

Interacción de dos modelos de simulación para la evaluación de sistemas de producción ovina en el Secano Mediterráneo de Chile

G. Castellaro, G. Gompertz, C. Aguilar¹, R. Vera y R. Allende

Departamento de Ciencias Animales
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal.
Pontificia Universidad Católica de Chile.
Casilla 306 - 22, Santiago.

Abstract

G. Castellaro, G. Gompertz, C. Aguilar, R. Vera and R. Allende. 2006. Interaction of two simulation models for the evaluation of sheep production systems in the Mediterranean type Region of Chile. Cien. Inv. Agr. 33(1): 47-56. Sheep production on the Mediterranean dry climate lands of Chile is characterized by its seasonality and extensive production system, with low use of purchased external productive inputs. The prevailing market conditions have determined an increasing tendency towards the use of specialized meat breeds. The production systems are strongly influenced by agroclimatic characteristics and by continuous need of management and profitability improvement. A simulation model was developed to assist decision-making be used as a tool for supporting management decision-making that and to allows the evaluation of different production alternatives. The model considers three components: i) soil water balance, considering the water available to be used by herbaceous strata in the first 40 cm of soil; ii) grassland's growth and senescence, where the potential and real growth of the herbaceous strata is determined by the effect of climatic variables, availability of photosynthetic materials and soil humidity; and iii) animal intake and live-weight changes, which determines the actual dry matter intake with or without the use of supplements and its relation to lamb's live-weight changes. The interrelation between animal performance and forage growth was built taking into account the effect of grazing and animal stocking rate over forage growth. The model was validated comparing data obtained by simulation with experimental data, achieving a good prediction ($p < 0.05$).

Key words: Grassland simulation models, mediterranean dry land, sheep production.

Introducción

En la zona del secano mediterráneo de las Regiones VI y VII de Chile, uno de los pocos rubros productivos pecuarios que se puede realizar es la explotación ovina. En dicha zona, se encuentran aproximadamente un 10,5% de la masa total de ovinos del país, predominando las razas Merino Precoz, Suffolk Down y Hampshire, además de cruzamientos de éstas con carneros Dorset o Border, lo que representa aproximadamente una masa de 387.831

animales (INE, 1997). El recurso forrajero más importante lo constituyen los espinales. Esta formación vegetal es definida como una "pseudosabana" en la cual son claramente diferenciables dos estratos, una de tipo arbustivo, dominada por *Acacia caven* Mol. (espino) y un estrato herbáceo, compuesto principalmente por gramíneas anuales de crecimiento invernal (terófitas). Destacan entre estas últimas, especies pertenecientes a los géneros *Avena*, *Aira*, *Bromus*, *Hordeum*, *Vulpia* y *Lolium*. También son comunes en el estrato herbáceo, especies de la familia *Compositae*, en especial de los géneros *Hypochaeris*, *Cynara* y *Carthamus*, además de especies de la familia *Fabaceae*

(leguminosas) subfamilia *Papilionoideae*, pertenecientes a los géneros *Medicago* y *Trifolium*, principalmente (Castellaro *et al.*, 1994). Ambos estratos presentan evidencias de alta intervención, ya que contribuyen fundamentalmente a la alimentación de animales herbívoros domésticos y silvestres, el cultivo intensivo de cereales, como también a la extracción de leña.

La principal limitante para el crecimiento del estrato herbáceo lo constituye la disponibilidad hídrica en los primeros 30 a 40 cm de suelo (Santibáñez *et al.*, 1976). En este espacio se concentra la mayor densidad de raíces. Debido al régimen pluviométrico del sector, se producen grandes fluctuaciones tanto interanuales como intraanuales en esta variable. Los pastizales (que incluye a las praderas) de la zona antes indicada, son en general de baja cobertura. Lo anterior, unido a una baja capacidad de retención de humedad de los suelos, hace que las pérdidas por evaporación directa desde el suelo desnudo ocupen una alta proporción dentro de la evapotranspiración total (Acuña, 1978).

El crecimiento de las especies anuales comienza con las primeras lluvias de otoño, alcanzando su máxima tasa en los meses de agosto y septiembre. A fines de septiembre entran en un acelerado proceso de senescencia, lo que coincide con la formación de semillas y su posterior maduración. La producción de materia seca anual es variable, según sea el mayor o menor grado de déficit hídrico durante la temporada. Se estima que la acumulación de materia seca (MS) de esta pradera no superaría los 800 a 1.200 kg·ha⁻¹ en años normales. La baja fertilidad natural de estos suelos, acentúa aun más los bajos rendimientos en este tipo de pastizales (Ovalle y Squella, 1996). El valor nutricional de estos pastizales presenta una fuerte variación a lo largo del año. Cuando la pradera inicia su ciclo de crecimiento, la proteína y la digestibilidad de la MS alcanzan valores en promedio de 16 y 65%, respectivamente. Estas cifras decrecen linealmente en la medida que las plantas maduran, estabilizándose en el orden de 3 y 40%, cuando la pradera está completamente senescente. La concentración energética de estos pastizales también presenta

fluctuaciones importantes. Cuando la pradera presenta los valores más altos de digestibilidad, esta concentración es de alrededor 9,8 MJ·kg⁻¹, siendo de solo 6,0 MJ·kg⁻¹, cuando el pastizal se seca completamente (Castellaro, 1988).

Los sistemas de producción ovina predominantes de la zona son de tipo extensivos, siendo la carga animal promedio del orden de 1,0 equivalentes ovinos·ha⁻¹·año⁻¹. La producción media de carne es de 30,0 kg de peso vivo·ha⁻¹·año⁻¹ y la de lana es de 1,8 kg·ha⁻¹·año⁻¹ (Crempien, 1996).

En la mayoría de los escenarios productivos de la zona, la toma de decisiones de manejo, se ha basado tradicionalmente en el criterio adquirido a través del tiempo, donde existe poco o nulo apoyo de información sistematizada. El uso racional de los recursos disponibles comprende la generación y análisis de información del sistema en cuestión mediante herramientas de apoyo a la toma de decisiones, las cuales están disponibles en el mercado. Como ejemplo pueden citarse los software desarrollados por el Departamento de Ciencias Animales de la Pontificia Universidad Católica de Chile orientados a la formulación de dietas de costo mínimo y varios modelos de simulación de sistemas pecuarios (Aguilar *et al.*, 2003). Dichos modelos requieren del uso del computador lo que genera ventajas como elevado número de operaciones, mayor velocidad de cálculo y de respuesta y exactitud en la respuesta (Maroto *et al.*, 1997). Están basados en características como manejo de base de datos de registros, modelos de optimización, modelos matemáticos y modelos de simulación (Aguilar, 1997).

Uno de los enfoques planteados como base para estas herramientas es el enfoque de sistemas, entendiéndose con ello un enfoque que permite analizar y evaluar los escenarios productivos mediante la utilización de modelos matemáticos y de simulación. Actualmente, existen modelos que simulan la respuesta de animales a pastoreo mediante la utilización de valores medios mensuales de tasas de crecimiento y digestibilidad de los pastizales. Generalmente esta información es escasa y difícil de conseguir, lo que limita su uso como una herramienta que

permita predecir el consumo de materia seca y el cambio de peso vivo de los animales con una buena precisión (Castellaro, 2003). El comportamiento de animales a pastoreo se ha simulado generalmente con datos experimentales o funciones empíricas obtenidos en centros experimentales o en estudios específicos (Bernues *et al.*, 1995; Finlayson *et al.*, 1995; Aguilar *et al.*, 2000).

El modelo que se propone, en cambio, permite generar diariamente, a partir de variables edafoclimáticas, las tasas de crecimiento y la digestibilidad de los pastizales en una zona determinada. Al utilizar un modelo dinámico de crecimiento de praderas, existe la posibilidad de estudiar y evaluar diferentes combinaciones de clima, suelo y el efecto de los animales sobre el pastizal, proporcionando un mayor rango de respuestas productivas, otorgando así una mayor flexibilidad y generalidad a los modelos de producción de sistemas pastoriles.

El estudio que se presenta tuvo como objetivo principal la elaboración y validación de un modelo de simulación que permita generar información útil para una mejor y más acertada toma de decisiones en el manejo de sistemas ovinos en el secano mediterráneo de Chile.

Materiales y métodos

El modelo en su conjunto, está dividido en dos niveles de organización. El primero de ellos está en relación con la información que alimenta al modelo, su procesamiento y la elaboración de archivos de resultados. En un segundo nivel se ubican los aspectos biológicos, para los cuales se hizo uso de tres submodelos: balance hídrico; crecimiento y senescencia de la pradera; consumo y cambio de peso de los animales.

Para simular el crecimiento de las praderas, se utilizó el modelo de pastizales anuales elaborado y validado para las condiciones del secano mediterráneo subhúmedo de Chile (Castellaro y Squella, 1998). El modelo de consumo y ganancia de peso de los animales (corderos) se basó en la metodología propuesta por Aguilar (1997). Para interrelacionar ambos modelos, se simuló el consumo voluntario de los animales que afecta tanto el área foliar capaz de captar

la radiación solar incidente como la biomasa total existente en el lugar. Se describen las principales relaciones de los tres submodelos mencionados.

Submodelo balance hídrico

El balance hídrico se realizó en un solo estrato de suelo (0 - 40 cm), donde supuestamente se concentra la mayor proporción de raíces. Se consideraron los aportes de la precipitación (PP, mm-día⁻¹), las pérdidas por evapotranspiración (ETR, mm-día⁻¹), y el exceso de agua del estrato por drenaje y escurrimiento superficial (EXCESO, mm-día⁻¹). La ETR se calculó en función de la evapotranspiración potencial (ETP, mm-día⁻¹), variable que depende de la temperatura media diaria (TMD, °C), de un coeficiente Kp (cuyo valor fue igual a 0,85 para pasturas de mixtas) y del día juliano (White *et al.*, 1983):

$$ETP = Kp \cdot 6,24 \cdot TMD \cdot (1 - e^{-0,003 \cdot TMD}) \cdot (1 - 0,26 \cdot \text{Sen}(\text{día juliano} - 33)) \quad (1)$$

Este valor fue ajustado por la variable COB, la cual representa el grado de cobertura de la MS existente en la pradera y es función de la MS verde presente en esta (MS_v, kg·ha⁻¹).

$$COB = 1 - 0,6 \cdot e^{-3 \cdot \frac{MS_v}{2500}} \quad (2)$$

Posteriormente, el valor así obtenido, se modificó de acuerdo con el contenido relativo de agua del estrato (SMAF), el cual se determinó en función del contenido de agua del estrato (HS, mm), las constantes hídricas capacidad de campo (CC, %) y el punto de marchitez permanente (PMP, %):

$$SMF = \frac{HS - PMP}{CC - PMP} \quad 0 \leq SMAF \leq 1 \quad (3)$$

En función de la variable SMAF y tomando en cuenta la sensibilidad de la pradera al estrés hídrico (coeficiente P, cuyo valor se supuso igual a 0,5), se calculó un multiplicador, denominado FRET DH, que reflejó dicho estrés sobre el crecimiento del estrato herbáceo:

$$FRET DH = \frac{SMAF}{P} \quad 0 \leq FRET DH \leq 1 \quad (4)$$

Tomando en cuenta los aspectos antes indicados, la evapotranspiración real de la pradera, se

calculó mediante la siguiente expresión:

$$ETR = ETP \cdot COB \cdot FRET DH \quad (5)$$

El exceso de agua del perfil del suelo se calculó como la diferencia entre el agua del estrato y la capacidad de campo.

Submodelo crecimiento y senescencia de la pradera

El modelo de simulación elaborado basa los aspectos de crecimiento y senescencia en las ecuaciones propuestas por White *et al.* (1983). Algunas de las ecuaciones y parámetros fueron modificadas de acuerdo a información proporcionada por Castellaro (1988) y Smith y Williams (1973). En su primera versión, el modelo supuso un adecuado aporte de nutrientes, siendo las variables climáticas (temperatura, radiación y precipitaciones), la disponibilidad de material fotosintético y la humedad de suelo, las principales limitantes para el crecimiento de la pradera.

La tasa de crecimiento potencial de la pradera (TCP , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$), se calculó en función de un crecimiento potencial máximo (TCP_{max} , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$), de la radiación solar global (RSG , $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) y de una función de temperatura ($FTEMP$), que dependió de la temperatura media diaria TMD , ($^{\circ}\text{C}$):

$$TCP = TCP_{\text{MAX}} \cdot (1 - e^{-0,06463 \cdot RSG}) \cdot FTEMP \quad (6)$$

La función $FTEMP$ operó como un multiplicador (valores entre 0 y 1), y fue calculada basándose en los datos presentados por White *et al.* (1983), restringiendo fuertemente el crecimiento de la pradera cuando la temperatura media del aire bajó de los 10°C , pero tendiendo a un valor asintótico igual a la unidad cuando la temperatura media superó los 12°C .

$$FTEMP = \frac{1}{1 + 17363,9 \cdot e^{-1,22039 \cdot TMD}} \quad (7)$$

De acuerdo con la TCP y considerando el efecto de la disponibilidad de MS fotosintetizante presente en la pradera, (MS_v , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) se calculó el crecimiento máximo, el cual posteriormente se ajustó por un coeficiente denominado $ALFA$, el cual reflejó el grado de restricción hídrica que

afectó a la pradera y se calculó como el cociente entre la evapotranspiración real respecto de la evapotranspiración potencial ($ALFA = ETR/ETP$). Considerando los aspectos, anteriores el crecimiento real de la pradera (TCR , $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$), se calculó con la ecuación siguiente:

$$TCR = A \cdot (e^{-C \cdot MS_v}) \cdot MS_v \cdot ALFA \quad (8)$$

En la ecuación anterior, A y C son coeficientes que dependieron de la tasa de crecimiento potencial de la pradera (TCP) y reflejaron la interacción entre la radiación solar incidente y la capacidad de intercepción de la misma por parte del material fotosintetizante. La constante e , fue la base de los logaritmos naturales (White *et al.*; 1983):

$$A = TCP \cdot e \cdot C \quad (9)$$

$$C = \frac{1}{350 + 33 \cdot TCP} \quad (10)$$

El proceso de senescencia ($TSEN$, $\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) generó un flujo diario de MS_v , que se transformó en material muerto (MS_m , $\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$). Éste estuvo compuesto por dos efectos: una senescencia debida al estrés hídrico (TGD_1 , día^{-1}), la cual fue dependiente del nivel relativo de agua en el suelo ($SMAF$, ver Ec. 2), así como una senescencia fisiológica natural, propia de especies anuales (TGD_2 , día^{-1}). Ambos procesos operan a partir del día juliano 270 (finales de septiembre, para el hemisferio sur), fecha en la cual se estimó el comienzo de la floración de las especies anuales, y hasta que la pradera concluyó su ciclo, lo que generalmente ocurre a mediados del mes de diciembre, en pastizales mediterráneos dominados por especies anuales (Ovalle y Squella, 1996). Previo a la fecha de floración, se produce senescencia, la cual es básicamente debida al sombreadamiento producido por la MS presente en la pradera (TGD_3 , día^{-1}). Las variables anteriores quedaron definidas por las siguientes ecuaciones:

$$TSEN = MS_v \cdot (TGD_1 + TGD_2 + TGD_3) \cdot 0,001 \quad (11)$$

donde,

$$TGD_1 = 3 + 80 \cdot e^{-4,5 \cdot SMAF} \quad (12)$$

$$TGD_2 = 0,05 \cdot \left(\frac{\text{diajuliano} - 270}{7} \right)^3 \quad (13)$$

$$TGD_3 = 0,0021 \cdot (MS_v + MS_m) - 1,56 \quad (14)$$

La MS_m estuvo afectada además, por un proceso de pérdida natural ($PERD$, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$), el cual se supuso constante e igual a un 3% diario. La evolución en la digestibilidad de la pradera, fue simulada, considerando un valor de 75 y 50% para la MS_v y la MS_m presente en la cubierta vegetal herbácea.

Conocidas las tasas de crecimiento, senescencia, pérdida y el consumo individual de MS verde ($CONR_v$, $\text{kg}\cdot\text{día}^{-1}$) y muerta ($CONR_m$, $\text{kg}\cdot\text{día}^{-1}$), efectuada por los ovinos en pastoreo, así como la carga animal (CA , $\text{corderos}\cdot\text{ha}^{-1}$), diariamente se fue actualizando los niveles de MS_v y MS_m , mediante un proceso de integración numérica:

$$MS_v = MS_v + TCR - TSEN - CONR_v \cdot CA \quad (15)$$

$$MS_m = MS_m + TSEN - CONR_m \cdot CA - PERD \quad (16)$$

Submodelo consumo y ganancia de peso de los animales. El desarrollo del algoritmo que determina el consumo y la ganancia de peso en corderos, se basó en la ecuación propuesta por AFRC (1993) para determinar el consumo potencial de corderos a pastoreo que fueron suplementados durante una época de su vida. El consumo potencial ($Cpot$, $\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) se definió como el máximo consumo que pueden lograr los animales si los factores que determinaron ese consumo así lo permitieron, el cual fue función del peso vivo de los corderos (W , kg):

$$Cpot = 90 \cdot (W^{0.75})/1000 \quad (17)$$

En pastoreo, el consumo se ve afectado tanto por la disponibilidad como la digestibilidad del forraje ofrecido o utilizado por los animales. Aguilar *et al.* (2003) definieron dos factores relativos que afectan al consumo potencial, como son el factor por disponibilidad de alimento o forraje ($fdisp$) y el factor por digestibilidad del alimento o forraje ($fdigest$). A esto denominó consumo voluntario (CVO , $\text{kg}\cdot\text{animal}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$):

$$CVO = Cpot \cdot fdisp \cdot fdigest \quad (18)$$

En la ecuación anterior, $fdisp$ y $fdigest$, que fluctúan entre cero y uno, fueron definidos por las siguientes ecuaciones:

$$fdisp = 1 - e^{(-0,0028 \cdot DD)} \quad (19)$$

$$fdigest = (0,01675 \cdot dgc) - 0,34 \quad (20)$$

donde DD representa la disponibilidad total de forraje (verde y muerto) presente en la pastura ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y dgc la digestibilidad del forraje consumido (%).

Como se deseó simular el comportamiento animal en condiciones de secano, existió una alta probabilidad, que por condiciones de poca pluviométrica, existiera un bajo o nulo crecimiento de forraje, lo que influiría sobre la ganancia o pérdida de peso de los corderos. En casos de excesiva pérdida de peso, los animales no son capaces de soportar esta situación, lo que puede llegar a producirles la muerte. Para tomar en cuenta este factor, se utilizó la variable $Wmax$ (kg), propuesta por CSIRO (1990), que permitió conocer el máximo peso alcanzado por el animal. Se aceptó una disminución de hasta un 22% respecto del máximo peso alcanzado, relacionado con la máxima capacidad que poseen los animales de movilizar su tejido corporal, en especial de proteína, el que puede ser de hasta un 14% como máximo (Orskov, 1982). Cuando se alcanza este valor, denominado $PPcrit$ (kg), el programa termina su ciclo de simulación y entrega un mensaje que señala la muerte de los animales y el término de la simulación. La variable $PPcrit$ es función de $Wmax$, según lo indicado en la ecuación 21:

$$PPcrit = Wmax \cdot 0,78 \quad (21)$$

El cambio de peso se determinó únicamente de acuerdo a los requerimientos energéticos de los animales. El consumo de energía metabolizable estuvo determinado por el consumo de forraje y la energía metabolizable que aportó el forraje y, en el caso que se utilizó suplemento en la dieta, se agregó la energía aportada por el concentrado o suplemento consumido. Para determinar el consumo de forraje y el efecto ya sea sustitutivo o aditivo del suplemento, se utilizaron las relaciones propuestas por Aguilar *et al.* (2003) sobre el consumo de suplemento y su efecto sobre el consumo total de alimento, donde el grado de sustitución es proporcional a la digestibilidad del forraje ofrecido (dgo , %):

$$CF = 1,27 - 0,0154 \cdot dgo \quad (22)$$

donde CF representa el efecto aditivo neto en el consumo de MS por cada kg de suplemento consumido.

El efecto complementario del suplemento (DI , kg-día^{-1}) se estimó mediante:

$$DI = C_{pot} - CVO \quad (23)$$

Cuando la disponibilidad de MS de la pradera

fue limitante ($fdisp < 0,984$), se comparó el efecto complementario del suplemento con la cantidad de suplemento ofrecido diariamente a cada cordero (Cc , $\text{kg-ovino}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$).

Si DI es menor que Cc , el efecto aditivo neto (EA , kg-día^{-1}) y el efecto sustitutivo neto del suplemento (ES , kg-día^{-1}) se estima mediante:

$$EA = (Cc - DI) \cdot CF \quad (24)$$

$$ES = (Cc - DI) \cdot (1 - CF) \quad (25)$$

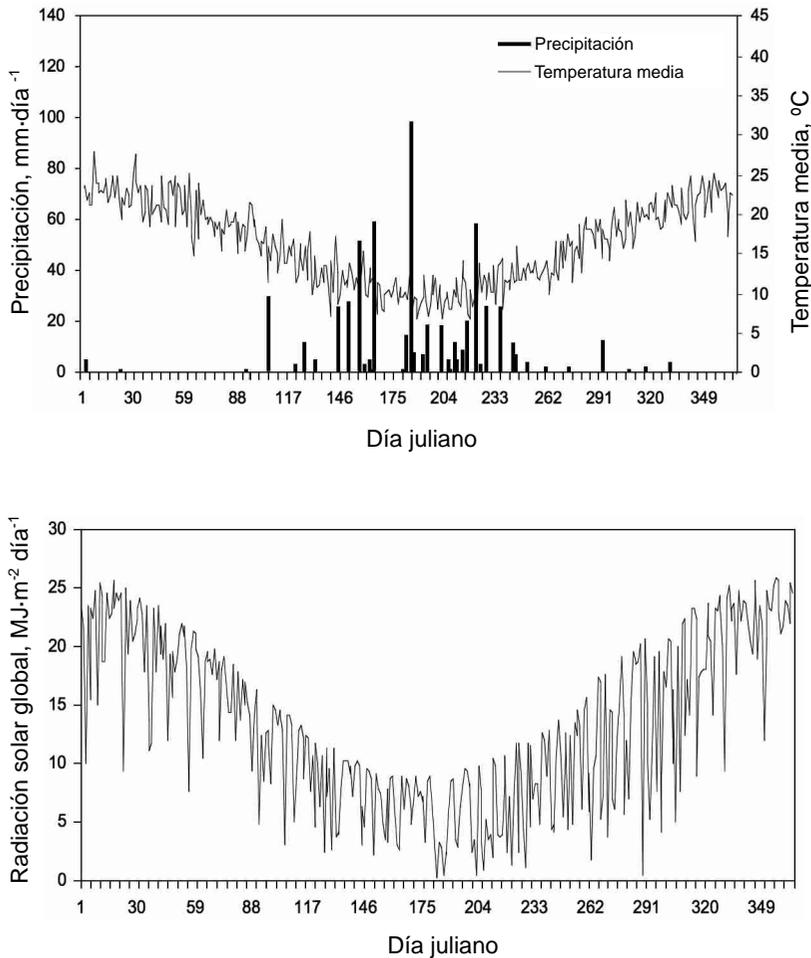


Figura 1. Datos climatológicos utilizados en la simulación del crecimiento y balance hídrico de la pastura: A. Temperatura media diaria y precipitación. B. Radiación solar global. Cauquenes, 1989. (Fuente: Datos meteorológicos, Estación Experimental Cauquenes, INIA 1989)

Figure 1. Climatological data used in grassland growth and water balance simulation: A. Daily mean temperature and rainfall. B. Global solar radiation. Cauquenes, 1989 (Source: Meteorological data, Cauquenes Experimental Station, INIA, 1989)

Tomando en cuenta las ecuaciones anteriores, se calculó el consumo real de forraje (CR_{forr} , $\text{kg}\cdot\text{ovino}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) y el consumo total de MS ($CTMS$, $\text{kg}\cdot\text{ovino}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$):

$$CR_{forr} = CVO - ES \quad (26)$$

$$CTMS = CR_{forr} + Cc \quad (27)$$

En el caso que DI sea mayor que Cc , los efectos aditivo y sustitutivo neto son iguales a cero, y en este caso, las ecuaciones N° 26 y 27 toman la siguiente forma:

$$CR_{forr} = CVO \quad (28)$$

$$CTMS = CVO + Cc \quad (29)$$

Si la disponibilidad de MS de la pradera no es limitante ($fdisp > 0,984$), al igual que en el caso anterior, se compara el efecto complementario del suplemento con la cantidad de suplemento ofrecido (Cc , $\text{kg}\cdot\text{día}^{-1}$).

Si DI es menor que Cc , el efecto aditivo neto (EA , $\text{kg}\cdot\text{día}^{-1}$) y el efecto sustitutivo neto del suplemento (ES , $\text{kg}\cdot\text{día}^{-1}$) quedan definidos por:

$$EA = Cc \cdot CF \quad (30)$$

$$ES = Cc \cdot (1 - CF) \quad (31)$$

y en este caso, CR_{forr} y $CTMS$ son calculados con las ecuaciones N°26 y 27, respectivamente.

En la condición de que DI sea mayor que Cc , los efectos aditivo y sustitutivo neto son iguales a cero, y CR_{forr} y $CTMS$, son calculados con las ecuaciones N°28 y 29, respectivamente.

El consumo total de energía metabolizable (CEM , $\text{Mcal}\cdot\text{día}^{-1}$) se estimó con las proporciones de forraje y suplemento presentes en la dieta y sus respectivas concentraciones energéticas.

Finalmente, se estimó un balance de energía metabolizable, que es igual al consumo menos el requerimiento de mantención y el costo de cosecha. Este balance se multiplicó por la eficiencia de utilización de la energía

metabolizable y el cambio de peso vivo se obtuvo dividiéndolo por el valor calórico del cambio de peso (Aguilar *et al.*, 2003).

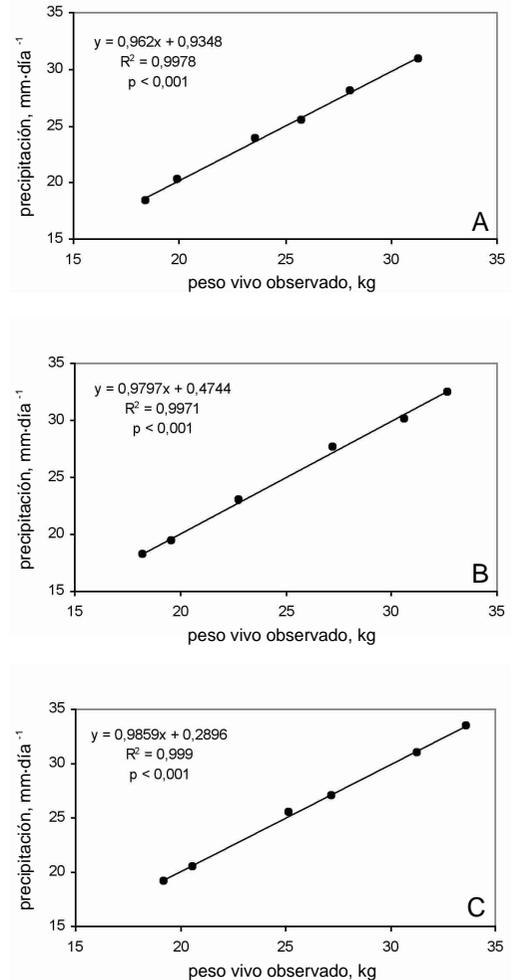


Figura 2. Validación del modelo. Cambios de pesos simulados versus datos observado en tres tratamientos de pastoreo: A. Tratamiento 1: 32,7 corderos·ha⁻¹. B. Tratamiento 2: 24,3 corderos·ha⁻¹, y C. Tratamiento 3: 16,1 corderos·ha⁻¹. Fuente: Avendaño y Ovalle (1989).

Figure 2. Model validation, simulated versus observed Liveweight changes in tree grazing treatments: A. Treatment 1: 32.7 lambs·ha⁻¹). B. Treatment 2: 24.3 lambs·ha⁻¹) and C. Treatment 3: 16.1 lambs·ha⁻¹). Source: Avendaño y Ovalle (1989).

Validación

La validación del sistema clima-suelo-pradera y consumo-ganancia de peso de los corderos, fue realizada utilizando el experimento de engorda de corderos en condiciones de pastoreo,

realizado por Avendaño y Ovalle (1989), que utilizó una pastura de trébol subterráneo - falaris - ballica anual, pastoreada por ovinos de la raza Suffolk Down, evaluando tres valores de carga animal: 32,7 corderos·ha⁻¹ (tratamiento 1); 24,3 corderos·ha⁻¹ (tratamiento 2) y 16,1 corderos·ha⁻¹ (tratamiento 3). Para simular el crecimiento de la pastura, se consideró una tasa potencial de 200 kg·ha⁻¹·día⁻¹, ($TCP_{max} = 200$) para representar el incremento en la fitomasa de este tipo de pastizales (van Keulen y Wolf, 1986).

Las constantes hídricas para los primeros 40 cm del perfil de suelo, cuya textura es de tipo arcillo-limosa, fueron de 30,3% y 17,0%, para la capacidad de campo (CC , % peso-peso⁻¹), punto de marchitez permanente (PMP , % peso-peso⁻¹), respectivamente. Para la densidad aparente del suelo, se asignó un valor de 1,38 g·cm⁻³ (Ovalle, 1986). Los datos climáticos utilizados para simular el crecimiento y balance hídrico de la pastura, se presentan en la Figura 1.

La bondad de ajuste de los modelos fue evaluada a través del cálculo de mínimos cuadrados para un modelo lineal entre los valores observados (X) y los valores simulados (Y) (Shannon, 1988). Los parámetros de las ecuaciones obtenidas, fueron evaluados planteando pruebas de hipótesis para el intercepto ($H_0: a = 0$) y la pendiente ($H_0: b = 1$) mediante la prueba "t" de Student, con un valor $P < 0,05$ (Steel y Torrie, 1988).

Resultados y Discusión

En la Figura 2, se presentan los valores reales y simulados, de peso vivo de los corderos, para cada uno de los experimentos con diferentes presiones de pastoreo, de acuerdo con el experimento de Avendaño y Ovalle (1989),

Al efectuar la regresión de los valores reales y simulados, se desprendió que este modelo explicó en un 99% la variación en el cambio de peso de los corderos frente a distintas cargas animales. La pendiente y el intercepto de las ecuaciones de regresión obtenidas, no resultaron significativamente diferentes de uno y cero,

respectivamente ($p > 0,05$), lo que indicó un comportamiento satisfactorio del modelo para predecir la evolución del peso vivo de los animales en pastoreo.

Conclusiones

La integración e interacción de dos modelos de simulación, uno de praderas y otro de comportamiento animal, permitió predecir con buena precisión la producción de corderos a pastoreo. Con este modelo sería posible integrar la simulación de los procesos de la producción primaria (pradera) con los procesos de producción secundaria (aumento de peso en animales) con el objetivo de generar, procesar y analizar información que permita una toma de decisiones más informada del sistema productivo completo. Al incluir la simulación dinámica del subsistema clima-suelo-pradera, sería posible dar un mayor realismo y flexibilidad a los modelos de producción secundaria, permitiendo una mayor independencia frente a la disponibilidad de datos empíricos de crecimiento y calidad de las praderas.

Resumen

La producción ovina en el secano mediterráneo de Chile se caracteriza por su estacionalidad y por sistemas productivos extensivos, con bajo uso de insumos productivos. Los sistemas productivos están influenciados por la continua necesidad de mejorar la gestión y rentabilidad en este negocio y por características agroclimatológicas. Se observa una tendencia hacia el uso de razas carniceras debido a las condiciones de mercado. Se desarrolló un modelo de simulación como herramienta de apoyo a la toma de decisiones de manejo, que permitió evaluar diferentes alternativas productivas. El modelo consideró los siguientes componentes: i) balance hídrico, que consideró el agua disponible para ser utilizada por la estrato herbáceo en los primeros 40 cm. de suelo; ii) crecimiento y senescencia de la pradera, donde se determinó el crecimiento potencial y real de la estrato herbáceo de acuerdo a variables climáticas, disponibilidad de material fotosintético y humedad del suelo; iii) consumo y ganancia

de peso, que determinó el consumo real de materia seca y la ganancia de peso de los corderos, con o sin uso de suplementos. La interrelación entre el comportamiento animal y crecimiento del forraje se realizó considerando el efecto del pastoreo y la carga animal sobre el crecimiento de éste. El modelo se validó contrastando los datos simulados con datos experimentales, lográndose una buena predicción ($p < 0,05$).

Palabras clave: Modelos de simulación de praderas, producción ovina, secano mediterráneo.

Agradecimientos

Esta publicación fue desarrollada con apoyo financiero de la Fundación para la Innovación Agraria en el marco del proyecto FIA PI C 2002 1 G 11 "Sistema de Información Integral para un Modelo de Gestión de Calidad Total en la Producción de Ovinos. Prototipo en la VI Región".

Literatura citada

- Acuña, P. H. 1978. Relaciones entre productividad primaria y pluviometría en una pradera anual de la zona mediterránea de Chile. Tesis Mg. Sc. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Escuela de Agronomía. Santiago, Chile. 60 pp.
- Aguilar, C. 1997. Simulación de Sistemas. Aplicaciones en Producción Animal. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile, 241 pp.
- Aguilar, C., R. Allende y S. Morales. 2003. Gestión de Sistemas Pecuarios. Modelos para Evaluar Alternativas Tecnológicas y Creación de Valor en la Empresa Pecuaria. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. 633 pp.
- Aguilar, C., R. Allende, D. Ocampos y F. García. 2000. Producción de Leche a Pastoreo en el Subtrópico con Ganado Cruza Holando Cebú: Desarrollo y validación de un modelo de simulación. Archivos de Zootecnia 49: 457-468.
- AFRC. 1993. Necesidades Energéticas y Proteicas de los Rumiantes. Ed. Acirbia, S.A. Zaragoza, España. 175 pp.
- Avendaño, J. y C. Ovalle. 1989. Destete precoz de corderos en una pradera de trébol Subterráneo-Falaris-Ballica Anual (Cauquenes). II Parte. Agricultura Técnica (Chile) 49:122-129.
- Bernues, A., M. Herrero y J. Dent. 1995. El estudio de los Sistemas Ganaderos Mediante Simulación: Una Revisión de los Modelos de Ovino a nivel del Animal Individual, del Rebaño y de la Explotación. Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim. 10:243-272.
- Castellaro, G. 1988. Elaboración de un modelo de simulación del crecimiento y fenología de la pradera mediterránea anual. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 155 pp.
- Castellaro, G., M. Silva y F. Santibáñez. 1994. Efecto de la radiación solar y la temperatura sobre las fenofases de las principales especies del pastizal mediterráneo anual. Avances en Producción Animal 19: 65-75.
- Castellaro, G. y F. Squella 1998. Modelo simple de simulación para la estimación del crecimiento y balance hídrico de praderas. p 147-148. En: XXIII Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán.
- Castellaro G. 2003. Crecimiento de praderas mesofíticas a largo plazo, en respuesta a factores edafoclimáticos y estrategias de defoliación. Tesis, Magíster en Ciencias Animales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 132 pp.
- Crempien C. 1996. La pradera en los sistemas de producción ovina. p. 665-678. En: Ruiz, N.I. Praderas para Chile. 2ª edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Santiago, Chile.
- CSIRO. 1990. Feeding standards for Australian livestock. Ruminants. National Library of Australia Cataloguing-in-Publication Entry. CSIRO Publications. Melbourne. Australia. 266 pp.
- Finlayson, J.D, O. Cacho, and A. Bywater. 1995. A Simulation Model of Grazing Sheep: I. Animal Growth and Intake. Agricultural Systems 48:1-25.
- INE. 1997. V Censo Nacional Agropecuario 1975-1976. Instituto Nacional de Estadísticas. Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 14 v. 2657 pp.
- INIA, 1989. Anuarios meteorológicos. Estación Experimental Cauquenes, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA),

- Cauquenes. Hojas de campo. 5 pp.
- Maroto, C., J. Ciria, L. Gallego y A. Torres. 1997. Gestión de la Producción Ganadera: Modelos, Técnicas y Aplicaciones Informáticas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 238 pp.
- Ovalle, C. 1986. Etude du système écologique sylvo-pastoral à *Acacia caven* (Mol.) Hook. Et Arn. Applications à la gestion des ressources renouvelables dans l'aire climatique méditerranéenne humide et sub-humide du Chili. Montpellier, France. 224 pp.
- Ovalle, C. y F. Squella. 1996. Terrenos de pastoreo con pastizales anuales en el área de influencia climática mediterránea. p. 429-466. En: Ruiz, N.I. Praderas para Chile. 2ª edición. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Santiago, Chile.
- Orskov, E.R. 1982. Protein Nutrition in Ruminants. Academic Press Inc. London. England. 160 pp.
- Santibáñez, F., A. Olivares., M. Silva., A. Mansilla y S. Lailhacar. 1976. Desarrollo de un modelo de producción pecuaria para la zona mediterránea árida de Chile. I. Submodelo de clima y productividad primaria herbácea. Avances en Producción Animal 1: 119 - 128.
- Shannon, E. 1988. Simulación de Sistemas. Diseño, Desarrollo e Implantación. Editorial Trillas. México. DF. México. 427 pp.
- Smith, R.C.G., and W. Williams. 1973. Model development for a deferred-grazing systems. Journal of range management 26: 454-460.
- Steel, R.G.D., y J.H. Torrie. 1988. Bioestadística. Principios y procedimientos. McGraw-Hill, New York. USA. 622 pp.
- Van Keulen, H., and J. Wolf. 1986. Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Pudoc Wageningen. 479 pp.
- White, D.H., P.J. Bowman, F.H.W. Morley, W.R. MacManus, and S.J. Filan. 1983. A simulation model of a breeding ewe flock. Agricultural Systems 10: 149-189.