio de temperaturas anuales es de 6,5°C. El paisaje es ondulado y se desarrolla sobre terrazas de origen glacial, con presencia de planicies glaciales y/o fluviales con una importante presencia de vegas en zonas de valles.

Complejo Andino (CA): Esta área se describe como un gran mosaico de bosques de *Nothofagus*, distribuidos en valles y laderas, con lagos y lagunas originados por acción glacial. El clima del área es templado frío húmedo andino, caracterizado por temperaturas medias anuales cercanas a los 5°C, mientras que las precipitaciones superan los 700 mm/año y alcanzan los 1000 mm/año (Soto 2004). En las zonas más secas en el límite con el Pastizal Subandino, predomina el *Nothofagus antarctica* mientras en las áreas más húmedas prevalece el *Nothofagus pumilio*. En las zonas de claros se puede encontrar *Agrostis* sp., *Deschampsia* sp. y *Poa pratensis*, entre otras (Roig et al 1985). El paisaje es variado con bloques elevados, valles glaciarios y planicies con sedimentos glaci-fluviales.

Ecotono Fueguino (EF): Es un área de transición entre la Estepa Magallánica y el Complejo Andino, caracterizada por la presencia de individuos dispersos de *Nothofagus antarctica*, asociados a *Festuca gracillima* y zonas más húmedas con diversidad de ciperáceas. El clima es subhúmedo oceánico, las precipitaciones oscilan entre 400-500 mm distribuidas a lo largo del año y nevadas frecuentes, mientras que la temperatura media anual es inferior a los 6°C.

Construcción del modelo

Para la construcción del modelo se siguieron los pasos propuestos en la bibliografía (Albin 1997). Se definió el propósito del Modelo de Asignación Variable de Carga (MAVC) el cual consiste en estimar la capacidad de carga animal de distintas áreas ecológicas, para lo cual se identificaron las principales variables que determinan la misma teniendo presente el objetivo y alcance.

A partir de las variables seleccionadas se conceptualizó un modelo del tipo determinístico (Ruiz y Oregui 2001), que permite realizar estimaciones con un intervalo temporal mensual. Se definieron dos variables respuesta: Carga Animal Propuesta y Residuo Forrajero Estimado, y se establecieron las variables necesarias para la obtención de las mismas: Disponibilidad Forrajera, Carga Animal Previa, Producción Estimada de Forraje, Año Climático, Producción Esperada de Forraje, Tasa de Incrementos Relativo, Incremento Mensual de Materia Seca, Superficie del Potrero, Mes de Evaluación de Pastizales, Concentración Energética, Porcentaje en Dieta de Forraje, Porcentaje de Destete, Tipo de Esquila, Mes de Servicio, Requerimiento por Categoría Animal, Coeficiente EOP, Consumo de Materia Seca Estimado, Consumo de Materia Seca Previa y Tasa de Desaparición de Materia Seca. Se establecieron las relaciones entre todas las variables mediante diagrama de causa-efecto y se determinaron los valores de los parámetros de las distintas relaciones generadas en el modelo.

Conceptualización del modelo y descripción de sus relaciones

El modelo es el resultado de la interrelación de distintas variables que forman parte del ambiente y del animal (Tabla 1; Figura 2).

Tabla 1: Detalle de las variables que conforman el modelo (ver Figura 1).

Variable	Abreviación	Unidad	Nº de Ecuación	Rango
Disponibilidad Forrajera	DF	kg MS*ha ⁻¹		50-2200
Carga Animal Previa	CAPre	Nº cabezas*ha ⁻¹ *mes ⁻¹		Lo define el productor
Producción Estimada de Forraje	PEstF	kg MS*ha ⁻¹ *año ⁻¹	1	DF+CoPre
Año Climático	AC	adimensional	2	0,6-1,4
Producción Esperada de Forraje	PEspF	kg MS*ha ⁻¹ *año ⁻¹	3	PEstF/AC
Tasa de Incremento Relativo	TIR	adimensional		0-0,38
Incremento Mensual de Materia Seca	IMS	kg MS*ha ⁻¹ *mes ⁻¹	4	0-506
Superficie del Potrero	SP	ha		500-5000
Mes de Evaluación de Pastizales	EP	adimensional		diciembre a julio
Concentración Energética	CE	Mcal EM*kg MS ⁻¹	5	1,70-2,47
Porcentaje en Dieta de Forraje	D	adimensional		0,59-0,98
Porcentaje de Destete	Dest	adimensional		60-120
Tipo de Esquila	Esq	adimensional		Preparto-Postarto
Mes de Servicio	Serv	adimensional		Abril-Mayo-Junio
Requerimiento por Categoría Animal	RCA	Mcal EM*día ⁻¹		1,19-6,13
Coefficiente EOP	CEOP	adimensional		0,43-2,20
Carga Animal Propuesta	CAPro	Nº cabezas*ha ⁻¹ *mes ⁻¹		260-6428 (año redondo); 450-24365(invierno)
Consumo de Materia Seca Estimado	CoEst	kg MS*ha ⁻¹ *mes ⁻¹	6	94-218
Consumo de Materia Seca Previo	CoPre	kg MS*ha ⁻¹ *mes ⁻¹		Depende directamente de CAPre
Tasa de Desaparición Materia Seca	TDMS	adimensional		20-40
Residuo Forrajero Estimado	RFE	kg MS*ha ⁻¹ *mes ⁻¹		100-500

cociente entre la cantidad de precipitaciones del año en curso (mm año actual) y la precipitación promedio del lugar (mm año promedio) (Ecuación 2).

$$AC = \text{mm año actual} / \text{mm año promedio} \quad (2)$$

Donde:

AC=1: Año promedio

AC>1: Año húmedo

AC<1: Año seco

Producción Esperada de Forraje (PEsF): Es el valor final con el cual se realizan los cálculos de incrementos relativos mensuales para las distintas áreas ecológicas. En el modelo se calcula a partir de PEstF dividido AC (Ecuación 3) lo que permite ajustar la producción de forraje en función del año de evaluación.

$$PEsF = PEstF / AC \quad (3)$$

Tasa de Incremento Relativo (TIR): Corresponde al incremento relativo de biomasa de las especies del intercoironal para las áreas ecológicas: PSA-MMN-EMS-EMH y del estrato herbáceo en: CA-EF. Este factor varía sustancialmente entre las distintas áreas ecológicas, principalmente debido al efecto de las temperaturas y precipitaciones, factores que condicionan tanto el comienzo como la duración de la estación de crecimiento.

Incremento Mensual de Materia Seca (IMS): Representa el Incremento Mensual de Materia Seca en $\text{kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$ y para un mes en particular se calcula como el producto entre PEsF y TIR (Ecuación 4).

$$IMS = PEsF * TIR \quad (4)$$

Superficie del Potrero (SP): Área del potrero en hectáreas en donde se realizó la evaluación de pastizales y donde se pretende ajustar la carga animal.

Mes de Evaluación de Pastizales: En el modelo se puede establecer el mes de evaluación desde diciembre a julio inclusive.

Concentración Energética (CE): Representa la capacidad del forraje para suministrar energía al animal. Relacionada al contenido de nutrientes, se la estima mediante la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (%DMS) (Ecuación 5). Para ello se asume que el forraje tiene un contenido medio de Energía Bruta de $4,4 \text{ Mcal} \cdot \text{kg MS}^{-1}$ y un 18% de pérdidas debido a orina y gases de fermentación principalmente.

$$\frac{\text{Mcal E.M.}}{\text{kg MS}} = 4,4 * \left(\frac{100 - 18}{100} \right) \times (\% \text{ DMS}) \Rightarrow CE = 3,608 \times (\% \text{ DMS}) \quad (5)$$

Porcentaje en Dieta de Forraje (D): Corresponde al porcentaje de participación mensual del intercoironal (PSA-MMN-EMS-EMH) y especies del pastizal (CA-EF) en la composición botánica de las dietas y es una estimación indirecta del consumo que realizan los animales de esta clase de forraje. Las especies consideradas son las de mayor calidad (Wernli et al 1977;

Somlo et al 1985) y las que permitirían mantener una adecuada performance animal debido a sus valores de digestibilidad (60%) y contenido de proteína (7%) (NRC 1985).

Porcentaje de Destete (Dest): Corresponde al número de corderos logrados en relación a la cantidad de ovejas madres que existen en el potrero. El modelo contempla 2 opciones: 100% de destete (o menos) y más de un 100%. La elección de la segunda opción modifica los requerimientos que van desde septiembre a enero asumiendo que una oveja mellicera necesitará más energía para mantener sus crías.

Tipo de esquila (Esq): Dentro del modelo se puede optar por una esquila preparto o posparto. La elección de una u otra modifica el mes donde se produce el pico de requerimientos del animal, lo que se traduce en una variación del consumo para un mes en particular.

Mes de servicio (Serv): La elección del momento del servicio modifica el mes donde ocurre el máximo requerimiento de los animales, dado que condiciona la fecha de parición. El modelo escenario permite seleccionar los meses de abril, mayo y junio.

Requerimiento por Categoría Animal (RCA): El modelo cuenta con los requerimientos energéticos estimados para ovejas, borregas/os, capones y carneros. En el caso de ovejas madres, el modelo trabaja con un solo tamaño de animal (49-50 kilos al servicio). En el caso de las borregas, se propone un modelo de crecimiento “normal”, que corresponde a las curvas observadas en la Estepa Magallánica Seca, (28 kg a los 200 días, 31 kg a la esquila), o una curva “ideal” (35 kg a los 200 días, 38 kg a la esquila). Los animales “ideales” representan un requerimiento medio entre el 31,3 y 34,8% superior a los de un animal “normal”. Los valores se calculan tomando como referencia las tablas de requerimientos usadas en el modelo.

Coefficiente EOP (CEOP): Representa el requerimiento del animal en comparación de la unidad de referencia Equivalente Ovino Patagónico (EOP), el cual se define como el promedio de requerimientos anuales de una oveja de 49 kilos de peso vivo al servicio, esquilada en septiembre, que gesta y desteta un cordero de 20 kilos vivo a los 100 días de lactancia y equivale a $2,79 \text{ Mcal EM} \cdot \text{día}^{-1}$ (Borrelli 2001a). En el presente modelo, el CEOP es afectado por el Dest, Esq, Serv y RCA.

Carga Animal Propuesta (CAPro): Es el número de animales que se propone utilizar en el potrero en la temporada actual y es la variable de salida que se pretende ajustar con el MAVC. El criterio de asignación de animales se debe basar en los objetivos de manejo del productor pero siempre manteniendo un balance entre la producción ganadera del sistema (establecimiento) y la productividad del pastizal. Para lograr este equilibrio, se propone evaluar la evolución del RFE a medida que se varían las cargas (número, categoría y tiempo de uso). Para lograr el ajuste de carga es necesario realizar una serie de pruebas sucesivas, partiendo de valores medios de carga de tal manera que el modelo pronostique distintos niveles de RFE, hasta alcanzar un valor prefijado con anterioridad al final del período de pastoreo o en el caso de las invernadas, en el momento de salida del invierno. El RFE (umbral de salida) varía en función del área ecológica pero se propone que en las áreas de menor productividad (PSA-MMN-EMS) se utilice un residuo de al menos $100 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1}$, en EMH $200 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1}$ y en las más productivas (CA-EF) el umbral sea de al menos $300 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Consumo de Materia Seca Estimado (CoEst): Es la estimación que realiza el MAVC de la cantidad de forraje que consumen mensualmente los animales ($\text{kg MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mes}^{-1}$). Para su

estimación se utiliza CAPro, los requerimientos energéticos mensuales de las distintas categorías animales expresados mediante el CEOP, requerimiento diario de 1 EOP (2,79 Mcal EM*día⁻¹), CE del forraje (Mcal EM*kg MS⁻¹), el porcentaje en dieta de los principales ítems forrajeros y la superficie del potrero considerado. El valor obtenido se lo multiplica por 30 para estimar el consumo mensual (Ecuación 6).

$$\text{CoEst} = \frac{\text{CAPro} \times \text{CEOP} \times 2,79 \times (\text{D}) \times 30}{\text{SP} \times \text{CE}} \quad (6)$$

Consumo de Materia Seca Previo (CoPre): Es la estimación que realiza el MAVC de la cantidad de forraje que consumieron mensualmente los animales (kg MS*ha⁻¹*mes⁻¹) hasta la fecha en la que se realiza la evaluación de pastizales. Su cálculo se realiza de manera similar al detallado para CoEst y reemplazando en la ecuación 6 la variable CAPro por CAPre.

Tasa de Desaparición de Materia Seca (TDMS): Representa la pérdida de forraje debido a la senescencia.

Residuo Forrajero Estimado (RFE): Es el valor mensual estimado por el modelo en kg MS*ha⁻¹ derivado de las estimaciones previas. Para su cálculo se tiene en cuenta la DF, CoEst, IMS, TDMS y EP.

Para la alimentación del modelo se utilizó información proveniente de trabajos previos referida a curvas de acumulación de biomasa (Defossé et al 1990; Borrelli 1999; Anchorena et al 2001; Peri et al 2005; Clifton et al 2006; Ferrante 2011; Bahamonde et al 2012), composición botánica de dietas (Bonino y Pelliza-Sbriller 1991; Posse et al 1996; Somlo et al 1997; Manero et al 2006; Suárez 2007b; Ormaechea 2012) y digestibilidad de los principales ítems forrajeros (Somlo y Cohen 1997; Clifton et al 2006; Bahamonde 2011; Peri y Bahamonde 2012). Para el caso del área ecológica de MMN, al no contarse con información previa, se evaluó durante dos períodos (Septiembre-Mayo 2010-2012) el crecimiento de *Poa spiciformis*. La elección de esta especie se fundamenta en la importancia que tiene como forrajera (debido a su contenido de proteína y valores de DMS) llegando a representar hasta el 25% del intercoironal en la composición botánica de la dieta del ovino. *Poa spiciformis* representa hasta el 14,3% de la cobertura vegetal relativa en el área ecológica MMN siendo la segunda especie vegetal en importancia luego del arbusto *Junellia tridens*.

Para la evaluación de crecimiento de *Poa spiciformis* se seleccionaron 180 ejemplares a los que se les instalaron clausuras individuales de 10x10x30 cm. Se realizaron cortes mensuales de biomasa (30±3 días) de 20 individuos seleccionados al azar. En cada uno se registró perímetro de la corona y se cosechó su biomasa individualmente, dejando un remanente de 10 mm de lámina en cada corte. El perímetro se utilizó como estimador de la superficie promedio (cm²) de los individuos de *Poa spiciformis* y la biomasa obtenida se expresó por unidad de superficie (g cm²). Esto último, permite independizar los valores obtenidos de los tamaños de cada una de las plantas cortadas. Todo el material cosechado en las clausuras fue secado en estufa a 65°C por 36 h hasta peso constante, y posteriormente separado en los componentes verde y seco. La fracción verde se pesó en balanza de precisión de 0,001 g.

La información de las curvas de acumulación de biomasa de las distintas áreas (2 años de medición) sirvió como base para generar las curvas de incrementos relativos. Para ello, una vez promediada la información de cada área, se identificó el mes con el menor valor de biomasa acumulada, dicho valor se lo restó a cada uno de los valores mensuales para que la

curva de acumulación alcance el valor 0 en algún momento del año. Luego, se identificaron todos los picos de incremento de biomasa localizados entre períodos de mínima acumulación y todos ellos fueron sumados para estimar la productividad forrajera del área (Sala y Austin 2000). Finalmente, para cada intervalo en los que se detectó incremento de biomasa, se lo relativizó al valor total de productividad para obtener la curva de incremento relativo.

Evaluación del modelo

El modelo generado se sometió a un análisis de sensibilidad, con el fin de evaluar los cambios en las predicciones del mismo ante variaciones en alguno de los parámetros ajustados que lo integran. El criterio utilizado se realizó sobre la base de que en el método AFF no se tienen en cuenta explícitamente tres de las variables analizadas en el presente manuscrito: TIR, CE y D. Los valores elegidos para sensibilizar fueron:

TIR: 0% durante todo el año, ya que en el método AFF no se tiene en cuenta explícitamente dicha variable.

CE: Se sensibilizó con un valor constante que permite satisfacer el requerimiento de 1 EOP durante todo un año, lo cual equivale a un valor de 2,79 Mcal EM*día⁻¹. Este valor además, representa una digestibilidad máxima teórica del 77% y que sería el límite superior de valores reportados en la bibliografía y los utilizados en este estudio.

D: Se sensibilizó usando un porcentaje máximo del 100 de especies forrajeras en dieta mensualmente. El valor utilizado se considera análogo al criterio usado en AFF para determinar la carga animal, que toma en cuenta únicamente este estrato para calcular la receptividad del potrero.

Para cuantificar el % de sensibilización se modificó una variable por vez asumiendo que el resto permanece sin alteración (Velez-Pareja 2003). Se evaluaron las respuestas en RFE ante variaciones en la TIR por un lado; y el CoEst ante modificaciones en los valores de CE y D. La cuantificación se realizó aplicando la ecuación N°7:

$$\% \text{ de Sensibilización} = \frac{(\text{CoEstsen} - \text{CoEst})}{\text{CoEst}} \times 100 \quad (7)$$

Siendo CoEstsen el consumo de Materia Seca Estimado luego de sensibilizar la CE o D y CoEst corresponde al consumo estimado con los valores utilizados en el modelo. Similarmente se evaluó la sensibilidad del RFE al variar la TIR.

Posteriormente se realizó una validación independiente del modelo (Piñeiro et al 2008), para lo cual se utilizaron datos provenientes de distintos estudios locales. El criterio utilizado para la validación consistió en evaluar los residuos forrajeros obtenidos durante los chequeos de pastizales realizados a fines de agosto y compararlos con el Residuo Forrajero Estimado por el modelo para la misma fecha. La intensidad de muestreo de esta validación independiente se basó en lo propuesto por Peri et al (2013). Para ello, en el modelo de asignación se ingresaron los valores de biomasa relevados durante el verano para los distintos potreros, la Carga Animal Previa (CAPre) y la carga actual del potrero. Con esta información el MAVC estima los residuos forrajeros para cada mes (Apéndice 1).

Finalmente, se realizaron simulaciones de cálculo de carga animal con el MAVC para las distintas áreas ecológicas y los resultados se compararon con las estimaciones realizadas mediante AFF. Se plantearon dos situaciones de uso consideradas representativas de las áreas de estudio: un potrero utilizado de manera continua durante todo el año y otro utilizado durante cuatro meses en época invernal (mayo a agosto). Se simularon distintas DF durante enero: 100-200-300 kg MS*ha⁻¹ (PSA, MMN, EMS) y 500-1000-1500 kg MS*ha⁻¹ (EMH, CA y EF) y se estandarizó la superficie del potrero en 2500 ha. Para ajustar la carga con el MAVC se definió un RFE mínimo (umbral de salida) al final del período de pastoreo o en el caso de las invernadas, en el momento de salida del invierno. Los RFE se definieron según la productividad forrajera del área ecológica: 100 kg MS*ha⁻¹ (PSA-MMN-EMS), 200 kg MS*ha⁻¹ (EMH) y 300 kg MS*ha⁻¹ (CA-EF). Para las estimaciones de carga mediante AFF se realizaron los cálculos con una asignación de 500 kg MS*ha⁻¹ por animal.

Resultados

Cómo se indicó en la sección Materiales y Métodos, la información aquí analizada se basa en los trabajos presentados por Defossé et al (1990), Borrelli (1999), Anchorena et al (2001), Peri et al (2005), Clifton et al (2006), Ferrante (2011), Bahamonde et al (2012), (curvas de incremento a partir de curvas de biomasa), Bonino y Pelliza-Sbriller (1991), Posse et al (1996), Somló et al (1997), Manero et al (2006), Suárez (2007b), Ormaechea (2012) (composición botánica de dietas), Somlo y Cohen (1997), Clifton et al (2006), Bahamonde (2011), Peri y Bahamonde (2012) (digestibilidad de los principales ítems forrajeros). Las curvas de incrementos relativos difirieron entre áreas ecológicas (Figura 3). El crecimiento comienza en todas las áreas ecológicas a partir de septiembre con valores que oscilan entre el 4% y el 31% del total de la temporada. Se observó como patrón general la ausencia total de crecimiento durante enero, a excepción de EMH y EF donde hubo crecimiento continuo desde primavera hasta el otoño. La DMS promedio anual fue inferior al 60% para todas las áreas ecológicas con una mínima media anual de 53,7% (EMS) y un máximo de 59,7% (EF) (Tabla 2). Los menores valores se obtuvieron durante el invierno y promediaron entre el 47,6% (CA) y 57,6% (MMN), mientras que los máximos valores se dieron durante la primavera llegando a 63,8% y 67,7% para CA y EF, respectivamente. El área ecológica que presentó la mayor variabilidad intra-anual es el CA con una diferencia de 17,8 % entre los valores extremos, mientras que en MMN los valores permanecieron relativamente constantes y su variabilidad intra-anual fue de sólo 3,2 puntos. Los porcentajes de participación en dieta de las especies del pastizal fueron variables entre áreas ecológicas (Tabla 3). El valor medio anual de participación del intercoironal osciló entre el 66% (EMS) y el 82% (EF). Los valores medios máximos se alcanzaron durante la primavera (PSA: 76; MMN: 76; EMH: 79; CA: 73; EF: 85%) y el verano (EMS: 73%). Estos porcentajes disminuyeron paulatinamente para alcanzar los mínimos durante el invierno, a excepción de EF en donde se obtuvo un valor similar al de primavera (83%). Esta última área junto con MMN son las que exhiben la menor variabilidad intra-anual con una diferencia menor a los 10 puntos entre los períodos de mayor y menor participación de especies en la dieta, mientras que EMH fue el área con mayor variabilidad con una diferencia de 30 puntos entre los momentos de máxima y mínima participación del intercoironal en la dieta de ovinos.

Tabla 2: Valores medios mensuales de digestibilidad de la materia seca (DMS %) del intercoironal (PSA-MMN-EMS-EMH) y especies forrajeras del pastizal (CA-EF).

	PSA	MMN	EMS	EMH	CA	EF
Enero	59,4	58,0	59,7	59,3	55,6	56,8
Febrero	59,4	59,6	57,0	59,3	50,0	57,2
Marzo	61,7	57,6	56,9	52,7	53,7	55,6
Abril	62,2	59,3	53,1	62,4	57,2	59,1
Mayo	62,2	58,1	50,6	57,4	52,9	55,5
Junio	57,2	57,6	49,7	49,9	47,6	56,7
Julio	57,2	57,6	47,3	53,6	47,6	56,7
Agosto	57,2	57,6	51,2	57,4	47,6	56,7
Septiembre	59,6	58,9	53,9	55,4	61,8	67,3
Octubre	59,6	60,0	51,8	59,6	64,2	68,6
Noviembre	59,6	60,8	54,0	59,6	65,4	67,1
Diciembre	59,4	60,4	59,2	63,7	60,0	58,6

Tabla 3: Participación relativa del intercoironal (PSA-MMN-EMS-EMH) y especies forrajeras del pastizal (CA-EF) en las dietas de ovinos.

	PSA	MMN	EMS	EMH	CA	EF
Enero	0,71	0,73	0,77	0,72	0,75	0,80
Febrero	0,72	0,74	0,69	0,70	0,68	0,78
Marzo	0,74	0,74	0,72	0,85	0,61	0,76
Abril	0,71	0,73	0,60	0,70	0,72	0,79
Mayo	0,72	0,73	0,61	0,70	0,75	0,79
Junio	0,71	0,71	0,65	0,75	0,73	0,83
Julio	0,70	0,71	0,61	0,71	0,69	0,83
Agosto	0,70	0,71	0,63	0,72	0,69	0,83
Septiembre	0,81	0,80	0,60	0,80	0,71	0,85
Octubre	0,74	0,76	0,59	0,68	0,73	0,85
Noviembre	0,75	0,74	0,69	0,69	0,73	0,85
Diciembre	0,73	0,72	0,73	0,98	0,74	0,82

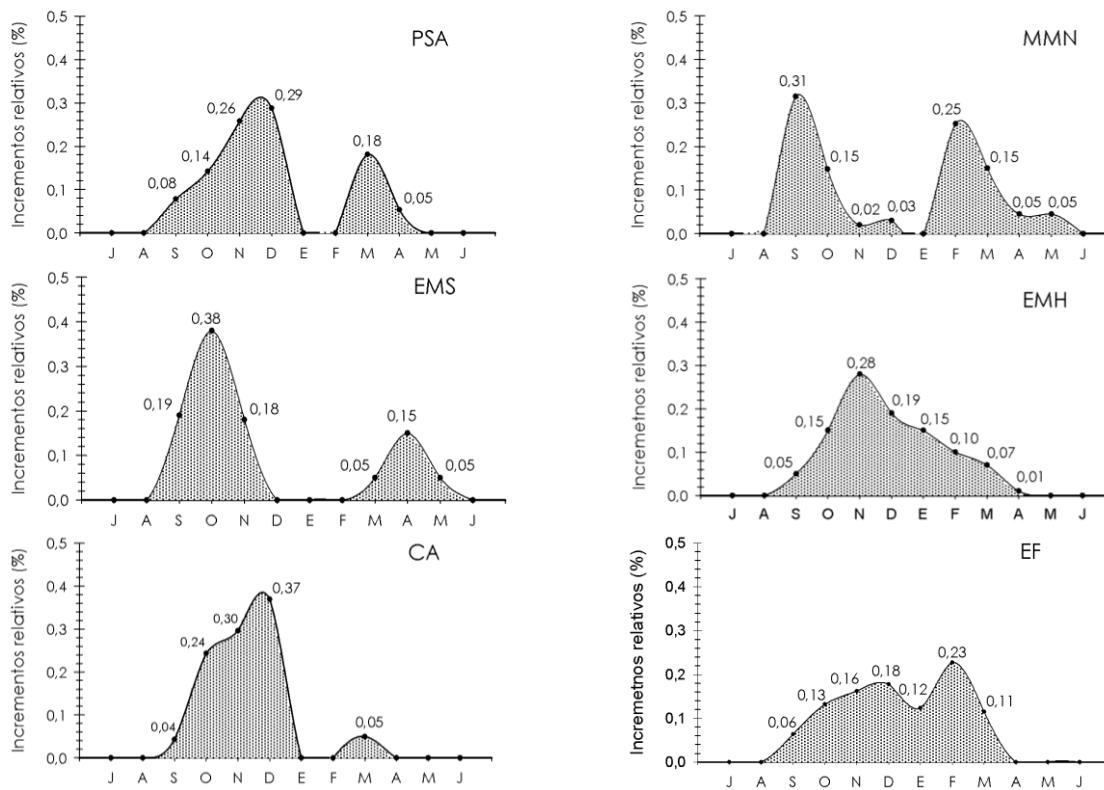


Figura 3: Curvas de incrementos relativos mensuales de biomasa del intercoironal (PS-MMN-EMS-EMH) y pastizal (CA-EF).

Análisis de Sensibilidad

El análisis propuesto mostró que la variable más sensible en el modelo ante modificaciones de sus valores ajustados fue RFE (Tabla 4). Los resultados indican que no considerar esta variable en los cálculos de carga animal implica sobreestimar RFE entre un 72% en CA y 101% en MMN. Para la variable CE (Tabla 5) los promedios anuales fueron del 30% o menores, mientras que no considerar la variable D en los cálculos de carga implica sobreestimar el consumo medio anual por animal (kg MS ha⁻¹) en al menos un 23% (EF) pudiendo alcanzar el 53% (EMS) (Tabla 6).

Tabla 4: Análisis de sensibilidad: Variación del Residuo Forrajero Estimado (expresado como porcentaje) a la inclusión de la curva de incrementos relativos para cada una de las áreas ecológicas (Vaj) comparado con la no consideración (Vsen). Los valores en las columnas Vaj y Vsen se encuentran expresados en kg MS*ha-1*mes-1.

	PSA			MMN			EMS			EMH			EF			CA		
	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%
Enero	100,0	100,0	0,0	100,0	100,0	0,0	100,0	100,0	0,0	500,0	500,0	0,0	500,0	500,0	0,0	500,0	500,0	0,0
Febrero	94,3	94,3	0,0	126,5	92,1	-27,2	95,4	95,4	0,0	514,2	462,6	-10,0	580,3	463,2	-20,2	466,2	466,2	0,0
Marzo	114,4	88,9	-22,3	138,6	84,3	-39,2	97,8	91,0	-6,9	508,2	423,1	-16,8	598,9	428,3	-28,5	460,7	435,7	-5,4
Abril	116,2	83,9	-27,8	136,3	77,2	-43,4	114,0	87,0	-23,7	476,9	390,9	-18,0	557,7	395,7	-29,1	430,2	406,4	-5,5
Mayo	110,4	78,9	-28,5	133,6	75,9	-43,2	116,1	83,0	-28,5	441,8	360,1	-18,5	518,8	364,9	-29,7	400,7	378,0	-5,6
Junio	104,9	74,2	-29,3	125,6	69,4	-44,8	111,3	79,0	-29,0	406,1	328,4	-19,1	481,5	335,2	-30,4	372,0	350,5	-5,8
Julio	99,6	69,6	-30,1	117,9	63,1	-46,5	106,8	75,3	-29,5	374,0	300,2	-19,7	446,2	307,3	-31,1	345,4	325,0	-5,9
Agosto	93,4	64,2	-31,2	108,7	55,3	-49,2	101,7	71,0	-30,2	340,1	270,0	-20,6	408,7	276,7	-32,3	317,3	297,9	-6,1
Septiembre	93,6	54,3	-42,0	134,9	40,1	-70,3	120,5	64,8	-46,2	313,5	221,1	-29,5	394,4	236,6	-40,0	305,9	265,5	-13,2
Octubre	104,9	45,5	-56,6	141,1	25,0	-82,3	168,2	59,6	-64,6	361,6	187,7	-48,1	436,0	206,4	-52,7	416,0	244,9	-41,1
Noviembre	133,1	37,1	-72,1	130,3	11,4	-91,3	187,7	54,0	-71,2	481,7	155,7	-67,7	494,3	176,8	-64,2	556,7	226,3	-59,3
Diciembre	166,2	29,3	-82,4	121,9	-1,3	-101,0	182,6	48,9	-73,2	544,8	115,6	-78,8	559,4	145,2	-74,0	735,8	206,9	-71,9

Tabla 5: Análisis de sensibilidad: Variación del consumo (expresado como porcentaje) a la inclusión de la Concentración Energética (CE) del intercoironal y especies forrajeras del pastizal para cada una de las áreas ecológicas (Vaj) comparado con la consideración de un valor constante (Vsen). Los valores en las columnas Vaj y Vsen se encuentran expresados en kg MS*ha-1*mes-1.

	PSA			MMN			EMS			EMH			EF			CA		
	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%
Enero	3,4	2,6	-23,3	6,1	4,6	-25,1	2,4	1,9	-22,9	14,4	11,1	-23,3	14,4	10,3	-28,3	9,9	7,1	-28,3
Febrero	3,3	2,5	-23,3	5,6	4,3	-22,9	2,1	1,6	-26,2	13,0	10,0	-23,3	12,4	9,4	-24,7	9,2	6,0	-35,5
Marzo	3,1	2,5	-20,1	5,6	4,2	-25,4	2,1	1,6	-26,5	17,3	11,8	-31,9	12,3	8,8	-28,3	7,6	5,2	-31,9
Abril	2,9	2,3	-19,4	5,2	4,0	-23,3	1,8	1,3	-28,3	11,6	9,4	-19,4	11,8	8,9	-24,7	7,9	5,9	-24,7
Mayo	3,0	2,2	-25,8	5,0	3,7	-24,7	1,8	1,2	-34,4	11,9	8,8	-25,8	11,6	8,3	-28,3	8,5	5,8	-31,9
Junio	2,9	2,1	-25,8	4,8	3,6	-25,4	2,0	1,3	-35,8	14,4	9,3	-35,5	12,0	8,6	-28,3	9,1	5,5	-39,1
Julio	2,8	2,1	-25,8	4,7	3,5	-25,4	1,8	1,2	-34,8	12,4	8,6	-30,6	11,8	8,4	-28,3	8,4	5,1	-39,1
Agosto	3,8	2,8	-25,8	6,4	4,7	-25,4	2,5	1,6	-33,7	16,0	11,8	-25,8	16,0	11,5	-28,3	11,4	7,0	-39,1
Septiembre	8,5	6,6	-22,9	14,2	10,9	-23,7	4,5	3,2	-30,5	37,3	26,7	-28,3	27,7	23,8	-14,0	18,4	14,5	-21,1
Octubre	8,8	6,8	-22,9	15,0	11,7	-22,2	5,3	3,5	-33,0	33,4	25,8	-22,9	30,2	27,0	-10,4	20,6	17,0	-17,6
Noviembre	8,4	6,5	-22,9	13,7	10,7	-21,5	5,6	3,9	-30,1	32,0	24,6	-22,9	29,6	25,5	-14,0	18,6	16,0	-14,0
Diciembre	7,8	6,0	-23,3	12,6	9,9	-21,9	5,1	3,9	-23,3	40,1	33,1	-17,6	31,6	23,8	-24,7	19,4	15,3	-21,1

Tabla 6: Análisis de sensibilidad: Variación del consumo (expresado como porcentaje) a la inclusión de los % en dieta del intercoironal y las especies forrajeras del pastizal para cada una de las áreas ecológicas (Vaj) comparado con la consideración de un valor constante (Vsen). Los valores en las columnas Vaj y Vsen se encuentran expresados en kg MS*ha-1*mes-1.

	PSA			MMN			EMS			EMH			EF			CA		
	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%	Vaj	Vsen	%
Enero	3,4	4,9	40,8	6,1	8,3	37,0	2,4	3,1	29,9	14,4	20,0	38,9	14,4	18,0	25,0	9,9	13,1	33,3
Febrero	3,3	4,5	38,9	5,6	7,5	35,1	2,1	3,1	44,9	13,0	18,6	42,9	12,4	15,9	28,2	9,2	13,6	47,1
Marzo	3,1	4,2	35,1	5,6	7,5	35,1	2,1	3,0	38,9	17,3	20,3	17,6	12,3	16,2	31,6	7,6	12,5	63,9
Abril	2,9	4,0	40,8	5,2	7,1	37,0	1,8	2,9	66,7	11,6	16,6	42,9	11,8	14,9	26,6	7,9	10,9	38,9
Mayo	3,0	4,1	38,9	5,0	6,8	37,0	1,8	3,0	63,9	11,9	17,0	42,9	11,6	14,7	26,6	8,5	11,3	33,3
Junio	2,9	4,0	40,8	4,8	6,7	40,8	2,0	3,0	53,8	14,4	19,1	33,3	12,0	14,5	20,5	9,1	12,4	37,0
Julio	2,8	4,0	42,9	4,7	6,6	40,8	1,8	2,9	63,9	12,4	17,5	40,8	11,8	14,2	20,5	8,4	12,2	44,9
Agosto	3,8	5,4	42,9	6,4	9,0	40,8	2,5	3,9	58,7	16,0	22,2	38,9	16,0	19,3	20,5	11,4	16,6	44,9
Septiembre	8,5	10,5	23,5	14,2	17,8	25,0	4,5	7,6	66,7	37,3	46,6	25,0	27,7	32,6	17,6	18,4	26,0	40,8
Octubre	8,8	11,9	35,1	15,0	19,8	31,6	5,3	8,9	69,5	33,4	49,2	47,1	30,2	35,5	17,6	20,6	28,2	37,0
Noviembre	8,4	11,2	33,3	13,7	18,5	35,1	5,6	8,0	44,9	32,0	46,3	44,9	29,6	34,8	17,6	18,6	25,5	37,0
Diciembre	7,8	10,7	37,0	12,6	17,5	38,9	5,1	6,9	37,0	40,1	40,9	2,0	31,6	37,6	19,0	19,4	26,2	35,1

Validación del modelo

Como se puede observar en la Figura 4, el modelo logró un buen ajuste ($R^2=0,91$; $P<0,001$) en la estimación de los residuos de MS. El modelo mostró una ligera tendencia a sobreestimar los valores de residuos a la salida del invierno en comparación a los valores observados, promediando un 28%. La tendencia mencionada se incrementó cuando los valores de biomasa a la salida del invierno fueron menores a los $50 \text{ kg MS} \cdot \text{ha}^{-1}$.

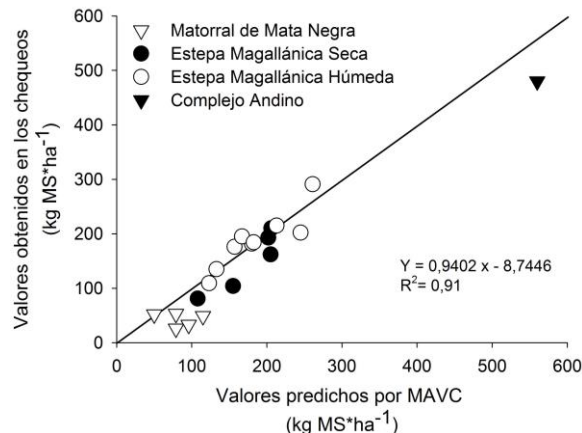


Figura 4: Valores observados versus predichos por MAVC de residuo forrajero a la salida del invierno en distintas áreas ecológicas de Santa Cruz y Tierra del Fuego. La línea representa la relación 1:1.

Comparación de cargas

La CAPro estimada usando la AFF y el modelo del presente trabajo para las distintas áreas ecológicas y los dos tipos de uso se muestran en la Tabla 7. Así, cuando se evalúa el uso del potrero de manera continua, se observa que para las áreas ecológicas menos productivas, las estimaciones del modelo son similares a los resultados obtenidos por AFF, mientras que para las áreas más productivas, las CAPro del MAVC resultaron ser notoriamente menores a las de AFF. En potreros con uso del tipo invernal y para las áreas ecológicas menos productivas las estimaciones del modelo resultaron ser claramente menores a los obtenidos mediante AFF. No obstante, las diferencias tienden a disminuir a medida que se incrementa DF. Para las áreas ecológicas de mayor productividad forrajera se observa el mismo comportamiento para disponibilidades bajas, pero las diferencias se mantienen por encima del 40% entre ambas formas de cálculo, siendo siempre inferiores las estimaciones obtenidas por el MAVC.

Tabla 7: Valores de capacidad de carga animal estimados (ovejas) mediante la aplicación de Asignación Fija de Forraje (AFF) (asignación 500 kg MS*oveja⁻¹*año⁻¹, valor recomendado en TME) y el Modelo de Asignación Variable de Carga (MAVC) para distintas disponibilidades forrajeras y áreas ecológicas. Todas las comparaciones se realizaron para un potrero modal de 2500 ha y un uso previo con 500 ovejas durante el año. Todos los cálculos están hechos para lograr un residuo de salida de 100 (PSA-MMN-EMS), 200 (EMH) y 300 (CA-EF) kg MS*ha⁻¹ manteniendo siempre el equilibrio de biomasa: biomasa final = biomasa inicial.

Tipo de uso	Disponibilidad enero (kg MS*ha ⁻¹)	CAPro AFF (cabezas/potrero)	CAPro MAVC (cabezas/potrero)					
			PSA	MMN	EMS	EMH	CA	EF
Continuo	100	500	400	670	260	-	-	-
	200	1000	1250	1150	1370	-	-	-
	300	1500	1745	1605	1780	-	-	-
	500	2500	-	-	-	1650	1012	1385
	1000	5000	-	-	-	2820	4370	2560
	1500	7500	-	-	-	4125	6428	3740
Invierno (May-Ago)	100	2419	600	1150	450	-	-	-
	200	4838	3785	5250	3850	-	-	-
	300	7257	7260	7300	7390	-	-	-
	500	12096	-	-	-	7050	2000	4930
	1000	24192	-	-	-	13112	13190	10900
	1500	36290	-	-	-	19150	24365	15900

Discusión

Uno de los principales aportes del MAVC es la posibilidad que brinda de integrar distintos aspectos del ambiente y del ganado que inciden en la estimación de la capacidad de carga animal por unidad de superficie. Con la utilización del modelo es posible evaluar simultáneamente una diversidad de situaciones de manejo (Aguilar y Cañas 1992). El modelo tal cual fue conceptualizado logró representar parte de la dinámica del sistema de manera aceptable, mediante distintas relaciones entre el ambiente y el componente animal.

Actualmente en las estimaciones tradicionales de capacidad de carga animal no se tienen en cuenta explícitamente algunas de las principales variables que intervienen en la determinación de la misma así como tampoco su dinámica durante el año. Esta situación podría conducir a errores importantes en la asignación de carga animal como quedó evidenciado en este trabajo.

Un aspecto importante fue la inclusión de curvas de crecimiento relativa mensual lo que permitió cuantificar la evolución de la disponibilidad de forraje a través del tiempo. Asimismo, la inclusión en el modelo de la composición de la dieta y la calidad del forraje (concentración energética) no solo convierte al modelo en una herramienta útil para un análisis integral del sistema, sino que también a través del análisis de sensibilidad se demostró su incidencia en las estimaciones del modelo (Beukes et al 2008).

El análisis de los sistemas de producción mediante el enfoque sistémico es una tendencia que se ha incrementado en los últimos tiempos (Aguar 2005). En este sentido el uso de modelos de

simulación es importante ya que permite un mayor entendimiento de los sistemas productivos mediante la evaluación y representación de una gran cantidad de variables simultáneamente y que definen las características de los mismos (Ruiz y Oregui 2001).

En este sentido, se han generado alrededor del mundo distintas clases de modelos, destinados al entendimiento del sistema, a la generación de estrategias de manejo o una mezcla de ambos (Tietjen y Jeltsch 2007). Los distintos modelos evalúan diferentes aspectos relacionados al consumo animal y la oferta forrajera. Por ejemplo, Aguilar y Cañas (1992) desarrollaron un modelo de consumo para vacas lecheras en pastoreo relacionado con la disponibilidad de forraje y mostró una alta correlación entre dichas variables. Díaz-Solís et al (2003) desarrollaron un modelo para estimar carga de vacunos en función de la variabilidad en las precipitaciones para áreas con características xéricas similares a las de este estudio. Este modelo es relativamente sencillo, aunque incorpora otras variables como condición de pastizal y características del suelo no contempladas en el modelo MACV. En Chile, Castellaro et al (2006) generaron y validaron un modelo para ovinos en pastoreo interrelacionando el crecimiento del pastizal, consumo y ganancia de peso. El modelo propuesto resulta ser un tanto más complejo debido a que contiene tres submodelos: balance hídrico a nivel del suelo, crecimiento-senescencia del pastizal y consumo-ganancia de peso en animales.

Si bien conceptualmente el modelo no resulta algo novedoso, ya que el enfoque de balance forrajero propuesto es similar a otros en Argentina, se considera una herramienta muy útil y adaptada a la zona para la asignación de carga en potreros, principalmente de uso invernal. Para la región es de fundamental importancia realizar un ajuste de carga para afrontar el uso sustentable de los pastizales, más teniendo en cuenta que Santa Cruz presenta en toda su superficie algún signo de desertificación (leve, moderada o grave) (Del Valle 1998) con pérdida de productividad de los sistemas (Consorcio DHV/Swedforest 1998). Cabe resaltar que el modelo del presente trabajo representa un avance sustancial respecto a la tecnología actual, incluyendo aspectos hasta la fecha no tenidos en cuenta como dieta del animal, calidad del pastizal y curvas temporales de crecimiento para seis áreas ecológicas.

En Patagonia Sur, se desarrolló un sistema de soporte de decisiones basado en una adaptación del modelo SAVANNA (Coughenour 1993) para la estepa magallánica con el objetivo de mejorar los porcentajes de señalada de modo ecológicamente sustentable. A pesar que el modelo permitió avances en el conocimiento del ecosistema tales como la dinámica de la población de tipos funcionales de la vegetación, distribución de raíces y relaciones hídricas, descomposición de materia orgánica y ciclado de nitrógeno, entre otros (Peri et al 2006), la alta complejidad de la parametrización hizo que el modelo no pudiera ser utilizado en forma práctica. Por esta razón se destaca que el modelo MACV desarrollado para Patagonia Sur en el presente trabajo ha logrado un balance entre complejidad y practicidad en la estimación de la capacidad de carga para seis áreas ecológicas.

El modelo presenta algunos aspectos a mejorar como la obtención de ecuaciones que representen la tasa mensual de desaparición de material senescente para cada área ecológica. Otro de los supuestos del modelo se basa en que los animales consumirán de acuerdo a sus requerimientos energéticos, lo cual no es necesariamente así, ya que existe evidencia que indica que los animales modificarán su conducta en pastoreo por diversos factores tales como la heterogeneidad de la vegetación, lo cual influirá en la selectividad que realice de las distintas comunidades y formas de vida, y por ende de las posibilidades de consumir en función de sus requerimientos (Senft et al 1987; Bailey et al 1996; Laca 2008).

En función de lo anterior se puede mencionar que el criterio para el ajuste de carga utilizado en el presente modelo constituye un cambio importante en la forma tradicional de realizar los cálculos de asignación de carga, lo que lo convierte en una herramienta sumamente útil para ser utilizada en las decisiones de manejo de los sistemas ganaderos de Patagonia Sur.

Referencias

Aguilar M R 2005 Biodiversity in grasslands: current changes and scenarios for the future. En: Reynolds S G y Frame J (Eds) Grasslands: Developments, Opportunities, Perspectives. United Nations Food and Agriculture Organization and Science Publishers Inc. pp. 261-280.

<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/climate/aguiar/aguiar.pdf>

Aguilar C y Cañas R 1992 Simulación en sistemas: aplicaciones en producción animal. En: Ruiz M (Ed) Simulación de sistemas pecuarios. IICA-RISPAL, San José, Costa Rica. pp. 195-284. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8537e/A8537e.pdf>

Albin S 1997 Building a System Dynamics Model, Part 1: Conceptualization. Massachusetts Institute of Technology. 34 p. <http://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-988-system-dynamics-self-study-fall-1998-spring-1999/readings/building.pdf>

Anchorena J, Cingolani A, Livraghi E, Collantes M and Stofella S 2001 Manejo del pastoreo de ovejas en Tierra del Fuego. CONICET-INTA. Buenos Aires. 47 pp.

Bahamonde H A 2011 Efectos de variables ambientales sobre la productividad primaria neta aérea y la concentración de proteína bruta de gramíneas en sistemas silvopastoriles de ñire (*Nothofagus antarctica*): creación de un modelo de simulación. Tesis Magister de la Universidad de Buenos Aires (UBA). 148 pp.

<http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2011bahamondehectoralejandro.pdf>

Bahamonde H, Peri P L, Álvarez R y Barneix A 2012 Producción y calidad de gramíneas en un gradiente de calidades de sitio y coberturas en bosques de *Nothofagus antarctica* (*G. Forster*) *Oerts*. en Patagonia. Ecología Austral 22:62-73. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2012000100007&script=sci_arttext

Bailey D W, Gross J E, Laca E A, Rittenhouse L R, Coughenour M B, Swift D M y Sims P L 1996 Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. Journal of Range Management 49:386-400.

<https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/view/9140/8752>

Beukes P C, Palliser C C, Macdonald K A, Lancaster J A S, Levy G et al 2008 Evaluation of a whole-farm model for pasture-based dairy systems. Journal of Dairy Science 91:2353-2360.

<http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302%2808%2971185-8/pdf>

Bonino N y Pelliza-Sbriller A 1991 Comparación de las dietas del guanaco, ovino y bovino en Tierra del Fuego, Argentina. Turrialba 41:452-457.

Bonvissuto G, Somlo R, Lanciotti M, González A y Busso C 2008 Guías de condición para pastizales naturales de "Precordillera"; "Sierras y Mesetas" y "Monte Austral" de Patagonia.

INTA, Centro Regional Patagonia Norte, EEA-Bariloche. Argentina. Comunicación Técnica N°123. 48 pp.

Borrelli P 1999 Efecto de la intensidad de pastoreo sobre variables del sistema suelo-planta-animal y limitantes del pastizal para la producción ovina (1991-1977). En: El ensayo de pastoreo de Moy Aike Chico (1986-1999). Una experiencia compartida entre Estancia Moy Aike Chico y Estación Experimental Agropecuaria Santa Cruz. INTA, Río Gallegos, Santa Cruz.

Borrelli P 2001a Producción animal sobre pastizales naturales. En: Borrelli P y Oliva G (Eds) Ganadería sustentable en la Patagonia Austral. INTA-Centro Regional Patagonia Sur. pp. 129-160. http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-capitulotme_5.pdf

Borrelli P 2001b Planificación del pastoreo. En: Borrelli P y Oliva G (Eds) Ganadería sustentable en la Patagonia Austral. INTA-Centro Regional Patagonia Sur. pp. 183-196. http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-capitulotme_7.pdf

Borrelli P y Oliva G 2001 Evaluación de pastizales. En: Borrelli P y Oliva G (Eds) Ganadería sustentable en la Patagonia Austral. INTA-Centro Regional Patagonia Sur. pp. 161-182. http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-capitulotme_6.pdf

Castellaro G, Gompertz G, Aguilar C, Vera R y Allende R 2006 Interacción de dos modelos de simulación para la evaluación de sistemas de producción ovina en el Secano Mediterráneo de Chile. Ciencia e Investigación Agraria 33:41-49. <http://rcia.uc.cl/index.php/rcia/article/view/327/251>

Clifton G, Barría D y Culun V 2006 Determinación de la producción y calidad forrajera de la estepa magallánica. En: Peri P L (Ed) Desarrollo de un sistema de soporte de decisiones para mejorar porcentajes de señalada de modo ecológicamente sustentable en establecimientos de la estepa magallánica (Patagonia). INTA-Centro Regional Patagonia Sur, EEA-Santa Cruz. pp. 61-69.

Consorcio DHV/Swedforest 1998 Ecosistemas Desérticos Patagónicos: Informe Final. 111 pp.

Coughenour M B 1993 The SAVANNA landscape model - Documentation and User's Guide. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Ft Collins CO.

Defossé G E, Bertiller M B y Ares J O 1990 Above-ground phytomass dynamics in a grassland steppe of Patagonia, Argentina. Journal of Range Management 43:156-160. <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/viewFile/8464/8076>

Del Valle H F 1998 Patagonian soils: a regional synthesis. Ecología Austral 8:103-123. <http://www.ecologiaaustral.com.ar/files/8-2-3.pdf>

Díaz-Solís H, Kothmann M, Hamilton W y Grant W 2003 A simple ecological sustainability simulator (SESS) for stocking rate management on semiarid grazinglands. Agricultural Systems 76:655-680. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X01001159>

Elissalde N, Escobar J y Nakamatsu V 2002 Inventario y evaluación de pastizales naturales de la zona árida y semiárida de la Patagonia. INTA, Centro Regional Patagonia Sur, EEA-Chubut, Trelew. 45 pp.

http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_manual_evaluacion_pastizales_chubut.pdf

Ferrante D 2011 Distribución del agua en el suelo y su relación con la estructura radical y producción de biomasa de tres tipos funcionales, en un pastizal de la Estepa Magallánica Seca, Santa Cruz. Tesis Magister de la Universidad de Buenos Aires, Área Recursos Naturales, Facultad de Agronomía. 84 pp.

<http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2011ferrantedaniela.pdf>

Golluscio R A 2009 Receptividad ganadera: marco teórico y aplicaciones prácticas. *Ecología Austral* 19:215-232.

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2009000300005&script=sci_arttext

Golluscio R A, Botaro R, Rodano D, Garbulsky M, Bobadilla S 2009 Divergencias en la estimación de receptividad ganadera en el noroeste de la Patagonia: diferencias conceptuales y consecuencias prácticas. *Ecología Austral* 19:3-18.

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2009000100001

Hanley T A 1982 The nutritional basis for food selection by ungulates. *Journal of Range Management* 35:146-151.

<https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/viewFile/7293/6905>

Haresing, W 1989 Producción Ovina. Butterlows, London. 590 pp.

Hofman, R R 1988 Morphophysiological evolutionary adaptations of the ruminant digestive system. En: Dobson A (Ed) *Aspects of digestive physiology in ruminants*. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA. pp. 1-26.

Illius A W y Gordon I J 1993 Diet selection in mammalian herbivores: constraints and tactics. En: Hughes R N (Ed) *Diet selection: an interdisciplinary approach to foraging behavior*. Blackwell Scientific, Oxford. pp. 157-181.

Jobbágy E, Sala O y Paruelo J 2002 Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology* 83:307-319.

<http://en.agro.uba.ar/users/paruelo/Publicaciones/2003-2002-2001/Jobbagy%20E.G.,%20Sala%20O.E.%20y%20Paruelo%20J.M.%202002.%20Patterns%20and%20controls%20of%20primary%20production%20in%20the%20Patagonian%20steppe,%20a%20remote%20sensing%20approach.%20Ecology%2083.307-319.pdf>

Laca E A 2008 Foraging in a heterogeneous environment. En: Prins H T y Van Langevelde F (Eds) *Resource ecology: spatial and temporal dynamics of foraging*. Frontis Series, Wageningen, The Netherlands. pp. 81-100.

<http://library.wur.nl/ojs/index.php/frontis/article/viewFile/1540/1076>

Manero, A, Clifton G y Barría D 2006 Determinación de la dieta de ovinos para la parametrización del módulo animal del Modelo Savanna. En: Peri P L (Ed) *Desarrollo de un sistema de soporte de decisiones para mejorar porcentajes de señalada de modo ecológicamente*

sustentable en establecimientos de la estepa magallánica (Patagonia). INTA-Centro Regional Patagonia Sur, EEA-Santa Cruz. pp. 71-76.

Movia C P, Soriano A y León R J C 1987 La vegetación de la cuenca del río Santa Cruz (Provincia de Santa Cruz, Argentina). Darwiniana 28:9-78.

Monteith, J L 1972 Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. Journal of Applied Ecology 9:747-766.

https://www.unc.edu/courses/2007fall/geog/801/001/www/carbon/Monteith72_JApplEcol.pdf

Nakamatsu V, Escobar J y Elissalde N 2001 Evaluación forrajera de pastizales naturales de estepa en establecimientos ganaderos de la provincia del Chubut (Patagonia, Argentina), resultados de 10 años de trabajo. En: Cibils A (Ed) Resúmenes del taller de actualización sobre métodos de evaluación, monitoreo y recuperación de pastizales naturales patagónicos. FAO-INTA-INIA, Esquel. pp. 19-20.

NRC 1985 Nutrient requirements of sheep. 6th ed. Washington, DC: National Academy Press. 99 pp.

Noy-Meir I 1973 Desert ecosystems: environment and producers. Annual Review of Ecology and Systematics 4:25-51.

http://gisedu.colostate.edu/WebContent/nr505/2012_Projects/Team4/images/Noy-Meir1973.pdf

Odum E 1971 Fundamentals of ecology. Philadelphia: Saunders.

Odum E 1972 Ecología. Nueva Editorial Interamericana, 3 ed, México. 639 pp.

Ormaechea S 2012 Pastoreo estratégico de ambientes para mejorar la producción ovina en campos del ecotono bosque-estepa en Patagonia Sur. Tesis Magister en Recursos Naturales de la Universidad de Buenos Aires. 156 pp.

<http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2012ormaecheasebastian.pdf>

Paruelo J M y Golluscio R A 1994 Range assessment using remote sensing in Northwest Patagonia (Argentina). Journal of Range Management 47:498-502.

<https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/viewFile/8981/8593>

Paruelo J M, Golluscio R A, Guerschman J, Cesa A, Jouve V y Garbulsky M 2004 Regional scale relationships between ecosystem structure and functioning: the case of the Patagonian steppes. Global Ecology and Biogeography 13:385-395.

http://www.agro.uba.ar/users/garbulsk/pdfs/parueloetal_gcb2004.pdf

Peri P L, Sturzenbaum M V, Monelos L, Livraghi E, Christiansen R et al 2005

Productividad de sistemas silvopastoriles en bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) de Patagonia Austral. Actas III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Comisión Nuevas Tendencias Forestales. 10 pp (Presentación 11). Corrientes, 6-9 Septiembre 2005. (CD) ISSN 1669-6786.

https://www.researchgate.net/profile/Juan_Mayo2/publication/242623840_Productividad_de_sistemas_silvopastoriles_en_bosques_nativos_de_nire_Nothofagus_antarctica_de_Patagonia_Austral/links/541210e00cf2fa878ad39650.pdf

Peri P L, Peinetti R y Cibils A F 2006 Transferencia de los resultados y conclusiones generales. En: Peri P L (Ed) Desarrollo de un sistema de soporte de decisiones para mejorar porcentajes de señalada de modo ecológicamente sustentable en establecimientos de la estepa magallánica (Patagonia). INTA-Centro Regional Patagonia Sur, EEA-Santa Cruz. pp. 123-128.

Peri P L 2009 Método Ñirantal Sur -San Jorge: una herramienta para evaluar los pastizales naturales en bosques de ñire. Carpeta Técnica EEA INTA Santa Cruz, Sección 9. Producción Animal. Edición EEA Santa Cruz. pp. 33-38.

Peri P L y Bahamonde H 2012 Digestibilidad de gramíneas creciendo en bosques de ñire bajo uso silvopastoril. Actas II Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Santiago del Estero, Argentina. pp. 264-269.

Peri P L, Suárez D, Cipriotti P A, Rivera E, Ormaechea S y Sturzenbaum M V 2013 Determinación de la intensidad y error de muestreo para la evaluación de pastizales considerando diferentes escalas espaciales: Aportes para el método Santa Cruz. Publicación Técnica EEA INTA Santa Cruz. 34 pp. http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_informe_tcnico_eea_inta_santa_cruz_intensidad.pdf

Piñeiro G, Oesterheld M y Paruelo J 2006 Seasonal variation in aboveground production and radiation-use efficiency of temperate rangelands estimated through remote sensing. *Ecosystems* 9:357–373. http://www.agro.uba.ar/users/pineiro/Articulos/Pineiro_Ecosystems2006.pdf

Piñeiro G, Perelman S, Guerschman J P y Paruelo J M 2008. How to evaluate models: Observed vs. predicted or predicted vs. observed? *Ecological Modelling* 216:316-322. http://ac.els-cdn.com/S0304380008002305/1-s2.0-S0304380008002305-main.pdf?_tid=9af9ba88-d1b0-11e5-a052-00000aab0f02&acdnat=1455299395_2ac60bc11ce3804d2f7e16653e455d72

Posse G, Anchorena J y Collantes M 1996 Seasonal diets of sheep in the steppe region of Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Range Management* 49:24-30. <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/view/9080/8692>

Roig F, Anchorena J, Dollenz O, Faggi A y Mendez E 1985 Las comunidades vegetales de la Transecta Botánica de la Patagonia Austral. En: Boelcke O, Moore D y Roig F (Eds) *Transecta botánica de la Patagonia Austral*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Buenos Aires. pp. 350-519.

Ruiz R y Oregui L 2001 El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animal* 16:29-61. http://www.inia.es/gcontrec/pub/ruiz_1161096418109.pdf

Sala O E y Austin A T 2000 Methods of estimating aboveground net primary productivity. En: Sala O E, Jackson R B, Mooney H y Howarth R H (Eds) *Methods in Ecosystem Science*. Springer, New York. pp. 31-43.

Sala O E, Parton W J, Joyce L A y Lauenroth W K 1988 Primary production of the central grassland region of the United States. *Ecology* 69:40-45. <http://sala.lab.asu.edu/wp-content/uploads/018-sala.pdf>

Senft, R L, Coughenour M B, Bailey D W, Rittenhouse L R, Sala O E y Swift D M 1987 Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *BioScience* 11:789-799. <http://por.agro.uba.ar/users/sala/pdfs/015-senft.pdf>

Siffredi G y Becker G 2001 Guía de evaluación forrajera de campos para determinación de la carga animal. Taller de actualización sobre métodos de evaluación, monitoreo y recuperación de pastizales naturales patagónicos. IV Reunión del Grupo Regional Patagónico de Pastoreo, FAO. 31 pp.

Somlo R, Durañona C y Ortiz R 1985 Valor nutritivo de especies forrajeras patagónicas. *Revista Argentina de Producción Animal* 5:569-605.

Somlo R y Cohen L 1997 Tablas de valor nutritivo de especies forrajeras patagónicas 1-Cordillera-Precordillera. Comunicación Técnica N°5. INTA-EEA S.C. de Bariloche. 13 pp.

Somlo R; Pelliza A, Willems P, Nakamatsu V y Manero A 1997 Atlas dietario de herbívoros patagónicos. PRODESAR-INTA-FAO. 108 pp.

Soto J 2004 Clima. pp. 25-28. En: González L y Rial P (Eds) *Guía Geográfica Interactiva de Santa Cruz*. Capítulo completo en CD. Editorial Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. ISBN 987-521-117-6.

Suárez D 2007a Evaluación de mallines mediante el método Botanal ajustado a vegas de Patagonia Sur. Cartilla de Información Técnica. EEA INTA Santa Cruz. *Producción Animal*. pp. 27-32.

Suárez D 2007b Generación de información básica para el ajuste del método de evaluación de pastizales en la región “Matorral de Mata Negra”. El rol de *Junellia tridens* en la dieta de los ovinos. Informe final de beca. Agencia de Extensión Rural Río Gallegos. INTA-EEA Santa Cruz. 48 pp.

Tietjen B y Jeltsch F 2007 Semi-arid grazing systems and climate change: a survey of present modeling potential and future needs. *Journal of Applied Ecology* 44:425-434. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2007.01280.x/epdf>

Toothill J, Hargreaves J y Jones R 1978 Botanal: a comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. I. Field Sampling. CSIRO, Australia. Division of Tropical Crops and Pastures. *Tropical Agronomy Memorandum* N°8.

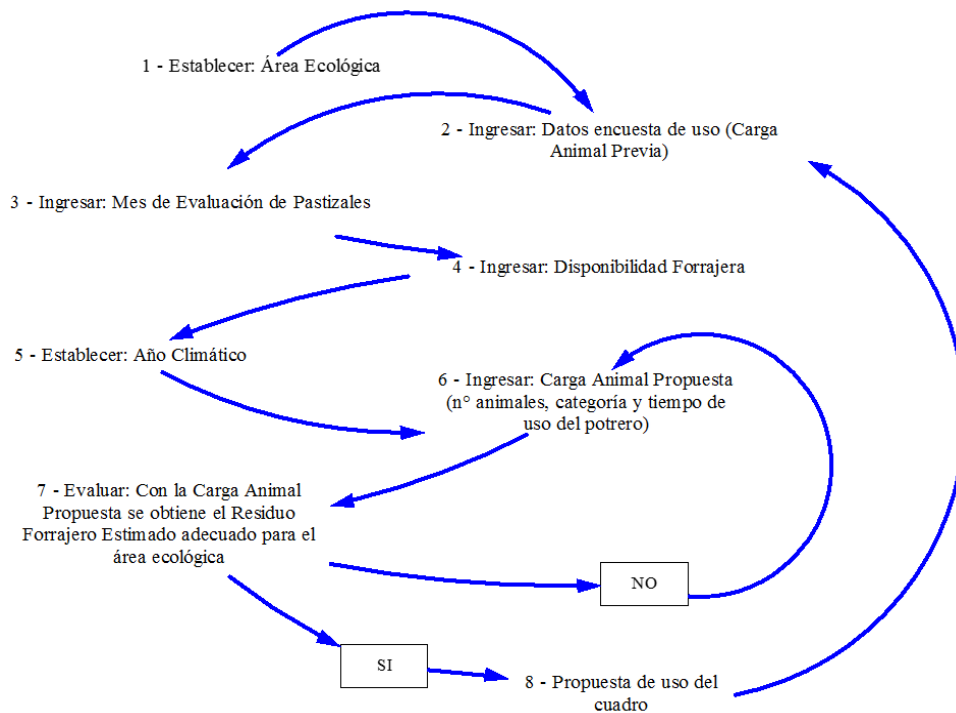
Vallentine J F 2001 *Grazing Management*. San Diego, CA: Academic Press. 659 pp.

Velez-Pareja I 2003 *Decisiones empresariales bajo riesgo e incertidumbre*. Bogotá, Colombia. 448 pp.

Wernli C, Doberti H, Schmitt J, Alonso O y Cerda D 1977 Estudios sobre el valor nutritivo de las praderas en Magallanes. Estación Experimental Kampenaike. La Platina. Boletín Técnico N°10. 54 pp.

Apéndice 1.

Esquema temporal de utilización del Modelo de Asignación Variable de Carga.



Pasos prácticos para el uso del modelo:

- 1- Se define el Área Ecológica donde se encuentra el potrero donde se realizará el ajuste de carga animal: (ej: Estepa Magallánica Seca).
- 2- Se ingresa la categoría y el número de animales que estuvieron en el potrero para cada uno de los meses (encuesta de uso) previo a la Evaluación de Pastizales.
- 3- Se ingresa el mes donde se realizó la evaluación de pastizales.
- 4- Se ingresa la Disponibilidad Forrajera del potrero.
- 5- Se establece el Año Climático.
- 6- Se ingresa la Carga Animal Propuesta (CAPro) que se estima utilizar en el potrero.
- 7- Se evalúa el Residuo Forrajero Estimado (RFE) por el MAVC.
- 8-
 - a) Si el RFE no satisface el criterio propuesto (umbral de salida) para el área ecológica, se debe regresar al punto 6 y ajustar el número y categoría animal y/o el tiempo de uso del potrero.
 - b) Si el RFE se encuentra dentro de los umbrales propuestos, la CAPro se convertirá en la carga animal ajustada para ser usada en el potrero.

Received 8 December 2015; Accepted 3 September 2016; Published 1 November 2016