

# DESARROLLO DE UN MODELO DE PRODUCCION PECUARIA PARA LA ZONA MEDITERRANEA ARIDA DE CHILE

## II. SUBMODELO DE CONSUMO Y PESOS VIVO

Silva G.M. 1/, Mansilla M.A. 2/, Santibañez Q.F. 3/

Departamento de Ganadería y Producción Pratense  
Facultad de Agronomía Universidad de Chile  
Casilla 1004, Santiago, Chile.

### RESUMEN

Se presenta la simulación de un subsistema de consumo y peso vivo que forma parte de un modelo de producción pecuaria para la zona mediterránea árida de Chile.

En las condiciones ecológicas de la IV Región del país se plantea el manejo de una masa ovina sometida a distintas alternativas de alimentación y época de encaste. Se analizan, en particular, las funciones que determinan el consumo de materia seca del animal, siendo los argumentos esenciales de éstas la disponibilidad y calidad del forraje y las condiciones fisiológicas del animal. También se discute la transformación del alimento ingerido en variación de peso de acuerdo a un balance entre ingreso de energía y gasto de la misma.

Se presentan los resultados de varios procesamientos en el computador y se discuten las investigaciones que es posible deducir del modelo para dar más realismo y precisión a éste.

### SUMMARY

An intake and liveweight subsystem simulation integrating a livestock production model for the mediterranean arid zone of Chile is presented.

The management of a sheep flock subjected to different feeding and breeding alternatives is stated under the fourth region ecological conditions.

The functions determining animal dry matter intake are specially analyzed, forage availability and quality, and the animal physiological conditions being the basic arguments. Consumed feed transformation in variation to weight and according to a balance between energy entrance and consumption is also discussed.

Several computerized results are presented and probable investigations to make the model more accurate are discussed.

1/ Ing. Agr. M.S. Prof. Departamento de Ganadería y Producción Pratense Facultad de Agronomía, Universidad de Chile.

2/ Prof. Matemáticas, M.S., Departamento de Ganadería y Producción Pratense, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile.

3/ Ing. Agr. Dr., Prof. Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile.

Trabajo realizado dentro del Programa de Investigaciones de Zonas Áridas y Semiáridas de la Universidad de Chile (PRIZAS).

## INTRODUCCION

La investigación que se efectúa en el Area Agropecuaria del Programa de Zonas Aridas de la Universidad de Chile tiene un enfoque esencialmente ecológico. Tanto la orientación como las prioridades de las investigaciones que en este programa se realizan, han surgido de discusiones de los diferentes especialistas participantes en torno a un sistema de producción pecuaria, presentado y analizado en forma cualitativa. Paralelamente a ello, se ha ido implementando la construcción de un modelo de simulación del sistema bajo estudio. Por la extensión de éste, se ha decidido su división en subsistemas, de los cuales ya se ha publicado el correspondiente a producción primaria (Santibañez *et al.*, 1976). En el presente trabajo se analiza el submodelo de producción secundaria, cuyos puntos más destacados lo constituyen los procesos de consumo y ganancia de peso. Si bien se presentan con gran relieve los aspectos fisiológicos de estas dos funciones, en este modelo se ha hecho uso intenso de un submodelo de manejo que soporta toda la estructura del sistema, para lograr la necesaria ligazón con el resto, y que permite hacer las pruebas de sensibilidad del sector peso-consumo. Estas pruebas son decisivas en relación a los aspectos en los cuales debe ponerse énfasis en la parte experimental del programa agropecuario, para lograr una optimización de recursos y una coordinación útil entre la parte básica y aplicada.

Al igual que en el resto del trabajo, se ha

usado el lenguaje DYNAMO II y ejecutado el modelo en el computador IBM 370 del Centro de Computación de la Universidad de Chile.

## DESCRIPCION DEL MODELO

El submodelo de peso y consumo se describe en forma aislada con respecto a los demás submodelos del modelo general con el objeto de hacerlo más inteligible. Como en realidad no es independiente de ellos, en su procesamiento y descripción se han usado valores de tablas para las variables de entrada a él en lugar de los valores generados por los otros submodelos. Dichas tablas se presentan en el Cuadro 1. Entre otras, por ejemplo, TDISP y DISPA indican la cantidad mensual de materia seca disponible de terófitas de la pradera mediterránea anual (Santibañez, *et al.*, 1976) y la de materia seca de *Atripelx repanda* (Santibañez *et al.*, 1978). El diagrama de flujo del modelo procesado se presenta en la Figura 1 y la nomenclatura usada en el Cuadro 2.

En esencia el problema se enfoca mediante la simulación de dos funciones complejas del comportamiento y de la fisiología animal: (1) el consumo que estos hacen del forraje disponible (2) y la transformación posterior de este consumo en peso vivo. Utilizando la capacidad del lenguaje computacional para plantear hipótesis generales respecto al funcionamiento de estos procesos, se han generado dos MACROS que realizan esta tarea: MACRO CONS y MACRO EPESO.

Cuadro 1. Valores dados a los parámetros CL, DISP, DISPA, MAT, PREF, DIGP y DIGA en el procesamiento del manejo 3.

VARIABLES	M E S E S												
	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	
TCL : Consumo leche (litros)	-	-	-	-	-	-	-	1,3	0,8	0,5	0,2	-	-
TDISP : Disponibilidad M.S. pradera kg/mes/animal	90	70	60	90	100	120	100	90	80	70	60	60	
TDISPA : Disponibilidad M.S. arbustos kg/mes/animal	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
TMAJ : Manejo	PN	PN	PN	PN + A	PN + A	PN	PN	PN	PN + A	PN + A	PN + A	PN + A	
TDIGP : Digestibilidad M.S. pradera	0,55	0,55	0,50	0,50	0,55	0,65	0,60	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	
TDIGA : Digestibilidad M.S. arbusto	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55	

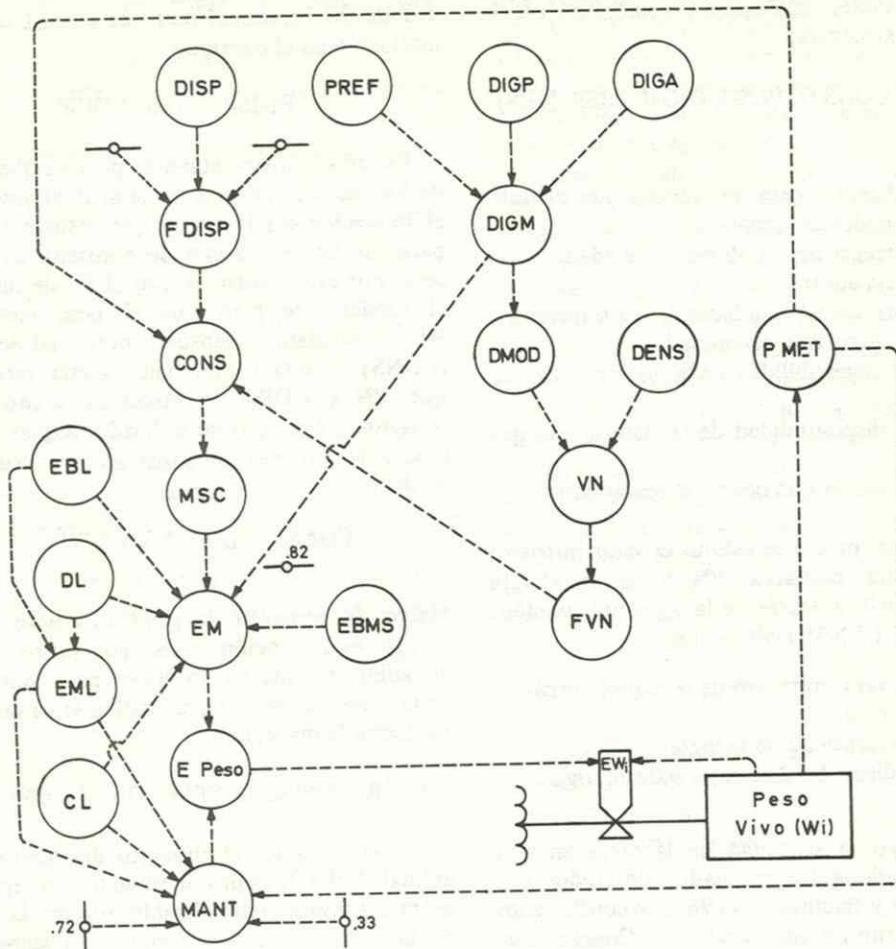


Figura 1. Flujo del submodelo de peso consumo.

Cuadro 2. Nomenclatura usada en el submodelo

DISP	= Disponibilidad total del forraje	MSC	= Materia seca consumida
PREF	= Porcentaje de preferencia de la pradera natural sobre el arbusto	EBL	= Energía bruta de la leche
DIGP	= Digestibilidad de la pradera natural	EML	= Energía metabolizable de la leche
DIGA	= Digestibilidad del arbusto	DL	= Digestibilidad de la leche
F DISP	= Función de disponibilidad	CL	= Consumo de leche
DIGM	= Digestibilidad promedio del forraje consumido	EBMS	= Energía bruta de la materia seca
CONS	= Consumo de forraje (M.S. en kg) (función macro)	EM	= Energía metabolizable consumida
DMOD	= Digestibilidad de la materia orgánica	MANT	= Requerimientos de energía para mantención
DENS	= Densidad de la materia orgánica	PMET	= Peso metabólico
VN	= Valor nutritivo del alimento consumido	EPESO	= Tasa de cambio de peso
FVN	= Función del valor nutritivo	EW <sub>i</sub>	= Tasa de cambio de peso para individuo de clase i
		W <sub>i</sub>	= Peso vivo de individuo de clase i

**Macro de consumo de materia seca.** En él se utilizan variables fisiológicas y ecológicas, con la siguiente estructura:

MACRO CONS (I, PESO, DIGM, DISP, MES)

donde:

I = Indicador para diferenciar los distintos tipos de animales del rebaño.

I = 0 borregas de 6 a 36 meses de edad

I = 1 oveja adulta

I = 2 borregas y/o corderos de 0 a 6 meses

PESO = peso vivo del animal

DIGM = digestibilidad de la materia seca que se pastorea

DISP = disponibilidad de la materia seca que se pastorea

MES = mes en que ocurre el fenómeno.

Dentro del macro se estimó el valor nutritivo de la estrata herbácea PN, y de la estrata arbustiva ARB, a través de la siguiente función:  $VN = 100 * DENS * DMOD$  donde:

VN = valor nutritivo de la materia orgánica.

DENS = densidad de la dieta

DMOD = digestibilidad de la materia orgánica.

Se incluyó la densidad de la dieta en esta función debido a los resultados obtenidos por Montgomery y Baumgardt (1965), y confirmados por los estudios llevados a cabo por Concha *et al.* (1977) y Rodríguez <sup>1/</sup>. En estos estudios se encontró que la densidad influye en el consumo de materia seca y particularmente en la fase de regulación física, disminuyendo, de este modo, parte de la variación no explicada. Según dichos autores, la existencia de esta relación entre consumo de alimento tosco y densidad es producto de la variación de volumen ocupado por este tipo de alimento en el rumen. En la medida que la razón masa/volumen disminuye, se limita cada vez más rápida la capacidad de consumo del animal.

En este macro se supuso que la relación entre consumo y disponibilidad (DISP) obedece a una

función lineal, donde a partir de una disponibilidad de 90 kg/animal/mes por animal no habría limitación en el consumo:

$$FDISP = 0,01 * DISP$$

En esta primera etapa se plantea que, dentro de los factores propios del animal, el peso vivo es el indicador fundamental que resume la mayor parte de las variaciones de consumo de materia seca. Por este motivo, y con el fin de simplificar el modelo, se hizo que el peso metabólico,  $W^{0,75}$ ; señalara el consumo potencial del animal (CONS) y diera forma física a esta variable, ya que VN y FDISP se presentan como valores relativos e I es sólo un indicador lógico. De este modo se obtiene el consumo por animal/día mediante:

$$CONS = FDISP * VN * W^{0,75}$$

**Macro de aumento de peso.** El macro EPESO, recoge esta función consumo, junto con las variables del macro anterior, para simular las variaciones de peso. La subrutina se ha planteado mediante la invocación:

MACRO EPESO (I, PESO, DIGM, DISP, MES)

En este macro, el aumento del peso vivo del animal, EPESO, es producto de una comparación entre la energía metabolizable consumida a través de la materia seca del forraje y la leche, y los requerimientos energéticos del animal para mantener sus actividades vitales. Estos requerimientos incluyen, además, la producción de leche en el caso de ovejas en lactancia. Las tablas de consumo de leche se dan en el Cuadro 1.

Las constantes fisiológicas usadas en este MACRO se obtuvieron de Mackinney (1974).

Las relaciones fundamentales de este macro son las siguientes:

$$EM = (CONS * DIGM * EBMS + CL * DL * EBL) 0,82$$

$$MANT = (1/0,72) * 0,33 * W^{0,75} + EML * CL$$

donde: EM = energía metabolizable consumida

EBMS = energía bruta de la materia seca

CL = consumo de leche

DL = digestibilidad de la leche

EBL = energía bruta de la leche

1/ David Rodríguez S. Ing. Agr. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental La Platina. Casilla 5427, Santiago, Chile, Comunicación Personal.

MANT = requerimientos de energía para mantención.

W<sub>0,75</sub> = peso metabólico

EML = energía metabolizable para producción de leche

Entonces, el balance se logra mediante:

$$EPESO = \begin{cases} (EM - MANT) / 20,9 * Y & \text{si } EM \geq MANT \\ (EM - MANT) / 20,9 * 0,72 & \text{si } EM < MANT \end{cases}$$

donde:  $Y = 1,05 - 0,025 * PESO$

El peso vivo de cada tipo de animal del rebaño se representó a través de niveles que son las variables que describen el estado del sistema en todo instante del tiempo. En cada uno de los tipos de animales, el peso vivo es producto del peso en el momento inmediatamente anterior más el aumento o disminución del peso (tasa) que se logró durante ese lapso. Luego, se tiene:

$$PESO_I(t) = PESO_I(t - dt) + dt * EPESO_I(t)$$

donde: EPESO es el MACRO ya definido para las clases con  $I = 1$  y

$$EPESO_2(t_0) = MACRO EPESO + (-3 + 0,15 * PESO_1(t_0)),$$

$t_0$  = tiempo al nacer

ya que supuso que el peso del nacimiento es una función del peso de la madre ( $I = 1$ ).

Estas relaciones funcionan de la manera indicada en todos los intervalos de tiempo en que no hay cambios de categoría en los animales. Cuando ello ocurre, se realiza una transferencia de valores de un nivel a otro según corresponda.

Por otra parte, aun cuando este submodelo se analiza separadamente del resto de los componentes del sistema, en él se construyen dos variables que influyen en la tasa de reproducción del rebaño y, por tanto, están asociadas al submodelo de estructura de población. Estas variables son el peso vivo de las ovejas adultas al momento del encaste y las variaciones de peso vivo en el período inmediatamente anterior a éste. Ambas variables se obtienen construyendo niveles para conservar sus valores y usarlos posteriormente en el mes de nacimiento.

**Submodelo de manejo.** Para simular el manejo animal se ha supuesto que los animales pastorean

dos tipos de praderas: una consistente en una estrata puramente herbácea y otra en una biestratificada con *Atriplex repanda*. En esta última se supuso una densidad de 400 arbustos por hectárea, considerándose la reducción proporcional de biomasa herbácea por la competencia del arbusto. Los animales pastorearon estos tipos de praderas a través del año, considerando una producción fija de forraje en cada uno de los niveles. Los estudios de Silva *et al.* (1976) y Concha *et al.* (1977) indican que los animales tienen una preferencia distinta por la estrata herbácea o arbustiva a través del año, motivo por el cual se construyó una tabla de preferencia animal, la que junto con los valores de digestibilidad (Cuadro 1) de ambas estratas, conforman la digestibilidad real de la dieta que consumen los animales. Además, en este submodelo se supuso que el arbusto era sólo necesario para las ovejas en el último tercio de preñez y para los corderos una vez que la pradera natural perdiera su valor nutritivo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Información obtenida del modelo.** Con el fin de evaluar el comportamiento del submodelo, se simularon tres manejos distintos, cada uno de ellos por un período de tres años:

Manejo 1 = encaste en enero, con pastoreo de pradera natural.

Manejo 2 = encaste en enero, con pastoreo de pradera natural más arbusto.

Manejo 3 = encaste en marzo, con pastoreo en pradera natural más arbusto.

El análisis y la discusión que sigue, se hace fundamentalmente basada en los resultados obtenidos en consumo y peso vivo de los animales, información que se presenta en las figuras 2, 3 y 4.

Comparando los gráficos se aprecia que el consumo de materia seca y el peso vivo de las ovejas muestran una relación bastante estrecha entre sí y con valores de observaciones hechas en terreno. Las menores variaciones de consumo de materia seca se obtienen con el manejo 3. El consumo de materia seca en manejos 1 y 2 muestran comportamientos similares a través del tiempo, excepto en los meses de enero y febrero, en los cuales los animales alimentados sólo con pradera natural llegan a un nivel más bajo de consumo que en el resto de posibilidades.

En todos los sistemas de manejo estudiados se advierte que hay una disminución del consumo en otoño y un aumento en invierno que se mantiene en primavera para disminuir en el período estival. Sin embargo, las menores variaciones se obtienen con el manejo 3.

En la Figura 3 también se aprecia que el peso de las ovejas adultas en el manejo no fue nunca inferior a los 40 kg, fluctuando entre 40,0 y 41,6 kg; en tanto que con los manejos 1 y 2 los pesos

fluctúan entre 41,2 y 38,4 kg.

El peso vivo de las borregas (Figura 4), por otra parte, se muestra en general igual en los tres sistemas, alcanzándose el peso de encaste alrededor de los 3 años. El sistema 2 muestra un crecimiento más sostenido de estos animales con respecto a los otros dos que presentan casi siempre una disminución leve en otoño. Sin embargo, el crecimiento compensatorio puede apreciarse en los meses siguientes, alcanzando valores similares al final del tercer año.

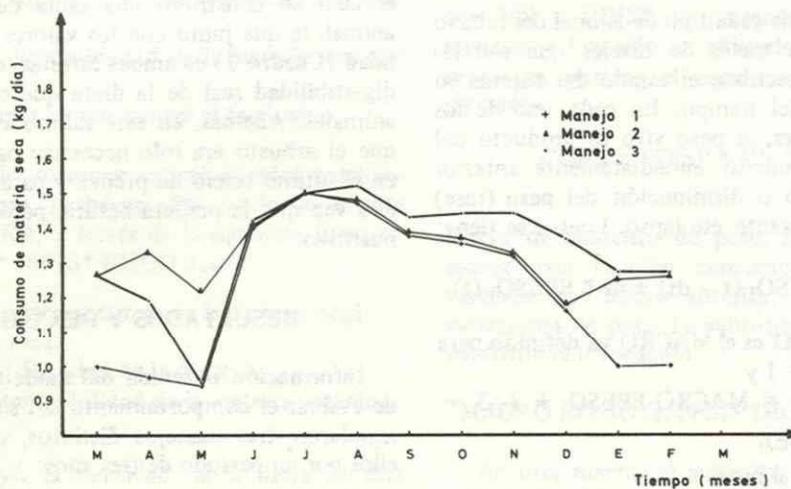


Figura 2. Variaciones del consumo de materia seca a través del año, bajo los tres manejos propuestos.

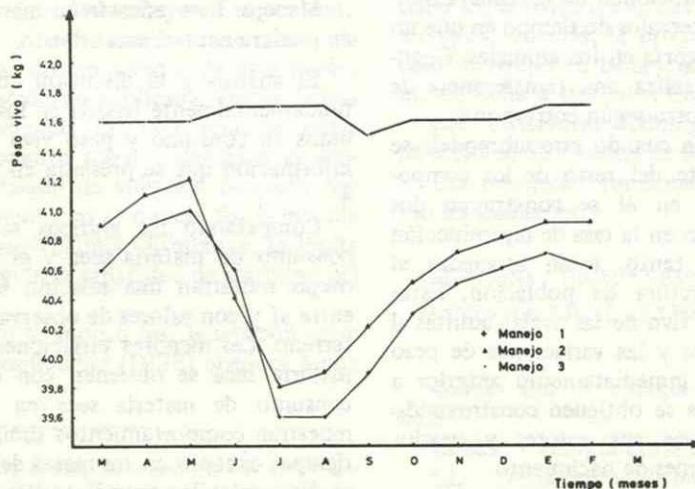


Figura 3. Variaciones del peso vivo de ovejas adultas a través del año, bajo los tres manejos propuestos.

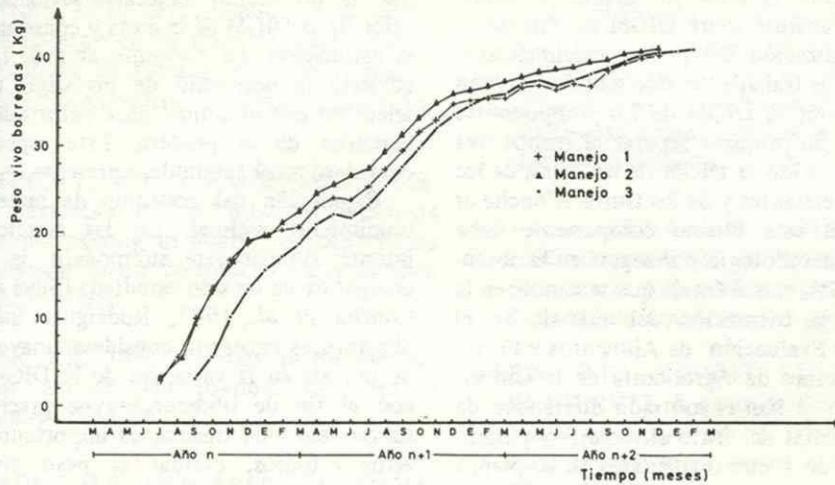


Figura 4. Evolución del peso de borregas desde nacimiento a tres años bajo los manejos propuestos.

**Proyecciones del Modelo.** De acuerdo a lo expresado en la introducción y al análisis de este submodelo, los autores estiman que existe la necesidad de orientar la investigación física hacia la obtención de mayor información respecto a:

- disponibilidad
- valor nutritivo
- preferencia animal
- regulación del consumo animal
- relaciones entre consumo y rendimiento animal.

**Disponibilidad.** En este aspecto el grupo de profesionales que trabaja en este modelo ha iniciado un estudio para obtener la disponibilidad de materia seca de la pradera y arbustos a través del tiempo, dando énfasis a la relación existente entre lluvia, humedad del suelo y crecimiento de la pradera. La necesidad de ello se desprende de los resultados obtenidos (Santibañez *et al*, 1976) en el submodelo de clima y producción primaria. De este modo, esta entrada del submodelo que se describe, podrá representar las curvas de disponibilidad de materia seca de acuerdo a diversos regímenes de pluviometría. El submodelo que se presenta en este trabajo supone que existe una relación lineal entre la disponibilidad y el consumo. Debería comprobarse esta hipótesis de trabajo para verificar las bondades o limitaciones del modelo en este aspecto (Vera *et al*, 1977).

**Valor nutritivo.** Esta información considera la DIGM de la biomasa disponible como un todo.

Luego, no es posible en la actualidad prever la diferencia en DIGM debido a cambios en la composición botánica, que se producen por efectos climáticos, particularmente de la magnitud y distribución de la lluvia (Rossiter, 1966). Esta limitación es de importancia, por cuanto las variaciones de DIGM a través del tiempo entre especies pueden llegar a ser alta, hecho que repercute en el comportamiento animal. Este hecho señala que debe darse prioridad a estudios que consideren las principales especies terófitas de la pradera, orientar los experimentos a la búsqueda de funciones matemáticas que relacionen la distribución y magnitud de la lluvia con la DIGM de cada especie. Es necesario tomar en cuenta en estos estudios el efecto que se produce por el desarrollo de las plantas a través de la diferenciación celular y los cambios en la proporción de los componentes morfológicos en el primer crecimiento y en el rebrote. Asimismo, sería interesante conocer el efecto de las lluvias de primavera que ocurren cuando la pradera ya ha producido semillas y el efecto de las lluvias de otoño sobre el material seco. De este modo, se puede obtener una DIGM que sea producto de un promedio ponderado de la DIGM de cada especie. Dicha información permitiría a este submodelo representar las diversas situaciones que ocurren en la realidad.

En arbustos forrajeros y particularmente en *Atriplex repanda*, que es una de las especies más

interesantes para la zona estudiada, se deben llevar a cabo análisis sobre DIGM en diferentes épocas de utilización del primer crecimiento y del rebrote. Los trabajos en este sentido también deben considerar la DIGM de los componentes morfológicos. Se propone separar al menos tres de ellos, obteniendo la DIGM de las hojas, de los tallos fotosintetizantes y de los frutos (Concha *et al.*, 1977). En este último componente debe estudiarse la metodología por seguir en la obtención de la DIGM, con el fin de que se simule en la mejor forma la trituración del animal. En el laboratorio de Evaluación de Alimentos y Forrajes de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile se han encontrado diferencias de 25% en la DIGM del fruto al molerlo y pasarlo por un tamiz de 1 mm o triturarlo en pequeños trozos.

La DENS es otra variable que disminuye la variación no explicada del consumo, por este motivo es necesario considerarla cada vez que se estudie el valor nutritivo. Estos trabajos deben acompañarse de información relacionada con la dieta de animales fistulados en el esófago con el fin de validar la modelación de este aspecto.

**Preferencia animal.** En los estudios físicos realizados (Silva *et al.*, 1976 y Concha *et al.*, 1977) se encontró que la PEF varía con: (1) el momento de utilización, (2) con la composición botánica de la estrata herbácea y (3) con la presión de pastoreo. Por este motivo, se incluyó estas variables en el modelo, para estimar las proporciones de arbusto ingeridas y terófitas. También en este caso sería de utilidad conocer las principales causas que modifican la proporción de arbusto y terófitas en la dieta animal, ya

que su predicción mejoraría sustancialmente el valor de la DIGM de la dieta y consecuentemente la estimación del consumo animal. También se advierte la necesidad de investigar más en la selección que el animal hace dentro de la estrata herbácea de la pradera. Este aspecto no se consideró en el submodelo presente.

**Regulación del consumo de materia seca y rendimiento animal.** En las condiciones que intenta simular este submodelo, la regulación energética ya ha sido estudiada (Silva *et al.*, 1976; Concha *et al.*, 1977; Rodríguez, inédito). No obstante, es necesario considerar mayor cantidad de puntos en la variación de la DIGM \* DENS con el fin de obtener mayor precisión en el submodelo. Así mismo, es importante en todos estos estudios, evaluar el peso vivo de los animales con el fin de validar la parte del modelo que lo considera. Es necesario también implementar este submodelo con el papel que juega la proteína en el consumo y en las diferentes funciones de producción del animal.

En el submodelo estudiado se asume que no existen restricciones por limitación del agua bebida. Sería de utilidad también, orientar estudios que permitan conocer cuál es el límite crítico en este aspecto y el efecto que producen en el animal diversas restricciones de agua de bebida, ya que en el período estival suelen plantearse problemas de este tipo.

También es necesario implementar esta parte del modelo con la producción de lana. Este aspecto no se tomó en cuenta en este trabajo, debido a que el objetivo primordial es mostrar cómo trabaja este submodelo y la sensibilidad que tiene en la forma en que se programó.

#### LITERATURA CITADA

CONCHA, R.R., SILVA, G.M., CABRERA, C.R., BONILLA, E.S. 1977. Uso de *Atriplex repanda* como refuerzo de una pradera natural mediterránea semiárida pastoreada con ovinos en períodos secos. I Consumo y ganancia de peso vivo. Avances en Producción Animal 2 (1): 11-22.

-----, -----, BONILLA, E.S. y CABRERA, C.R. 1977. Uso de *Atriplex repanda* como refuerzo de una pradera natural mediterránea semiárida pastoreada con ovinos en períodos secos. II Digestibilidad y Energía de forraje. Avances en Producción Animal 2 (2): 85-98.

- MACKINNEY, G.T. 1971. Simulación de pastoreo de invierno en pasturas de zonas templadas. Enfoque de sistemas en la investigación ganadera, Montevideo, Uruguay, J. Scarsi pp. 61-71.
- MONTGOMERY, M.V. y BAUMGARDT, B.R. 1965. Regulation of food intake in ruminants II Rations varying in energy concentrations and physical forms. *Journal of Dairy Science* 48: 1623 - 1628.
- ROSSITER, R.C. 1966. Ecology of the mediterranean annual type pasture. *Advances in Agronomy*. 18: 1-56.
- SANTIBAÑEZ, Q.F., OLIVARES, E.A., SILVA, G.M., MANSILLA, M.A., y LAILHACAR, K.S. 1976. Desarrollo de un modelo de producción pecuaria para la zona mediterránea árida de Chile. I Submodelo de clima y productividad primaria herbácea. *Avances de Producción Animal* 1 (2): 119-128.
- SILVA G.M. y MANSILLA, M.A. 1978. Desarrollo de un modelo de productividad para la zona mediterránea árida de Chile. *Ciencia Interamericana* (en prensa).
- VERA, R.R.; MORRIS, J.G. y LING-JUNG KONG, 1977. A quantitative model of energy intake and partition in grazing sheep in various physiological states. *Animal Production* 25: 133-153.