

UN MODELO DE SIMULACION DE SISTEMAS DE PRODUCCION OVINA PARA LA ZONA AUSTRAL DE CHILE¹

A simulation model of sheep production systems for Chilean's austral zone

Giorgio Castellaro G.², David Rodríguez S.³ y Luis Sáez T.⁴

S U M M A R Y

A sheep production simulation model was carried out, for the Southern Zone of Chile, which purpose was to evaluate sheep behaviour, under different management choices, in several ecological environments.

The model was programmed on Quick Basic language, and it was divided in two levels of organization. The first one was related with the information that fed the model, processment and building of results files. On a second level, there were situated biological subjects, for which subrutines had been used and designed for such purposes.

For the evaluation of the model behaviour, simulations of two physical modules of sheep production were done, which were developed in the area where the trial was carried out.

The model predicted on a reasonable way, the animal weight variation, obtaining correlations on real and simulated values, that fluctuated between 93.2 and 94.8% ($P \leq 0.001$). There were obtained values on wool and meat production per hectarea, similar to reality, but reproductive rates were subestimated.

It is very important to improve the model, specially in those points related to grassland growth, and the intake process done by sheep under grazing conditions.

Key words: sheep, simulation models, productive systems, natural grassland.

INTRODUCCION

En la XII Región de Chile, el principal rubro productivo es la explotación ovina, donde se encuentra más de la mitad de los ovinos existentes en el país, predominando la raza Corriedale (aproximadamente 3 millones de animales). El recurso forrajero más importante lo constituyen los pastizales naturales de la estepa patagónica, los cuales presentan baja producción, siendo ésta del orden de 350 a 800 kg/ha de m.s. al año. Lo anterior, es muy variable de acuerdo al tipo de suelo, grado de erosión y la pluviometría. El crecimiento de estas praderas se concentra en un corto período, el cual se inicia a mediados de septiembre y empieza a decaer a fines de noviembre, cuando comienza a manifestarse el déficit hídrico (Doberti y Ruz, 1981).

Los sistemas de producción ovina predominantes de la zona, son de tipo extensivos, siendo la carga animal promedio del orden de 0,96 equivalentes ovinos/ha/año. La producción media de carne es de 11,7 kg de peso vivo/ha/año y la producción de lana es de 4,4 kg/ha/año (Ruz y Covacevich, 1988).

Los pastizales, en general, son utilizados bajo pastoreo continuo en sectores de invernadas y veranadas. Muchas veces, debido a un inadecuado uso del pastizal, una amplia extensión de estas praderas se encuentra afectada por severos procesos de erosión (Cruz y Lara, 1987).

Ante esta realidad el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ha planteado sistemas de producción alternativos, en base a métodos de pastoreo conservacionista, considerando la estacionalidad y producción de las praderas. Lo anterior se ha estudiado mediante módulos de producción, localizados en distintos ambientes ecológicos de la región de Magallanes. Como complemento a lo anterior, se ha proyectado desarrollar un modelo de simulación de estos sistemas, con el propósito

¹Recepción de originales: 25 de enero de 1994.

²Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

³Actualmente en actividad privada, El Arcangel 4955, Depto. 81, Las Condes, Santiago, Chile.

⁴AGROPROSEM, Serrano 297, Santiago, Chile.

de integrar, en forma más ordenada, los conocimientos acerca del funcionamiento de éstos, como, además, poder predecir y evaluar el comportamiento productivo de los ovinos bajo distintas modificaciones en el manejo del rebaño. En este trabajo, se presentan los aspectos biológicos de un modelo de simulación de sistemas de producción ovina, el cual, en esta primera versión, está orientado para ser aplicado a las condiciones agroecológicas de la región de Magallanes. No obstante, dicho modelo pretende hacerse extensivo hacia otras regiones del país.

MATERIALES Y METODOS

El desarrollo de este modelo está basado en la metodología propuesta por Forrester (1972) y tiene una estructura similar a otros modelos desarrollados en Chile (Silva y otros, 1987) y en el extranjero (Christian y otros, 1978). Las variables de estado del sistema son funciones de un balance de entradas y salidas al nivel que ellas representan. Estas últimas son definidas como tasas de flujo y, por lo tanto, conceptualmente representan un sistema de ecuaciones diferenciales. Al resolver estas ecuaciones numéricamente en el computador, es factible simular el comportamiento dinámico del sistema.

El modelo 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 el segundo nivel se ubican los aspectos biológicos, para los cuales se hace uso de subrutinas especiales diseñadas para tales objetivos. Estas son "nutrición", "gestación", "lactancia", "cordero", "lana" y "pradera". Todo lo anterior se coordina por medio de un "programa principal" (Figura 1).

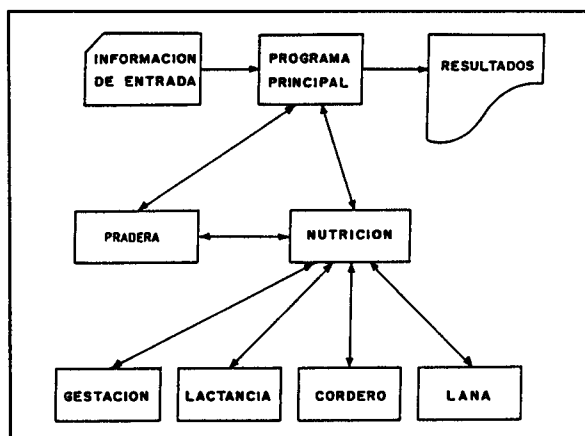


FIGURA 1. Estructura general del modelo de sistemas de producción ovina para la zona de Magallanes.

FIGURE 1. General structure of sheep production systems simulation model for Magallanes zone.

En la primera versión del modelo, se han usado los estándares nutricionales propuestos por el Agricultural Research Council (ARC, 1980).

El lenguaje de programación correspondió a Basic estructurado, utilizándose el software Quick Basic, versión 4.0 de Microsoft. El intervalo de tiempo empleado para la integración de las ecuaciones fue de una semana.

Información requerida por el modelo

A través del programa principal se maneja la información de entrada al modelo, la cual tiene relación con el nombre de la simulación, número máximo de años a simular, número de potreros, sus respectivas superficies y disponibilidad inicial de m.s. y el manejo del pastoreo. Asimismo, el modelo requiere información acerca de la composición y características del rebaño que se desea simular, y las fechas en que se efectúan el inicio del encaste, las esquilas, el destete, el aparte de los animales viejos, las ventas de éstos como también la fecha en que se venden los corderos y borregas de desecho.

Estructura biológica del modelo

Reproducción. Este proceso fue simulado empíricamente, construyendo funciones de fertilidad (FERT) y prolificidad (PROLE) de ovejas Corriedale de la zona de Magallanes (Claro, 1978), complementados con antecedentes mencionados por Thompson y Hughes (s/f). Como variable independiente se usó el peso vivo que dichos animales presentan en la tercera semana posterior al inicio del encaste, fecha en la cual se supone que ocurre el punto más alto en relación al número de concepciones (David Rodríguez S., actividad privada, comunicación personal) (Figura 2).

Consumo de materia seca y energía. El modelo supone, desde el punto de vista nutricional, que el principal factor que limita los procesos productivos de los ovinos, bajo condiciones de pastoreo extensivo, es la disponibilidad de energía.

El consumo de materia seca determina la oferta diaria de energía metabolizable disponible para los procesos productivos. El consumo real (CONR, kg de m.s./animal/día), se calcula estimando, primeramente, un consumo potencial (CONP), el cual es función de variables propias de los animales, como son el peso vivo, la edad, el estado fisiológico y la condición corporal. El CONP se modifica de acuerdo a variables de la pradera que dependen de la disponibilidad (FDISP) y de la digestibilidad del forraje (FDIG). Estas últimas variables se estructuraron como multiplicadores (valores relativos

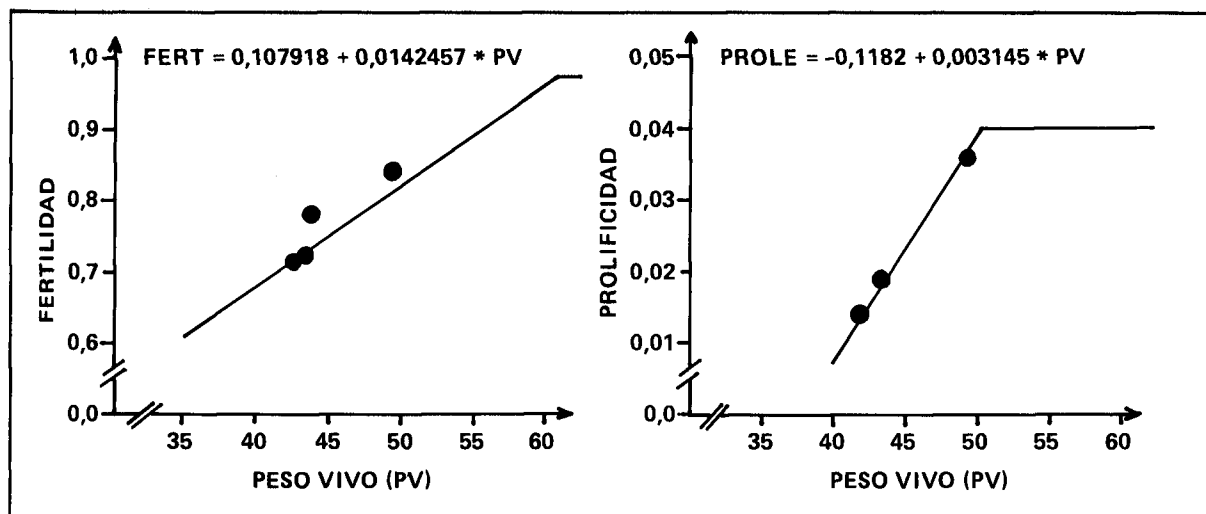


FIGURA 2. Fertilidad (FERT) y prolificidad (PROLE) de ovejas Corriedale según el peso vivo, tres semanas después de iniciado el encaste.

FIGURA 2. Fertility (FERT) and prolificity (PROLE) of Corriedale ewes according to live weight three weeks after the beginning of mating.

entre 0 y 1), considerándose como válida la que obtiene un menor valor relativo:

$$CONR = CONP * FDISP, \text{ si } FDISP < FDIG \quad (1.1)$$

$$CONR = CONP * FDIG, \text{ si } FDISP > FDIG \quad (1.2)$$

En las ecuaciones anteriores, CONP es el consumo potencial de m.s. de un animal de estado corporal normal y depende del peso vivo (W), y del tipo de animal (Arnold, Campbell y Galbraith, 1977, Vera, Morris y Koong, 1977).

$$CONP = W * (47,82 + 0,98 * (1 - \text{EXP}(-0,0524 * W))) / 1.000 \quad \text{para corderos} \quad (2.1)$$

$$CONP = (81 * W^{0,75}) / 1.000 \quad \text{para adultos} \quad (2.2)$$

Cuando las ovejas están en lactancia, el CONP se modifica por medio de un índice de lactancia (M), el cual varía según el día de la lactancia, DL, y es distinto cuando se trata de ovejas de parto simple (M₁) u ovejas de parto doble (M₂) (Standing Committee on Agriculture, Ruminants Subcommittee, 1990) (Figura 3).

$$M_1 = 1 + (0,002 * DL^{1,4}) * e^{(-0,05 * DL)} \quad (3)$$

$$M_2 = 1 + (0,027 * DL^{1,4}) * e^{(-0,05 * DL)} \quad (4)$$

De acuerdo a las ecuaciones anteriores, se define un factor modificador de lactancia promedio ponderado (MPOND) para la categoría de ovejas, según el porcentaje de ovejas de parto simple y por el porcentaje que tienen parto doble.

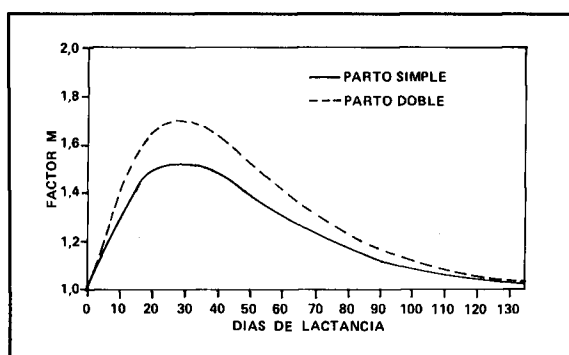


FIGURE 3. Índice modificador del consumo durante la lactancia.

FIGURE 3. Intake modifier index during lactation.

El CONP se modifica también mediante un índice que considera la condición corporal del animal, ICONP (Silva, Mansilla y Caso, 1985). Este índice es función de la desviación del peso vivo del animal (DVPV), respecto al peso que éste debiera presentar de acuerdo a su edad (Figura 4).

$$ICONP = 1 - 2,44 * DVPV \quad \text{y} \quad (5)$$

$$DVPV = (WSVSC / PQDT) - 1 \quad (6)$$

donde:

WSVSC = peso del cuerpo del animal excluyendo el peso del vellón, del feto y anexos uterinos.

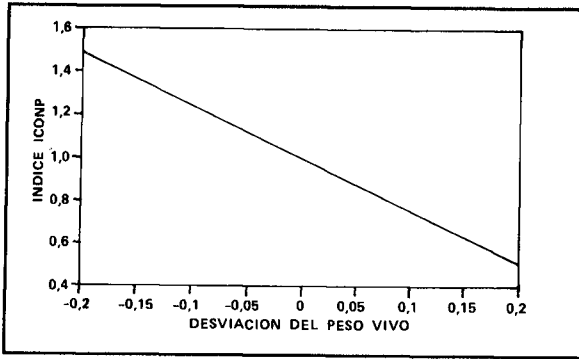


FIGURA 4. Índice modificador del consumo de acuerdo a la condición corporal del animal.

FIGURE 4. Intake modifier index according to the animal body condition.

PQDT = peso vivo que un animal debiera tener, según su edad en semanas (EDAD), y es función del peso normal a la madurez (PMADURO) y del peso normal al nacimiento (PNAC) (Brody, 1945, citado por Standing Committee on Agriculture, Ruminants Subcommtee, 1990). De esta forma, el PQDT puede definirse para distintos tipos de animales.

$$PQDT = PMADURO - (PMADURO - PNAC) * e^{(-0,0045 * EDAD)} \quad (7)$$

De acuerdo a las ecuaciones 2 a la 7, se define el consumo potencial definitivo (CONPDEF):

$$CONPDEF = ((MPOND - 1) + ICOMP) * CONP \quad (8)$$

El efecto de la disponibilidad de materia seca sobre el consumo (Figura 5) se estima a través del índice FDISP, el cual es función de dicha disponibilidad, expresada en kg/ha de m.s. (DISP). La ecuación utilizada está basada en la citada por Freer (1981):

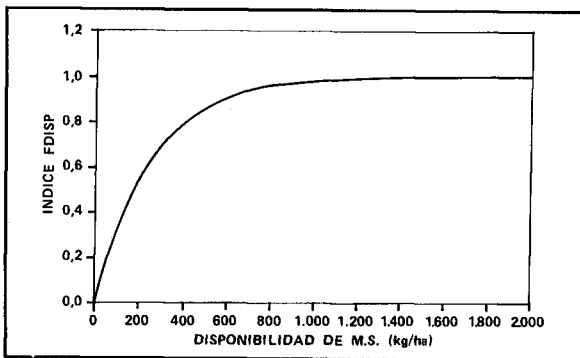


FIGURE 5. Índice modificador del consumo por efecto de la disponibilidad de materia seca.

FIGURE 5. Intake modifier index for dry matter availability effects.

$$FDISP = 1 - e^{(-0,004 * DISP)} \quad (9)$$

Para la relación entre el consumo y la digestibilidad (FDIG) se supuso una función lineal entre ambas variables (Figura 6).

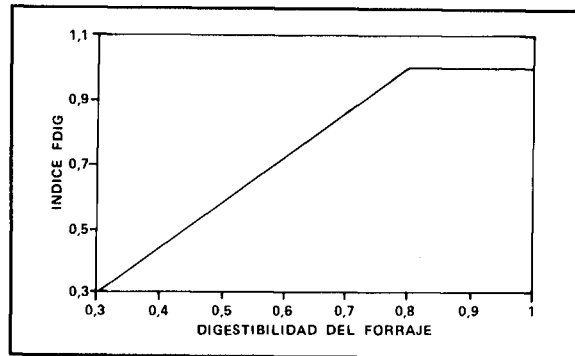


FIGURE 6. Índice modificador del consumo por efecto de la digestibilidad del forraje.

FIGURE 6. Intake modifier index for forage dry matter digestibility effects.

$$FDIG = 1 - 1,4 * (0,8 - DIG) \quad (10)$$

donde:

DIG = digestibilidad del pastizal.

La energía metabolizable total consumida por un animal (EMCTOT, Mj/animal/día) fue calculada a partir del consumo de pradera (CONR), el contenido de energía bruta de ésta (18,4 Mj/kg de m.s.) y su metabolizabilidad (Q). Esta última variable se estima a partir de la digestibilidad de la pradera (DIG) (ARC, 1980):

$$Q = 0,81 * DIG \quad (11)$$

De acuerdo a las hipótesis anteriores, EMCTOT queda definida por:

$$EMCTOT = CONR * 18,4 * Q \quad (12)$$

En el caso de corderos lactantes se considera, además, el consumo de energía aportado por la leche de la oveja.

Los factores que regulan el consumo de pradera, por parte de los animales, se resumen en la Figura 7.

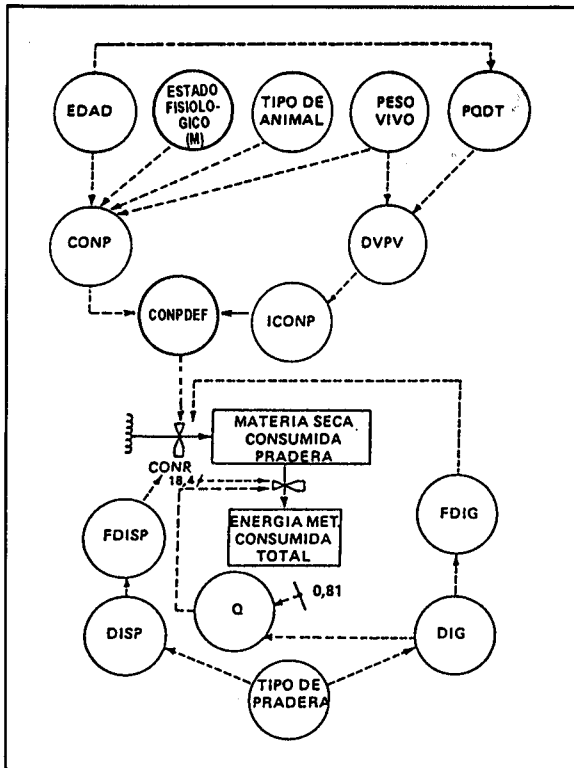


FIGURA 7. Diagrama de flujo que ilustra los factores que determinan el consumo en ovinos.

FIGURE 7. Flow diagram showing the factors that determine sheep intake.

Cambio de peso vivo en los animales. El cambio de peso vivo (CPV), expresado en kg/animal/día, lo determina la energía metabolizable disponible para este proceso (EMDCPV), considerando una eficiencia de utilización de dicha energía (KF) y el valor energético de este cambio (VEDP, en Mj/kg de peso). Este último, es función del peso (W) y del sexo del animal:

$$VEDP = 2,1 + 0,45 * W \quad \text{Para hembras} \quad (13.1)$$

$$VEDP = 4,4 + 0,32 * W \quad \text{Para machos} \quad (13.2)$$

De acuerdo a lo anterior, el CPV queda definido por la siguiente ecuación:

$$CPV = EMDCPV * KF / VEDP \quad (14)$$

donde:

EMDCPV = remanente de la energía metabolizable consumida (EMCTOT) una vez descontados los requerimientos de mantención (RM):

$$EMDCPV = EMCTOT - RM \quad \text{y} \quad (15)$$

$$RM = (MB + GETR) / KM \quad (16)$$

donde:

MB = metabolismo basal.

GETR = gasto energético debido al trabajo.

KM = eficiencia de utilización de la energía metabolizable en el proceso de mantención.

KF = eficiencia de utilización de la energía metabolizable en la ganancia de peso.

$$MB = (0,245 - 0,02164 * \text{Log}(\text{EDAD})) * (W/1,08)^{0,75} \quad (17)$$

$$GETR = 0,038 * W \quad (18)$$

$$KM = 0,35 * Q + 0,503 \quad (19)$$

$$KF = 0,78 * Q + 0,006 \quad (20)$$

Cuando el balance de energía es negativo, se supone que el animal utiliza reservas corporales para suplir los requerimientos de mantención. Lo anterior lo realiza con una eficiencia (EFMRC) de 70%. Ello es posible, siempre y cuando la condición corporal del animal lo permita. Si el peso en que queda el animal luego de movilizar las reservas corporales es superior al 65% del peso que debería tener según su edad, esta utilización es factible. En caso contrario, el animal muere, ya que no es capaz de satisfacer sus necesidades de mantención.

El proceso de cambio de peso vivo en animales y los factores que lo afectan se resumen en la Figura 8.

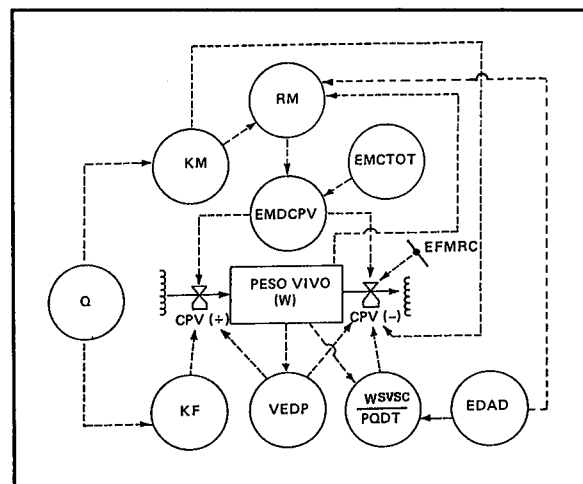


FIGURA 8. Diagrama de flujo que ilustra los factores que afectan el cambio de peso vivo en los ovinos.

FIGURE 8. Flow diagram showing the factors that affect Sheep live weight changes.

Gestación, crecimiento del feto y anexos uterinos. Durante la preñez, los requerimientos de energía están determinados por los necesarios para la mantención (RMG) y los demandados por el crecimiento del feto y anexos uterinos (REQGES). Ellos fueron calculados de acuerdo con lo propuesto por ARC (1980), para ovinos en gestación:

$$\text{RMG} = (0,226 * (W/1,08)^{0,75} + 0,0106 * W)/\text{KM} \quad (21)$$

$$\text{REQGES} = (\text{ET} * 0,07372 * e^{(-0,00643 * \text{DG})/\text{KG}}) * \text{PPNAC}/4 \quad (22)$$

$$\text{ET} = 10^{(3,322 - 4,979 * e^{(-0,00643 * \text{DG})})} \quad (23)$$

donde:

- DG = días transcurridos desde la concepción.
 ET = energía metabolizable acumulada en el feto y anexos uterinos ("conceptus") hasta dicho momento (Mj/día).
 PPNAC = peso del cordero al nacimiento (kg).
 KG = eficiencia de utilización de la energía metabolizable durante el proceso de gestación.

Los requerimientos de gestación antes definidos, suponen un feto que al momento del nacimiento pesa 4 kg. Para animales de distinto peso al nacimiento, los requerimientos son calculados en forma proporcional (ARC, 1980). En esta versión del modelo, se supuso un peso al nacimiento promedio de 4,32 y de 3,72 kg para corderos hijos de ovejas adultas y de ovejas de dos dientes, respectivamente (Claro, 1978).

El coeficiente KG se supone constante e igual a 13,3%. Cuando la oveja gesta mellizos, los requerimientos aumentan en un 62,5% en relación a si gestara un solo feto (ARC, 1980).

Si la energía metabolizable consumida total no logra satisfacer los requerimientos de mantención durante la gestación, al igual que en el caso de animales que no gestan, se movilizan reservas corporales.

Si la EMCTOT supe los requerimientos de mantención durante la gestación, el remanente de energía se destina a cubrir las necesidades del *conceptus*. Si esta energía remanente es suficiente para cubrir dichos requerimientos, el *conceptus* crece de acuerdo a una tasa potencial (TCFA), la que es función de los días desde el inicio de la concepción (DG) (ARC, 1980).

$$\text{TCFA} = (0,0509729/1.000) * 10^{(5,25 - 3,641 * e^{(-0,00608 * \text{DG})})} * e^{(-0,00608 * \text{DG})} * \text{PPNAC}/4 \quad (24)$$

Si luego de suplir las necesidades para mantención y crecimiento del *conceptus* aún sobra energía, este remanente se destina para un cambio de peso positivo.

En el caso de que el alimento aporte la energía necesaria para la mantención, pero que el remanente no logre suplir los requerimientos asociados al crecimiento fetal y sus anexos, la oveja moviliza reservas corporales en una proporción que varía según su estado corporal y que las utiliza con un 25% de eficiencia (Vera y otros, 1977). Esto último se traduce en una pérdida de peso.

De esta manera, la tasa de crecimiento real del *conceptus* es mantenida por la energía metabolizable proveniente del alimento y/o la energía entregada por las reservas corporales, considerando sus respectivas eficiencias de utilización.

El peso del feto al nacimiento se estimó considerando que en dicho instante, éste representa un 69,44% de los productos totales de la gestación (ARC, 1980). Se supuso también, que los corderos hembras representaban un 97,44% y los machos un 102,56% del peso del feto promedio calculado (Claro, 1978).

Lactancia. Los requerimientos de energía metabolizable de las hembras ovinas durante la lactancia, están formados por los necesarios para la mantención (RML) y los requeridos para sustentar una secreción láctea óptima (REQLAC). Ambos requerimientos fueron calculados según lo propuesto por ARC (1980):

$$\text{RML} = (0,226 * (W/1,08)^{0,75} + 0,0106 * W)/\text{KM} \quad (25)$$

$$\text{REQLAC} = (\text{VEL} * \text{PL}/\text{KL}) * \text{FCNA} \quad (26)$$

donde:

VEL = concentración energética de la leche (Mj/kg), la cual se supone función del día de la lactancia (DL) y del contenido graso de la leche (CGL) expresado en g/kg. Para el caso de ovinos Corriedale se supuso un valor promedio de CGL de 60,3 g/kg (ARC, 1980).

$$\text{VEL} = (32,8 * \text{CGL} + 2,5 * \text{DL} + 2.203)/1.000 \quad (27)$$

La producción de leche diaria potencial (PL), expresada en kg/animal/día, se hizo función del peso vivo al momento del parto (PVPAR), de las fracciones

de hembras de la categoría que presenta parto simple (PS) y doble (PM) y del día de la lactancia (DL), según las ecuaciones propuestas por France, Neal y Probert (1983):

$$PL = AS_1 * (DL^{CLAC}) * e^{(-0,02 * DL)} \quad (28)$$

$$CLAC = 0,469 * PS + 0,33 * PM \quad (29)$$

$$AS_1 = (0,34 + (0,0042 * PVPAR)) * PS + (0,88 + (0,008 * PVPAR)) * PM \quad (30)$$

La eficiencia de utilización de la energía proveniente del alimento para producción de leche (KL) se supuso dependiente de la metabolicidad del forraje (ARC, 1980).

$$KL = 0,35 * Q + 0,42 \quad (31)$$

Una vez calculados los requerimientos de mantención y los de producción de leche, éstos se corrigen por el nivel de alimentación (FCNA), calculado en función de ellos mismos (ARC, 1980):

$$FCNA = 1 + 0,018 * (L - 1) \quad y \quad (32)$$

$$L = 1 + (REQLAC/RML) \quad (33)$$

Al igual que en gestación, si los requerimientos de mantención no son suplidos con la energía proveniente del alimento y, si la condición corporal lo permite, la oveja moviliza reservas de su cuerpo, lo que provoca una disminución de peso.

Si la energía metabolizable proveniente del alimento satisface los requerimientos de mantención durante la lactancia, el remanente se destina a suplir los requerimientos necesarios para la secreción de leche. Si dicho remanente es suficiente, la producción real de leche de la oveja es igual al potencial definido en la ecuación 28.

Si el balance anterior sigue siendo positivo, la oveja experimenta un aumento de peso de acuerdo a la energía disponible.

Cuando los requerimientos de la lactancia son suplidos parcialmente con la energía proveniente del forraje, la oveja puede movilizar reservas de su cuerpo en una cierta proporción, que depende del estado corporal, y que en este caso las utiliza con un 84% de eficiencia (ARC, 1980). Si la condición corporal de la oveja es deficiente, la hembra ovina cesa la producción de leche.

Respecto a lo señalado anteriormente, la tasa de producción láctea se calcula en función de la energía aportada por la pradera y/o la aportada por las reservas del cuerpo, tomando en consideración sus respectivas eficiencias de utilización y el valor energético de la leche.

Consumo de alimento y cambio de peso en corderos. La cantidad diaria de materia seca que puede consumir un cordero (INLECH), cuando la edad del animal es igual o menor a tres semanas, se supone que proviene solamente de la leche materna, la que consume sin restricciones, salvo su propia capacidad de ingestión. Para ello, se supuso un porcentaje de m.s. en la leche (PMSL) de 18,4% (Peart, 1982, Penning, 1982).

Posterior a dicha edad crítica, el cordero, además de consumir leche, puede optar por el consumo de alimento sólido proveniente de la pradera, si sus necesidades de consumo no son satisfechas por la producción diaria promedio de leche de las ovejas.

La energía metabolizable total que consume el cordero queda, entonces, determinada por el consumo de energía proveniente de la leche (EMLAC) y la proveniente de la pradera (EMPRA), considerando sus respectivas concentraciones energéticas y metabólicas (QL y Q), suponiendo una digestibilidad de la leche (DIGLECH) de 80% (Elsen, Wallach y Charpentreau, 1989):

$$EMCTOT = EMLAC + EMPRA \quad (34)$$

$$EMLAC = (INLECH/PMSL) * VEL * QL \quad (35)$$

$$QL = 0,96 * DIGLECH \quad (36.1) \\ \text{si EDAD} \leq 3 \text{ semanas}$$

$$QL = 0,81 * DIGLECH \quad (36.2) \\ \text{si EDAD} > 3 \text{ semanas}$$

La energía metabolizable total consumida se destina primeramente a satisfacer los requerimientos de mantención del cordero (RMCOR). Estos están determinados por el promedio ponderado de requerimientos de corderos alimentados sólo con leche o sólo con forrajes, según las proporciones respecto de la energía metabolizable total consumida, que aportan la leche (PROEML) y el forraje (PROEMF), respectivamente:

$$RMCOR = (0,35 * (PCORDE/1,05)^{0,75}) * PROEML + (0,251 * (PCORDE/1,08)^{0,75}) * PROEMF + 0,0106 * PCORDE/KMLEFO \quad (37)$$

donde:

PCORDE = peso del cordero, kg.

KMLEFO = eficiencia promedio de utilización de la energía metabolizable en el proceso de mantención; esta variable, se calculó de manera análoga a como se calcularon los requerimientos de mantención. Para el caso de la leche se consideró una eficiencia constante de 85% (ARC, 1980).

Si los requerimientos de mantención son suplidos, el remanente de energía metabolizable se destina a un cambio de peso positivo. En caso contrario, el cordero puede movilizar reservas corporales, siempre y cuando su condición corporal se lo permita, lo que se traduce en una pérdida de peso.

Crecimiento del vellón. En la tasa de crecimiento del vellón se observa una marcada estacionalidad, la cual se debe, principalmente, a cambios en las condiciones de horas de luz y temperatura durante el año (Manterola, 1986, MAF, s/f). Dicho efecto fue simulado por medio de la ecuación 38, la cual fue calculada en base a antecedentes proporcionados por Blackburn y otros (1987), y se presenta en la Figura 9.

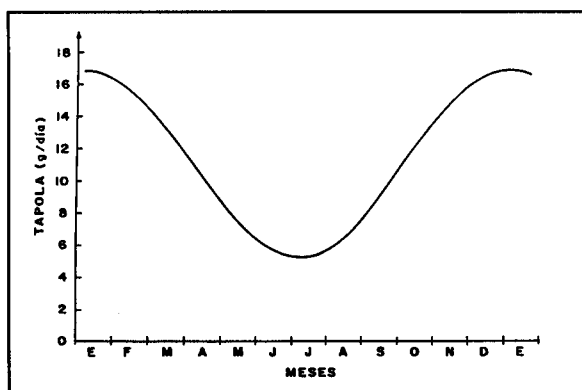


FIGURA 9. Efecto del largo del día sobre la tasa potencial de crecimiento del vellón (TAPOLA) de un ovino Corriedale, cuyo peso potencial del vellón limpio es de 4 kg.

FIGURE 9. Day longitude effect on potential wool growth rate (TAPOLA) on a Corriedale sheep which potential clean fleece weight is 4 kg.

$$TAPOLA = (POPOL/365) * (1 + (LAT/100) * \text{SEN}(2 * \pi/360 * (DIANO + 80))) \quad (38)$$

donde:

TAPOLA = tasa potencial de crecimiento del vellón, kg/animal/día.

POPOL = peso potencial del vellón limpio que se acumula en un año, kg, el cual es dependiente de la categoría de animal.

LAT = latitud del área.

DIANO = día correlativo del año a partir del primero de enero.

Generalmente, se considera que la producción de lana puede ser mantenida con niveles nutricionales cercanos a la mantención e, incluso, el vellón sigue creciendo cuando los animales pierden peso. Sin embargo, se observa un mayor crecimiento de éste en la medida que el consumo de energía y, por lo tanto, la ganancia de peso, es mayor (MAF, s/f).

El efecto del consumo de energía sobre el crecimiento potencial del vellón (FRCV) se simuló de acuerdo a una ecuación basada en la propuesta por White y otros (1983).

$$FRCV = 0,2 + 0,8 * RELANA \quad (39)$$

donde:

RELANA = fracción de energía metabolizable consumida respecto de la que el animal potencialmente podría efectuar.

En ella se supone que si el consumo total de energía (EMCTOT), efectuado por el animal, satisface el consumo potencial que éste es capaz de realizar (EMCPOT), el vellón crece de acuerdo al potencial. En caso contrario, el crecimiento del vellón es menor que dicho potencial, siendo sólo de un 20% cuando el animal no consume energía. De esta manera, la tasa de crecimiento real del vellón (TARELA) queda definida por:

$$TARELA = TAPOLA * FRCV \quad (40)$$

El proceso de crecimiento del vellón y los factores que lo afectan se esquematizan en la Figura 10.

Crecimiento, pérdida de materia seca y calidad nutricional de los pastizales. En la primera versión de este modelo, estos procesos fueron abordados empíricamente, usando para ello información experimental de tasas de crecimiento (TC, en kg/ha/día) y digestibilidad de los pastizales de la zona de Magallanes (Pérez 1987, Vukusich, 1987, Pérez y otros, 1989, Wernli y otros, 1977). Esta información es leída por el programa principal y, conjuntamente con el consumo total de m.s. efectuado por los ovinos (CONS, kg/ha/día), además de un factor de pérdida natural (Charles-Edwards, 1982), que para estos pastizales se supuso un valor de 1% diario, se reactualiza el nivel de disponibilidad de materia seca (MS_t) en cada potrero:

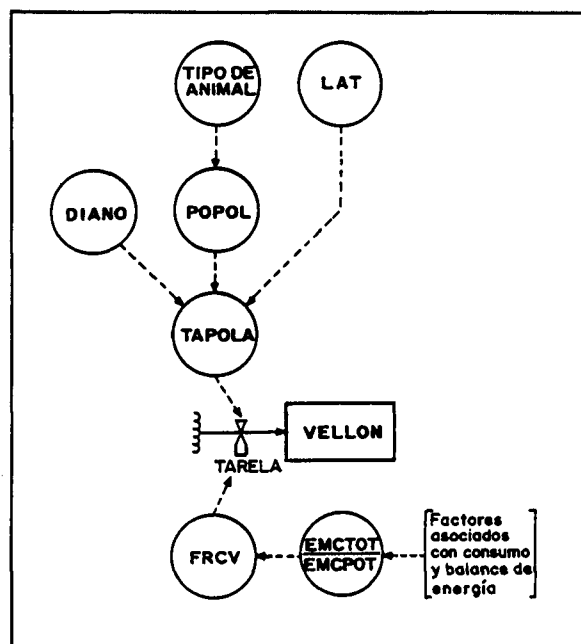


FIGURA 10. Diagrama de flujo que ilustra los factores que afectan el crecimiento del vellón.

FIGURE 10. Flow diagram showing the factors that determine wool growth.

$$MS_t = MS_{t-1} + TC - CONS - PERD * MS_{t-1} \quad (41)$$

Se supuso que el crecimiento comienza a mediados de septiembre y finaliza la primera semana de enero, período en el cual existen mayores probabilidades de contar con temperaturas y humedad de suelo favorables para el crecimiento (Doberti y Ruz, 1981, Ruz y Covacevich, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSION

Con el propósito de evaluar el comportamiento del modelo en sus aspectos de producción secundaria, se procedió a efectuar las simulaciones de dos módulos de producción ovina, desarrollados por INIA en la Estación Experimental Kampenaike, en la zona de Magallanes, durante dos temporadas (1987/88 y 1988/89). Estos fueron el módulo San Andrés (distrito agroclimático Cerro Sombrero) y el módulo Los Abuelos (distrito agroclimático San Sebastián).

En ambos módulos, la simulación se inició el 16 de abril. La definición de los datos iniciales del rebaño se detalla en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Definición de los rebaños simulados

TABLE 1. Definition of simulated flocks

Categoría	Nº	Peso vivo inicial (kg)	Edad inicial (semanas)	Peso vellón potencial (kg)
Módulo San Andrés				
Ovejas adultas	62	51,4	209	3,5
Ovejas 2 dientes	18	43,3	75	3,3
Borregas	21	34,0	23	2,9
Peso a la madurez hembras: 50 kg, machos: 60 kg				
Módulo Los Abuelos				
Ovejas adultas	75	56,7	209	3,5
Ovejas 2 dientes	21	47,0	75	3,3
Borregas	28	38,7	23	2,9
Peso a la madurez hembras: 54 kg, machos: 60 kg.				

Los valores iniciales de disponibilidad de m.s., para el caso de San Andrés, se estimaron entre 190 y 1.200 kg/ha, dependiendo del potrero, y de 800 kg/ha para las praderas de Los Abuelos.

Peso vivo

El modelo predijo de manera razonable las tendencias en la variación de los pesos vivos de los animales (cuadros 2 y 3). En términos globales, la correlación obtenida entre los valores reales y simulados fue de 94,8 y 93,2% ($P \leq 0,001$), para los módulos San Andrés y Los Abuelos, respectivamente.

Sin embargo, se observaron diferencias porcentuales de hasta 22% (base peso vivo real) en las ovejas de ambos módulos. Esto fue más notorio alrededor de la esquila en la primera temporada, y, durante la gestación y lactancia en la segunda temporada, en el módulo San Andrés. En el módulo Los Abuelos, ello ocurrió durante la gestación, lactancia y el post-destete durante la segunda temporada, especialmente en las ovejas adultas.

CUADRO 2. Pesos vivos reales y simulados (kg) en el módulo San Andrés durante las temporadas 1987/88 y 1988/89

TABLE 2. Real and simulated live weights in San Andrés module during 1987/88 and 1988/89 seasons

Ovejas ¹		Borregas		Corderos		Corderas	
Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado
Temporada 1987/88							
49,5	49,9	34,0	32,0	13,1	15,5	13,4	14,5
49,2	47,2	34,0	34,0	20,6	21,2	22,3	19,6
52,0	49,1	32,5	39,0				
40,5	47,7	35,8	38,0				
42,5	46,6	40,5	40,0				
Temporada 1988/89							
47,8	48,7	24,7	25,2	16,3	13,9	16,3	13,1
47,8	48,6	25,9	28,3	23,4	18,9	2,6	17,6
44,7	50,2	23,8	28,8	26,9	22,2	26,9	20,5
44,3	53,2	38,0	36,3				
43,1	50,7	42,8	36,1				
49,8	45,8	45,1	40,3				
51,9	48,8						

¹Se compara el promedio ponderado de los pesos simulados de ovejas adultas y de dos dientes con el peso promedio real.

CUADRO 3. Pesos vivos reales y simulados (kg) en el módulo Los Abuelos durante las temporadas 1987/88 y 1988/89

TABLE 3. Real and simulated live weights in Los Abuelos module during 1987/88 and 1988/89 seasons

Ovejas adultas		Ovejas 2 dientes		Borregas		Corderos		Corderas	
Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado	Real	Simulado
Temporada 1987/88									
56,9	56,8	47,0	46,6	38,7	37,3	5,6	4,4	18,0	20,3
50,3	56,3	42,2	45,5	33,0	33,9	19,6	22,0	33,9	27,2
52,1	53,1	44,7	43,6	29,0	35,2			34,0	29,7
58,4	54,0	43,1	46,5	47,0	41,4				
53,1	54,6	48,6	49,1	43,2	41,4				
Temporada 1988/89									
51,5	54,4	48,8	42,3	44,5	42,3	11,2	13,9	12,9	13,1
59,0	55,0	53,2	43,0	33,9	31,1	22,9	21,1	25,8	22,4
56,3	52,0	49,9	40,9	34,1	28,2				
56,0	53,2	49,6	42,5	33,3	29,9				
51,5	54,3	46,2	44,1	32,7	30,6				
43,5	52,9	41,8	45,9	37,8	40,5				
44,1	51,2	42,1	45,3	30,2	40,3				
47,0	53,8	44,6	49,2	41,3	42,3				
44,7	53,4			25,4	25,9				

Respecto a las borregas, las diferencias obtenidas entre el modelo y los datos de los módulos fueron, en general, de similar magnitud que las obtenidas por las ovejas.

En el caso de los corderos(as), el modelo tuvo un comportamiento satisfactorio, excepto en la segunda temporada en el módulo San Andrés. En este caso, el modelo subestimó los pesos en alrededor de un 19%.

Parámetros de eficiencia productiva

Los valores reales y simulados de algunos parámetros de eficiencia productiva promedio de las dos temporadas consideradas, se presentan en el Cuadro 4.

En relación a estos aspectos, el modelo subestimó las tasas reproductivas, siendo ello de mayor magnitud en el módulo San Andrés. La producción de carne promedio de ambas temporadas se subestimó en 1,8 kg en San Andrés y se sobrestimó en 3,5 kg en Los Abuelos. La producción de lana fue predicha razonablemente en San Andrés, pero se sobrestimó en un kilogramo en Los Abuelos.

CUADRO 4. Valores reales y simulados de algunos parámetros productivos en los módulos San Andrés y Los Abuelos. Promedio de temporadas 1987/88 y 1988/89

TABLE 4. Real and simulated values of some productive parameters in modules San Andrés and Los Abuelos. Average of seasons 1987/88 and 1988/89

	San Andrés		Los Abuelos	
	Real	Simulado	Real	Simulado
Tasa reproductiva (%)	78,2	72,5	80,7	77,1
Producción de carne (kg/ha)	13,5	11,7	6,0 ²	9,5 ²
Producción de lana (kg/ha) ¹	3,4	3,6	3,9	4,9

¹Corresponde a lana sucia. El modelo supone un 64% de rendimiento al lavado.

²Sólo corresponde a producción de corderos.

Las diferencias obtenidas entre el modelo y la realidad puede ser atribuidas a diversos factores que el modelo no toma en cuenta, especialmente, en lo referido al efecto del clima y la defoliación sobre el crecimiento y valor nutritivo de las praderas. Es precisamente en estos aspectos donde el modelo es más rígido. Una manera de dar mayor realismo al modelo, sería a través de la implementación de un submodelo de crecimiento del pastizal, en el cual, dicho proceso, se simule tomando en cuenta los aspectos antes señalados.

También es necesaria la verificación experimental de las hipótesis, referidas al efecto de la disponibilidad y el valor nutritivo sobre el consumo de los ovinos en este tipo de pastizales.

CONCLUSIONES

- El modelo predice de manera razonable las fluctuaciones de las principales variables de estado de los sistemas físicos de producción.
- No obstante lo anterior, es de vital importancia realizar mejoras al modelo, especialmente en los aspectos relacionados con la subrutina de praderas. Para ello, sería necesario disponer de información experimental más precisa referente al crecimiento y calidad nutricional de las praderas naturales en las distintas zonas agroecológicas de la región magallánica.
- Es necesario realizar experimentación física para la verificación de las hipótesis referidas al efecto de la pradera sobre el consumo animal.
- Sería conveniente revisar las ecuaciones que definen los requerimientos nutricionales de los ovinos, utilizando, en lo posible, estándares nutricionales determinados en condiciones de pastoreo.

RESUMEN

Se elaboró un modelo de simulación de sistemas de producción ovina para la zona Austral de Chile, cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento de los animales bajo distintas alternativas de manejo, en diferentes ambientes ecológicos.

El modelo fue programado en lenguaje Quick Basic, y se dividió en dos niveles de organización. El primero de ellos tuvo relación con la información que alimentó al modelo, su procesamiento y elaboración de archivos de resultados. En un segundo nivel, se ubicaron los aspectos biológicos, para los cuales se hizo uso de subrutinas diseñadas para tales propósitos.

Para evaluar el comportamiento del modelo, se procedió a efectuar las simulaciones de dos módulos físicos de producción ovina desarrollados en el área de estudio.

El modelo predijo de manera razonable la variación de los pesos de los animales, obteniéndose correlaciones de los valores reales y simulados que fluctuaron entre 93,2 y 94,8% ($P < 0,001$). Se obtuvieron valores similares a la realidad en la producción de lana y carne por hectárea, pero se subestimaron las tasas reproductivas.

Es de especial importancia mejorar el modelo, particularmente en los aspectos relacionados con el crecimiento de los pastizales, y el proceso de consumo efectuado por los ovinos en condiciones de pastoreo.

Palabras claves: ovinos, modelos de simulación, sistemas de producción, pastizales.

LITERATURA CITADA

- ARC-AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. 1980. The nutrient requirement of ruminant. Livestock. London. 350 p.
- ARNOLD, G.W.; CAMPBELL, N.A. and GALBRAITH, K.A. 1977. Mathematical relationships and computer routines for a model of food intake liveweight change and wool production in grazing sheep. *Agricultural Systems* 2: 209-226.
- BLACKBURN, H.D.; CARTWRIGTH, T.C.; GRAHAM, H.M. and RUVUNA, F. 1987. The Texas A & M sheep and goat simulation models. Texas Agricultural Experiment Station. Texas, USA. Bulletin 1559. p.: 26-27.
- CHARLES-EDWARDS, D.A. 1982. Physiological determinants of crop growth. *Academic Press*. p.: 4-5.
- CLARO M., DANIEL. 1978. Reproducción de los ovinos de Magallanes. I Tasa de fertilidad y tasa mellicera. *Agricultura Técnica (Chile)* 38: 21-25.
- CLARO M., DANIEL. 1978. Reproducción de los ovinos de Magallanes. II Tasa de mortalidad de ovejas y corderos. *Agricultura Técnica (Chile)* 38: 73-77.
- CHRISTIAN, K.R.; FREER, M., DONNELLY, J.R., DAVISON, J.L. and ARMSTRONG, J.S. 1978. Simulation of grazing systems. Pudoc. Wageningen. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. 115 p.
- CRUZ M., G. y LARA A., A. 1987. Evaluación de la erosión del área de uso agropecuario de la XII Región, Magallanes y de la Antártica chilena. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile. 20 p. 1 mapa, esc. 1:500.00.
- DOBERTI N., HECTOR y RUZ J., EMILIO. 1981. Aspectos climáticos en las distintas zonas ecológicas de uso ganadero en la XII Región. *Agricultura Técnica (Chile)* 41: 153-163.
- ELSEN J.M.; WALLACH D. and CHARPENTEAU J.L. 1989. The calculation of herbage intake of grazing sheep: A. Detailed comparison between models. *Agricultural Systems* 26: 123-160.
- FORRESTER, J.W. 1972. Principles of systems. Wright-Allen Press. Cap. 5. p.: 5.1-5.15.
- FRANCE, J.; NEAL, H.D. and PROBERT, D.W. 1983. A model for evaluating lamb's production systems. *Agricultural Systems* 10: 213-244.
- FREER, M. 1981. The control of food intake by grazing animals. In: Morley F.H.W. (ed.). *Grazing Animals*. Amsterdams, Elsevier Scientific. World Animal Science. Vol B1, Cap. 6. p.: 105-124.
- MANTEROLA, B.H. 1986. Nutrición y producción ovina. En: García D., Guillermo (ed.). *Producción ovina*. Universidad de Chile, Fac. de Agronomía, Depto. Producción Animal. Santiago. Chile. p.: 171-198.
- MAF-MINISTRY OF AGRICULTURE AND FISHERIES. s/f. Farm production & practice. Shepp wool production. Nutritional and seasonal effects in long woolled ewes. Information Service, MAF, Private Bag. Wellington, New Zealand.
- PEART, J.N. 1982. Lactation of suckling ewes and does. In: Coop, I.E. (ed.). *Sheep and goat production*. Amsterdam, Elsevier Scientific World Animal Science. Vol C1, Cap. 6. p.: 119-134.
- PENNING, P.D. 1982. Cría artificial de corderos. En: Commonwealth Agricultural Bureaux. *Manejo y enfermedades de las ovejas*. Edit. Acribia. Zaragoza, España. p.: 282-296.
- PEREZ C., CLAUDIO. 1987. Sistemas de producción ovina con pariciones en veranadas, para el sector de San Sebastián. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), E.E. Kampenaike, Area de Producción Animal, Informe Técnico 1986/87, Punta Arenas, Chile. 154 p.*
- PEREZ C., CLAUDIO; MIHOVILOVIC B., EDUARDO; VUKUSICH V., MARIANO y COVACEVICH C., NILO. 1989. Sistemas de producción animal en seis localidades de la XII Región. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), E.E. Kampenaike, Area de Producción Animal, Informe Técnico 1988/89, Punta Arenas, Chile. 190 p.*

*La información contenida en estos documentos es accesible sólo a través de sus respectivos autores o de autoridades del INIA.

- RUZ J., EMILIO y COVACEVICH C., NILO. 1988. Praderas en la Región Austral XII Región (Magallanes). En: Ruiz N., Ignacio (ed.). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago, Chile. p.: 600-601.
- SILVA G., M.; MANSILLA M., A. y CASO, I.J. 1985. Influencia de la condición corporal en el consumo de forraje de ovejas adultas. Avances en Producción Animal 10 (1-2): 79-88.
- SILVA G., MARIO, SAEZ T., LUIS, MANSILLAM., ALBERTO, SQUELLA N., FERNANDO, CREMPIEN L., CHRISTIAN y RODRIGUEZ S., DAVID. 1987. Desarrollo y validación de un modelo dinámico de producción ovina. Avances en Producción Animal. 12 (1-2): 139-158.
- STANDING COMMITTEE ON AGRICULTURE, RUMINANTS SUBCOMMITTEE. 1990. Feeding standars for australian livestock. CSIRO. 266 p.
- THOMPSON, K.F. and HUGHES, T.P. s/f. The stock unit: A Review. Animal Science Group. Lincoln College. New Zeland. 9 p.
- VERA, R.R.; MORRIS, J.G. and KOONG, L.J. 1977. A quantitive model of energy intake and partition in grazing sheep in various physiological states. Anim. Prod. 25: 133-153.
- VUKUSICH B., MARIANO. 1987. Sistema de producción ovina, en el distrito agroclimático Cerro Sombrero de la XII Región. En: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), E.E. Kampenaike, Area de Producción Animal, Informe Técnico 1988/89, Punta Arenas, Chile. 154 p.*
- WERNLI K., C.; DOBERTI N.H.; SCHMITT, M.J.; ALONSO, O. y CERDA, D. 1977. Estudio sobre valor nutritivo de las praderas en Magallanes. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Estación Experimental Kampenaike (Punta Arenas), Estación Experimental La Platina (Santiago). Boletín Técnico N° 10. 54 p.
- WHITE, D.H.; BOWMAN, P.J.; MORLEY, F.H.W.; Mc MANNUS; W.R. and FILAN, S.J. 1983. A simulation model of a breeding ewe flock. Agricultural Systems 10: 149-189.

*La información contenida en estos documentos es accesible sólo a través de sus respectivos autores o de autoridades del INIA.