

# MODELO DE SIMULACION PARA EL ESTUDIO DEL MANEJO DE SISTEMAS PASTORILES DE OVEJAS LECHERAS EAST FRIESIAN. VALIDACION DEL MODELO

## *SIMULATION MODEL TO STUDY GRAZING SYSTEM MANAGEMENT OF DAIRY EAST FRIESIAN EWES. MODEL VALIDATION.*

PERCY ABASTO F., CLAUDIO AGUILAR G., FERNANDO GARCIA G.  
y ALVARO GARCIA M<sup>1</sup>

Departamento de Zootecnia  
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Casilla 306, Santiago 22

---

### Summary

A simulation model was developed to study production system of East Friesian dairy ewes in Mediterranean ecosystem. It includes the simulation of the effects of management changes on production and reproduction of ewes during mating, gestation and lactation. The equations used by the model includes the interactions of physiological condition of the animals, pasture quality, nutritional value of the supplement, stocking rate and feed intake. The model estimates energy partition of maintenance, gestation, weight gain and milk production. Results obtained from the model were compared to those obtained experimentally. Validation of the model shows good adjustment with real production data of East Friesian dairy ewes.

**Key words:** simulation, East Friesian ewes, grazing, model, validation.

Ciencia e Inv. Agr. 26:49-60

### INTRODUCCION

En los sistemas de producción ovina existe un gran número de factores que inciden en su operación. El factor nutricional constituye probablemente el de mayor importancia en la productividad y resultado económico de la empresa, por lo que se hace necesario estudiar la utilización de nutrientes en función del potencial productivo para lograr una máxima conversión alimenticia.

El ciclo anual de las praderas, al estar ligado a las condiciones medio ambientales, ocasiona déficits nutricionales en los requerimientos de los animales, situación que afecta significativamente la productividad. La producción ovina en general ocupa grandes áreas, que en su mayoría son de baja productividad, lo cual complica más la crianza de animales, en especial si hablamos de ovejas lecheras que tienen un alto potencial y por lo tanto altos requerimientos nutricionales. Ello hace que se deban incorporar sistemas mucho más tecnificados, que permitan adicionar a la dieta de estos animales suplementos o concentrados de alto valor energético.

El manejo de la pradera y el uso de suplementos en

animales de elevado potencial productivo es el factor fundamental que determina su productividad y por lo tanto el abastecimiento de los elementos nutritivos al animal. Para un entendimiento de la interacción entre la planta y animal en pastoreo, es necesario hacer estimaciones de producción y consumo de forraje. Una técnica para estimar de una manera rápida y utilizando un gran número de factores interrelacionados es usar modelos de simulación que permitan una estimación rápida y confiable

El uso de modelos de simulación que permitan predecir la respuesta de estos animales bajo diferentes escenarios productivos permitirá evaluar diferentes alternativas, reduciéndose de esta manera el tiempo que lleva experimentar en campo las mismas alternativas. El modelo desarrollado integra variables biológicas y físicas, permitiendo predecir la respuesta productiva del ganado ovino lechero en condiciones semi-extensivas y extensivas de producción. La hipótesis planteada es que mediante el uso de un modelo de simulación es posible predecir y cuantificar los efectos de cambios de manejo en los parámetros productivos y reproductivos de las ovejas lecheras East Friesian, con un error menor a 10%.

<sup>1</sup> Estudio financiado con el Proyecto FONDEF D97- I 2008 y con apoyo del Programa DAAD de Postgrado en Prod. Animal.

Este estudio tiene como objetivo general diseñar un modelo matemático que permita evaluar alternativas de manejo de ovejas lecheras East Friesian a pastoreo.

## MATERIALES Y METODOS

Se desarrolló un modelo de simulación en lenguaje de programación Visual Basic 5, que se clasifica como predictivo, dinámico y estocástico. En su construcción se homologa el funcionamiento del sistema, tomando en cuenta los aspectos más relevantes. Los componentes básicos considerados fueron pradera, animales y manejo. En base a los componentes anteriormente indicados se pueden tomar decisiones en cuanto a: período a simular (encaste, gestación y lactación), tipo de pradera y nivel de suplementación a utilizar, tiempo de suplementación y carga animal.

La exactitud en la predicción del modelo de simulación se encuentra dentro del rango definido por los objetivos planteados, de esta manera, su aplicabilidad es solo para aquellos aspectos para los cuales fue construido. Por tal motivo las principales constricciones del modelo se pueden resumir en : aplicable a ovejas lecheras East Friesian, con sistemas de producción extensivos y semi-extensivos (pastoreo y confinamiento) y se considera que los animales se encuentran dentro de una zona de termoneutralidad.

Por otro lado, dado los componentes considerados, los factores más importantes que se pueden sensibilizar son : tasas de crecimiento y digestibilidad de las praderas, lo que permite simular años normales, buenos y malos; producción potencial de leche por lactancia, lo que permite caracterizar en la simulación animales de alto, mediano y bajo potencial genético; cantidad y calidad de suplemento a suministrar según el período en que se encuentran los animales (encaste, gestación y lactación), mediante el cual se puede simular el grado de intensificación del sistema de producción y su repercusión sobre los parámetros productivos y reproductivos del rebaño.

### Estimación del consumo de materia seca

El componente consumo, tiene por finalidad predecir el consumo de forraje y suplemento en condiciones de pastoreo. La estimación se hace a partir de un consumo potencial, modificado por factores que representan efectos variables que afectan el consumo (Figura 1).

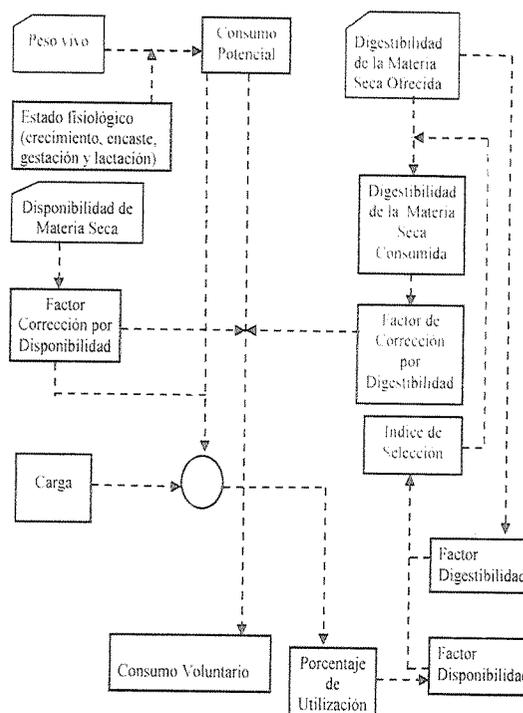


Figura 1.- Diagrama de flujo del consumo voluntario de materia seca.

Flow chart of voluntary dry matter intake.

Se considera un consumo potencial (CPO), controlado por las características del animal, definido como la máxima capacidad del consumo del animal que se expresa cuando las características de la dieta no lo limitan. Para estimar el CPO se utiliza el peso vivo y el estado fisiológico (White *et al.*, 1979). El peso del animal está relacionado con el tamaño del animal (función de la raza), en el modelo se considera un peso maduro promedio de 75 kg que representa un animal con buena condición corporal.

$$CPO = (90 * PV^{0.75}) / 1000 \quad (1)$$

Donde:

CPO = Consumo potencial (kg/día/animal)

90 = Coeficiente (g)

PV = Peso vivo (kg)

El coeficiente 90 es un valor promedio obtenido de ensayos experimentales realizados por varios investigadores (Battro, O., Defossé, A. y Salgado, E., 1998). Este coeficiente varía en función del peso vivo del animal adulto y la raza.

### Consumo de ovejas gestantes y lactantes

El CPO es modificado con el estado fisiológico.

Hadjipieris y Holmes (1966) registraron que el consumo de ovejas estabuladas, alimentadas con dietas de buena calidad, no es alterado cuando gestan un solo feto, mientras que con 2 o 3 fetos declina hacia las etapas más avanzadas de la preñez.

Las ovejas lactando consumen en promedio 26 a 30% más que las ovejas secas. Arnold y Dudzinski (1967) y Arnold (1975) reportan incrementos de 25, 30 y hasta 50% en el consumo de ovejas lactantes respecto a las secas. Forbes (1977) indica que el consumo de las ovejas lactantes alcanza su máximo entre la cuarta y quinta semana post-parto. El incremento progresivo durante la lactancia puede alcanzar como máximo, valores de 70% mas altos que los registrados en gestación avanzada, los valores mas altos se han encontrado en ovejas amamantando mellizos y trillizos (Peart *et al.*, 1979, citado por Silva, 1983). Las ovejas en lactancia incrementan el tiempo dedicado al pastoreo respecto a las ovejas secas (25 a 45%) (Treacher, 1979, citado por Silva,1983), lo que indica un incremento en el consumo.

El modelo utiliza un factor de consumo potencial que representa el patrón de variación del consumo a través de la lactancia (Cañas *et al.*, 1986).

Las funciones utilizadas para ovejas que lactan únicos (FACUNO1), mellizos (FACUNO2) y trillizos (FACUNO3) son las siguientes:

$$FACUNO1 = (1,0059+0,01921*d)-(0,00021967*d^2) \quad (2)$$

$$FACUNO2 = (1,2093+0,019667*d)-(0,0002253*d^2) \quad (3)$$

$$FACUNO3 = (1,24+0,0197*d)-(0,000234*d^2) \quad (4)$$

Estas ecuaciones son validas hasta los 110 días, a partir del cual no alteran el consumo potencial.

### Estimación del consumo voluntario (CVO)

El consumo voluntario esta regulado por las características del animal y de la dieta que imponen restricciones al consumo.

La representación de dichas características se hace uniendo el modelo de índice de selección para consumo de forraje y el modelo de estimación de consumo en animales a pastoreo con suplemento (Figura 2), que considera la estimación de los efectos aditivos, sustitutivos y complementarios, propuestos por Aguilar (1997). Las ecuaciones utilizadas se presentan en el Cuadro 1.

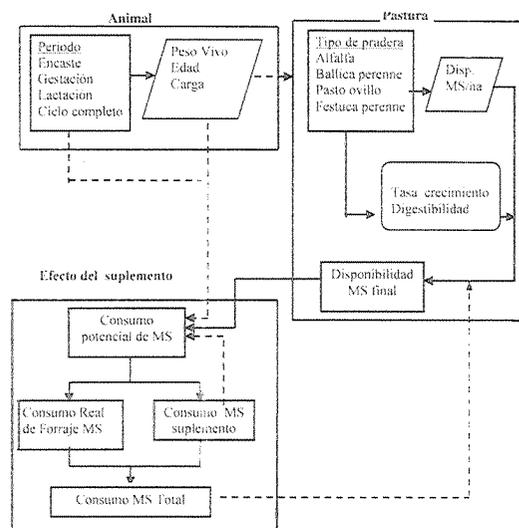


Figura 2.- Relaciones entre el consumo de forraje y suplementación.

*Relation on grazing intake and supplementation*

Cuadro 1.- Estimación del consumo voluntario (CVO). Adaptado de Aguilar (1997).

*Voluntary intake estimation.*

<b>Para el consumo de forraje:</b>	
Factor corrección por disponibilidad	FDISP = 1 - e <sup>(-0.0029 * DD)</sup>
Corrección selectividad por digestibilidad	SDIG = 0,5 - 0,625*DGO SDIG = 0 cuando DGO > 0,8
Porcentaje de utilización	PU = (CPO*FDISP*carga)/DD
Corrección selectividad por disponibilidad	SDISP = 1,25-2,5*PU 0,1 < PU < 0,5 SDISP = 1 si PU < 0,1 SDISP = 0 si PU > 0,5
Índice de selección	ISE = 1+SDIG*SDISP
Digestibilidad de lo consumido	DGC = DGO * ISE
Factor corrección por digestibilidad	FDIG = 1,675*DGC-0,34
Consumo voluntario	CVO = CPO*FDISP*FDIG

**Para el consumo de concentrado:**

Efecto aditivo neto	CF = 1,27-0,0154*(DGO*100)
Si FDISP < 0,984	
Efecto complementario del concentrado	DI = CPO-CVR CVR = Consumo voluntario real

\* Si DI < SUPLAC se tienen las siguientes relaciones:

Efecto sustitutivo del concentrado	ES = (SUPLAC-DI)*(1- CF)
Efecto aditivo del concentrado	EA = (SUPLAC-DI)*CF
Consumo real de MS del forraje (kg/día)	CONSF0 = CVR*ES
Consumo total de MS (kg/día)	CONMST = CVR+DI+EA

\* Si DI >= SUPLAC las relaciones serán las siguientes:

Efecto aditivo del concentrado	EA = 0
Efecto sustitutivo del concentrado	ES = 0
Consumo real de MS del forraje (kg/día)	CONSF0 = CVR
Consumo total de MS (kg/día)	CONMST = CVR+SUPLAC
Si FDISP > 0,984 :	DI = SUPLAC

Efecto complementario	DI = 0
Efecto aditivo	EA = SUPLAC + FDISP
Efecto sustitutivo	ES = SUPLAC * (1-FDISP)
Consumo voluntario real	CVR = CPO
Consumo real de MS del forraje	CONSF0 = CPO - ES
Consumo total de MS (kg/día)	CONMST = CPO + EA

### Estimación del consumo de energía metabolizable.

Para estimar el consumo de energía metabolizable total (CEMT) se calcula la energía metabolizable (EM) aportada por la pradera y la energía metabolizable (SUPL\*CONCALSUP) aportada por el suplemento.

$$EM = 4,4 * DGC * 0,81 \quad (5)$$

Donde:

EM = energía metabolizable de la pradera (Mcal/kg)

$$CEM = CVR * EMT \quad (6)$$

La energía metabolizable total se estimó de la siguiente manera:

$$EMT = ((CONSFO * EM) + (SUPL * CONCALSUP)) / CONSMST \quad (7)$$

Donde:

CONSFO = Consumo de forraje kg/día/animal

SUPL = Cantidad de suplemento suministrado kg/día/animal

CONCALSUP = Concentración calórica del suplemento Mcal/kg de MS

CONSMST = Consumo de Materia Seca Total en kg/día/animal

$$CEMT = CONMST * EMT \quad (8)$$

La utilización de la energía consumida por las ovejas en sistemas extensivos se realiza a través de los siguientes procesos fisiológicos; regulación térmica, mantenimiento de las funciones vitales, costo de cosecha, encaste, gestación, lactación y ganancia de peso.

### Regulación térmica

En cuanto a la regulación térmica, se considera que los animales se encuentran en zona de termoneutralidad.

### Estimación del requerimiento de mantención

Los alimentos que aportan las calorías para cubrir las necesidades energéticas del animal son de variado origen, resultando en diferentes procesos metabólicos que influyen en el valor de la eficiencia de mantención  $k_m$ .

La proporción de EB de alimento que es metabolizado, expresada en relación EM/EB, denominada

(metabolicidad) QM en la nomenclatura del ARC (1980), tiene efecto sobre el  $k_m$ . En el modelo se cuantifica el  $k_m$  mediante la siguiente relación:

$$k_m = 0.35 * QM + 0.503 \quad (9)$$

La medida convencional del efecto del tamaño metabólico en la producción de calor es el metabolismo de ayuno, el que por definición elimina el efecto del IC por consumo de alimento (Webster, 1979).

La tasa metabólica de ayuno para los ovinos varía entre 55-60 kcal por kg  $PV^{0.75}$ /día (Blaxter y Winman, 1964). Esta tasa metabólica no es constante (Cañas, 1974), y puede ser expresada como una función del consumo. Ello se puede explicar debido a que el nivel de consumo produce cambios de peso en los órganos como: hígado, corazón y estomago, cuyos tejidos poseen altas tasas metabólicas (Cañas, 1974). Al mismo tiempo se sabe que la tasa metabólica se modifica con la edad (Jarrige *et al.*, 1980) siendo los valores más altos en animales jóvenes, que van disminuyendo con el aumento de edad.

Para el cálculo del requerimiento del metabolismo de ayuno de las ovejas se ajusta por edad (Silva, 1983), con la siguiente función:

$$M1 = 58.433 * (Edad^{-0.09599}) \quad (10)$$

Donde:

M1 = Tasa metabólica en kcal EN/kg de peso metabólico

Edad = Edad (años)

Por consiguiente, el requerimiento de mantención (RM) será:

$$RM = ((M1 * PV^{0.75}) / k_m) / 1000$$

El costo de cosecha (CC)(Cañas y Gasto, 1974 citado por Aguilar, 1997), tiene al menos dos componentes. Uno es el gasto de energía que tienen los animales al caminar, el cual es mayor cuando la disponibilidad de forraje es baja. El otro, un efecto de estrés que se le produce a los animales debido a la falta de forraje. En el modelo se considera que las crías en lactación no tienen costo de cosecha, éstas sólo tienen gasto de energía por efecto de la caminata tras su madre y no tienen estrés para conseguir su alimento, ésta asunción se hace hasta el momento del destete. Las ovejas que están en con-

finamiento absoluto también se asume que tienen un CC = 0.

Se estima que el gasto de actividad muscular (AA) kcal EN/día está en función del peso del animal

$$AA = 2,45 * \text{peso} \quad (11)$$

Luego el balance de energía (BB) será igual al consumo de leche expresado en EM, menos el requerimiento de mantención y la actividad física de caminar.

En animales a pastoreo se debe tener presente que el requerimiento energético para la actividad física de cosecha del forraje puede llegar a ser muy importante, en relación a su consumo voluntario. En este modelo se utiliza la ecuación de Rozas *et al.* (1978), para estimar el costo de cosecha.

$$M2 = 548,53 * (DE - 922,66) - 0,400617 \quad (12)$$

Donde:

M2= Costo de cosecha en kcal EM por kilo de peso vivo

$$DE = 4,4 * DGC * DD \quad (13)$$

Donde:

DE= Disponibilidad energética de la pradera en kcal EM/ha

$$CC = M2 * PV \quad (14)$$

Donde:

CC = Costo de cosecha (kcal EM/día)

Si el animal esta en BB negativo, movilizará energía desde sus tejidos para cubrir los requerimientos. Cada kilogramo de peso movilizado en animales aporta el equivalente de 4,78 Mcal de energía metabolizable.

**Estimaciones durante el período de encaste**

La condición corporal ha sido estimada utilizando la siguiente formula (Abasto, 1998):

$$CCO = 3,1768 + 0,21421 * \text{Edadenc} - 0,0218962 * \text{Edadenc}^2 \quad (15)$$

Donde:

CCO = Condición corporal inicial  
Edadenc = Edad promedio del rebaño al momento del encaste (años)

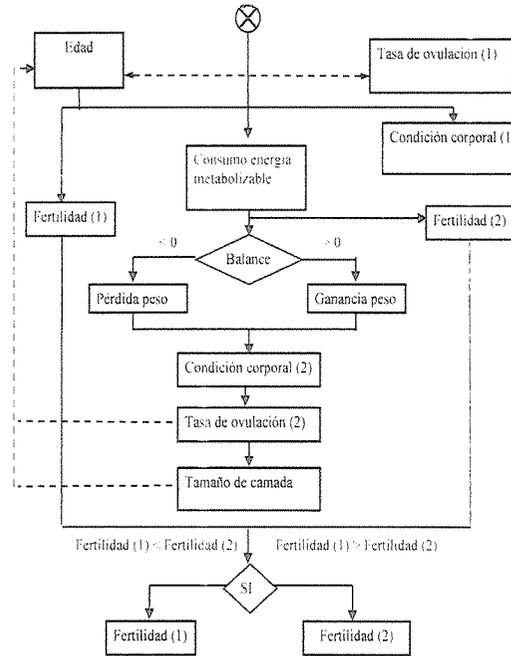


Figura 3.- Relación entre el balance de energía y la fertilidad. Energy balance and fertility relation.

La condición corporal también es afectada por la variación de peso del animal (Figura 3) (Abasto, 1998).

$$CCOF = CCO + 0,037 * GPES \quad (16)$$

Donde:

CCOF = Condición corporal final  
GPES = Ganancia de peso del animal (kg/día)

La fertilidad corregida en función de la edad del animal ha sido estimada de acuerdo a la siguiente función (Abasto, 1998):

$$FERT2 = 0,64 + 0,116 * \text{Edadenc} - 0,014 * \text{Edadenc}^2 \quad (17)$$

Donde:

FERT2 = Fertilidad del rebaño (%)

Se realizó otro cálculo de fertilidad en función de la EM de la dieta (Catalano y Sirhan, 1993)

$$FERT1 = (1 / (0,029 - 0,001 * EM)) \quad (18)$$

Donde:

FERT1 = Fertilidad del rebaño (%)

EM = Energía metabólica de la dieta (MJ/animal/día).

La fertilidad a su vez es influenciada por la variación de peso del animal (Abasto, 1998).

$$\text{FERT1} = \text{FERT1} + 0,02 * \text{GPES} \quad (19)$$

La prolificidad se estima mediante la siguiente función matemática (Abasto, 1998)

$$\text{PROLIF} = - 0,1182 + 0,003145 * \text{PV} \quad (20)$$

Donde:

PROLIF = Prolificidad del rebaño (%)

PV = Peso vivo del animal al encaste (kg).

La tasa de ovulación es una característica variable entre razas, y dentro de una raza, para la East Friesian se consideró un valor promedio de 2,5 para una edad de 3 años y un peso de 75 kg, este valor al mismo tiempo es afectado por la variación de peso y condición corporal del animal.

Las ecuaciones que permiten estimar estos efectos son las siguientes:

$$\text{TO} = \text{TOI} - (0,04 * \text{GPES}) \quad (21)$$

Donde:

TOI = Tasa de ovulación inicial

El tamaño de camada está relacionado con la tasa de ovulación, para la estimación de ésta se utilizó la siguiente función matemática (Abasto, 1998)

$$\text{TCAM} = 1,12 + 0,977143 * \text{TO} - 0,142857 * \text{TO}^2 \quad (22)$$

Donde

TCAM = Tamaño de camada

TO = Tasa de ovulación

#### Estimaciones para el período de lactación

Para estimar la producción de leche en el modelo, se utiliza la información reportada por Portolano *et al.* (1996) y Groenewald *et al.* (1995).

Se asume que la producción potencial se distribuye en aproximadamente 200 días, con una producción promedio aproximada en dicho período de 600 kg. de leche. La producción total se distribuye diariamente en forma proporcional, ajustada a una

función gamma, la función es la siguiente:  
Para ovejas con una cría (simples)

$$a5 = 0,00694803 * (d^{0,14125726}) * e^{(-0,0100484 * d)} \quad (23)$$

Para ovejas con dos crías (dobles)

$$a5 = 0,00769662 * (d^{0,14835124}) * e^{(-0,01074001 * d)} \quad (24)$$

Para ovejas con tres crías (triples)

$$a5 = 0,00814808 * (d^{0,14929054}) * e^{(-0,01090757 * d)} \quad (25)$$

Donde:

a5 = % diario de la producción potencial total de leche

d = Días de lactancia

Conociendo el potencial de producción de leche por lactancia de la oveja se puede estimar la producción diaria como sigue:

$$\text{PP} = \text{PPL} * a5 \quad (26)$$

El valor energético o concentración energética diaria de la leche (AFRC, 1990) se estima de la siguiente manera.

$$\text{VE} = 32,8 * \text{CGL} + 2,5 * d + 2204 \quad (27)$$

Donde

VE = Valor energético de la leche (MJ/kg.)

CGL = Contenido de grasa en g/kg. de leche

d = Día de lactancia en el que se encuentra el animal

En ovejas East Friesian se estima un promedio de CGL de 61,1 g.kg<sup>-1</sup>. (Niznikowski, R. *et al.* 1992)

El VE varía a lo largo de la lactancia. Conociendo la PPL y su concentración energética, se estima el requerimiento energético diario para PL como sigue

$$\text{RLAC} = (\text{PPL} * \text{VE}) / \text{KL} \quad (28)$$

Donde:

KL = Eficiencia de utilización de EM en producción de leche.

Christian *et al.* (1980) determinaron un valor de KL de 72,7%. Las estimaciones de KL, en ovejas, se encuentran cercanas al 73% y son función del QM de la dieta. En el modelo, KL se estima según la

relación (ARC, 1980):

$$KL = 0,28 * QM + 0,466 \quad (29)$$

La estimación de pérdida de peso del animal se realizó mediante la siguiente función. La pérdida de peso se considera sólo hasta la 4 semana de lactancia (Abasto, 1998).

$$LIMITE = (PVinlac - 0,217857 * d - 0,000510204 * d^2) \quad (30)$$

Donde

PVinlac = Peso vivo del animal al inicio de la lactación (kg.)

LIMITE = Límite de pérdida de peso (kg/día)

d = Día de lactancia

#### Estimaciones para el período de gestación

Las necesidades energéticas sobre el nivel de mantenimiento de la oveja gestante es función del desarrollo del feto, comenzando a ser importantes los últimos 70 días de gestación (Ratray *et al*, 1974). La baja eficiencia en la utilización de la energía por los tejidos fetales, unido al rápido incremento de peso que experimenta el feto en las últimas semanas de gestación, resultan en un considerable incremento de los requerimientos de energía de la oveja fundamentalmente en el último tercio de gestación.

Hacia el final de la preñez, una oveja gestando puede requerir, aproximadamente, el doble de energía requerida por una oveja seca, para mantener su peso y gestando mellizos sus necesidades pueden ser 2,5 a 3 veces mayores (Russel, 1979).

ARC (1980) presenta estimaciones de los requerimientos diarios de EM de ovejas de 75 kg de peso gestando 1 y 2 fetos, en función de los días de preñez. Basándose en estos datos, considerando que hasta el día 70 de gestación los requerimientos energéticos sobre el nivel de mantención son insignificantes. El requerimiento energético de gestación se estima de la siguiente manera:

Para ovejas gestando una cría

$$RG = RM * (0,6046 * e^{(0,7235 * d/100)} - 1) \quad (31)$$

Para ovejas gestando dos crías (melliceras)

$$RG = RM * (0,5235 * e^{(0,9931 * d/100)} - 1) \quad (32)$$

Para ovejas gestando tres crías (trilliceras)

$$RG = RM * (0,5135 * e^{(1,061 * d/100)} - 1) \quad (33)$$

Donde:

RG = Requerimiento de gestación (Mcal/día)

d = Días desde inicio de la gestación

Las ecuaciones anteriores establecen una relación entre RM y RG de tal forma que las ovejas de menor peso, con menor RM, tendrán menor RG, debiendo producir corderos más livianos al parto que ovejas más pesadas.

Si la oveja gestante se encuentra en balance energético negativo, debe movilizar reservas corporales para satisfacer la demanda del desarrollo fetal. La eficiencia de utilización de energía de la reserva corporal en el proceso de gestación es un área de investigación poco explorada. En el modelo se utiliza el valor de 20%.

El peso al nacimiento de las crías ha sido estimado primero en función al peso de la oveja no gestante, para ello se utilizó la siguiente función (Geisler y Jones, 1979):

$$PN = 2,419 - 17,574 * e^{(-0,01976 * d)} - 0,00079 * TCAM + 0,0046 * PVNG \quad (34)$$

$$PNac = e (PN) \quad (35)$$

Donde:

PNac = Peso al nacimiento de las crías (kg)

d = Días desde el inicio de la gestación

TCAM = Tamaño de camada (1, 2 y 3) para únicos, mellizos y trillizos

PVNG = Peso vivo de la oveja no gestante (kg)

El peso al nacimiento de las crías a su vez se corrige en función de la ganancia o pérdida de peso de la oveja, para ello se utiliza las siguientes funciones.

$$PNac1 = PNac1 + 0,047 * GPES \quad (36)$$

$$PNac2 = PNac2 + 0,052 * GPES \quad (37)$$

$$PNac3 = PNac3 + 0,057 * GPES \quad (38)$$

Donde:

PNac1 = peso al nacimiento de corderos únicos

PNac2 = peso al nacimiento de corderos mellizos

PNac3 = peso al nacimiento de corderos trillizos

GPES = Variación de peso de la oveja gestante

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para la validación se asumió como criterio la definición aportada por Shannon (1988) y la propuesta por Black *et al.* (1993), es decir, comparación mediante procedimientos estadísticos de los resultados de la simulación con los resultados provenientes de experimentos bien controlados.

Por otra parte también se utilizaron comparaciones gráficas y evaluaciones subjetivas que constituyen test aceptables en la validación de los modelos.

### Validación de la producción de leche y cambio de peso de las ovejas

La verificación de la producción de leche y cambio de peso de las ovejas se llevó a cabo con el trabajo de investigación de Niznikowski *et al.* (1992), en el que utilizaron 53 ovejas East Friesian de primer parto, estos animales fueron manejados en condiciones extensivas de pastoreo.

En el cuadro 2 se presentan los datos de producción de leche promedio por semana (1 a 12 semanas), para los valores observados y los generados por el modelo.

**Cuadro 2.-** Producción de leche promedio por semana en ovejas East Friesian. Valores experimentales y estimados por el modelo.  
*Average weekly milk production of East Friesian ewes. Experimental results and model estimations.*

Semana	Valor Observado (kg)	Valor Estimado (kg)
1	0,400	0,420
2	0,450	0,460
3	0,470	0,475
4	0,500	0,650
5	0,471	0,490
6	0,400	0,450
7	0,350	0,400
8	0,308	0,355
9	0,275	0,300
10	0,260	0,275
11	0,240	0,255
12	0,200	0,215
Prom.	0,360	0,395
STD <sup>1</sup>	0,102	0,123
CV <sup>2</sup>	28,39	31,05

<sup>1</sup> STD = Desviación Estándar  
<sup>2</sup> CV = Coeficiente de variación

Con los datos indicados anteriormente para producción de leche (PL) se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

Para los valores observados:

$$PL = 3,30290258 * SEMANA^{0,49386725} * e^{(-0,17425608 * SEMANA)} \quad R^2 = 0,97$$

Para los valores generados por el modelo:

$$PL = 3,42410185 * SEMANA^{0,60872709} * e^{(-0,19573734 * SEMANA)} \quad R^2 = 0,98$$

La prueba de "t" para la diferencia entre las medias de los parámetros (a, b y c) observados y los estimados por el modelo, indicó eran estadísticamente iguales ( $p < 0,001$ ).

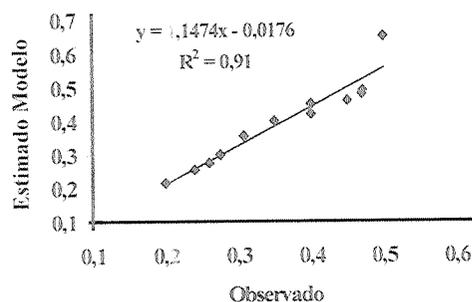
Para la validación de la producción de leche también se realizó un análisis de regresión lineal entre los valores observados y los valores estimados por el modelo (Figura 4). Con este procedimiento se examinó las propiedades del modelo lineal.

$$Y = a + b X$$

Donde:

Y representa los valores estimados por el modelo

X representa los valores observados



**Figura 4.-** Producción de leche de ovejas de primer parto. Ajuste entre valores experimentales y estimados por el modelo.  
*Milk production of first parturition ewes. Experimental data with model estimation fitting.*

La hipótesis nula es que el parámetro "a" es igual a cero y la pendiente "b" es igual a uno. Con la prueba de "t" se concluye que el intercepto pasa por cero ( $p < 0,01$ ) y que la pendiente es uno ( $p < 0,05$ ).

En el cuadro 3 se reportan los datos observados y los generados por el modelo, para cambio de peso en ovejas de primer parto (en porcentaje).

Con los datos de cambio de peso para los valores observados y los generados por el modelo se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

Para los valores observados:

$$PP = 56,8795 - 0,782792 * SEMANA + 0,0430819 * SEMANA^2 \quad R^2 = 0,69$$

Para los valores generados por el modelo:

$$PL = 0,184306235 * DIA^{0,40136086} * e^{(-0,015383228 * DIA)} \quad R^2 = 0,98$$

$$PL = 57,6091 - 0,963636 * SEMANA + 0,0622378 * SEMANA^2 \quad R^2 = 0,96$$

**Cuadro 3.-** Peso promedio semanal en ovejas lactantes. Valores experimentales y estimados por el modelo.  
*Average weekly body weight of dairy ewes. Experimental results and model estimations.*

Semana	Valor Observado (kg)	Valor Estimado (kg)
1	57,00	57,20
2	56,00	56,00
3	54,00	55,10
4	53,00	54,00
5	53,50	53,60
6	54,00	54,60
7	54,00	54,10
8	53,80	54,20
9	54,00	54,30
10	54,20	54,40
11	53,00	54,50
12	53,00	54,60
Prom.	54,12	54,71
STD <sup>1</sup>	1,21	0,98
CV <sup>2</sup>	2,23	1,80

<sup>1</sup> STD = Desviación Estándar  
<sup>2</sup> CV = Coeficiente de variación

Posteriormente, se realizó la prueba de “t” para la diferencia entre las medias de los parámetros (a, b y c) observados y los estimados por el modelo, siendo estadísticamente iguales (p<0,001).

**Validación de la producción de leche y ganancia de peso de las crías**

Para la validación de la de producción de leche, ganancia de peso de las crías y consumo de materia seca de las ovejas se utilizó el trabajo reportado por Doney, J.M. *et al.* (1981) en el que se estudió el efecto de la interacción de la oveja y el genotipo del cordero en la producción de leche de ovejas y el crecimiento de las crías hasta el destete. Se utilizaron 48 ovejas East Friesian, en condiciones semiextensivas de pastoreo.

En el Cuadro 4 se presentan los valores simulados y observados de producción de leche para ovejas East Friesian con una sola cría. Con los datos indicados anteriormente para producción de leche (PL) se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

Para los valores observados:

$$PL = 0,111409216 * DIA^{0,430413679} * e^{(-0,01732708 * DIA)} \quad R^2 = 0,97$$

Para los valores estimados por el modelo:

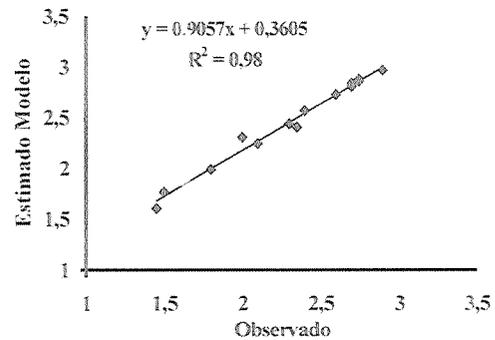
**Cuadro 4.-** Producción de leche en ovejas East Friesian con un cordero. Valores experimentales y estimados por el modelo.  
*Milk production of East Friesian ewes with one lamb. Experimental results and model estimations.*

Día	Valor Observado (kg)	Valor Estimado (kg)
7	2,35	2,40
14	2,70	2,80
21	2,75	2,85
28	2,90	2,96
35	2,75	2,87
42	2,70	2,83
49	2,60	2,72
56	2,40	2,56
63	2,30	2,43
70	2,10	2,24
77	2,00	2,30
84	1,80	1,98
91	1,50	1,76
98	1,45	1,60
Prom.	2,30	2,45
STD <sup>1</sup>	0,47	0,43
CV <sup>2</sup>	20,57	17,67

<sup>1</sup> STD = Desviación Estándar  
<sup>2</sup> CV = Coeficiente de variación

Posteriormente, se realizó la prueba de “t” para la diferencia entre las medias de los parámetros (a, b y c) observados y los estimados por el modelo, siendo estadísticamente iguales (p<0,001).

Para la validación de la producción de leche para ovejas con una cría se realizó también un análisis de regresión lineal entre los valores observados y los valores estimados por el modelo (Figura 5). Con este procedimiento se examinó las propiedades del modelo lineal. La hipótesis nula es que el parámetro “a” es igual a cero y la pendiente “b” es igual a uno. Con la prueba de “t” se concluye que el intercepto pasa por cero (p<0,01) y que la pendiente es uno (p<0,001).



**Figura 5.-** Producción de leche de ovejas con un cordero. Ajuste entre valores experimentales y estimados por el modelo.  
*Milk production of ewes with one lamb. Experimental data with model estimation*

En el cuadro 5 se reportan los valores observados y generados por el modelo, para producción de leche en ovejas East Friesian con dos crías. Con los datos indicados anteriormente para producción de leche (PL) se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

Para los valores observados:

$$PL = 0,900883601 * DIA^{0,285166871} * e^{(-0,016219233 * DIA)} \quad R^2 = 0,98$$

Para los valores estimados por el modelo:

$$PL = 0,928148997 * DIA^{0,293054066} * e^{(-0,015634201 * DIA)} \quad R^2 = 0,98$$

**Cuadro 5.-** Producción de leche en ovejas East Friesian con dos corderos. Valores experimentales y estimados por el modelo.

*Milk production of East Friesian ewes with two lambs. Experimental results and model estimations.*

Día	Valor Observado (kg)	Valor Estimado (kg)
7	3,90	4,10
14	4,00	4,20
21	4,10	4,35
28	4,20	4,56
35	3,80	4,17
42	3,70	3,93
49	3,40	3,72
56	3,30	3,56
63	2,80	3,00
70	2,50	2,85
77	2,40	2,73
84	2,30	2,58
91	2,00	2,26
98	1,90	2,10
Prom.	3,16	3,43
STD <sup>1</sup>	0,22	0,22
CV <sup>2</sup>	26,01	24,12

<sup>1</sup> STD = Desviación Estándar

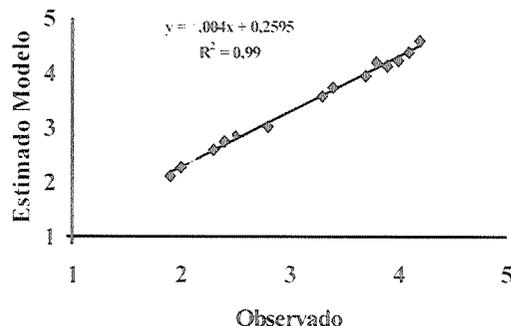
<sup>2</sup> CV = Coeficiente de variación

Posteriormente, se realizó la prueba de "t" para la diferencia entre las medias de los parámetros (a, b y c) observados y los estimados por el modelo, siendo estadísticamente iguales ( $p < 0,001$ ).

Para la validación de la producción de leche para ovejas con dos crías se realizó un análisis de regresión lineal entre los valores observados y los valores estimados por el modelo (Figura 6). La hipótesis planteada al igual que la anterior validación es que el parámetro "a" es igual a cero y la pendiente "b" es igual a uno. Con la prueba de "t" se concluye que el intercepto pasa por cero ( $p < 0,01$ ) y que la pendiente es uno ( $p < 0,05$ ).

Los valores observados y estimados por el modelo

para el consumo de materia seca en ovejas lactantes East Friesian se detallan en el cuadro 6. El análisis de la comparación de medias mediante la prueba de "t", indicó que las varianzas de los valores observados y los estimados por el modelo son homogéneas ( $p > 0,10$ ).



**Figura 6.-** Producción de leche de oveja con dos corderos. Ajuste entre valores experimentales y estimados por el modelo. *Milk production of ewes with two lambs. Experimental data with model estimation fitting.*

**Cuadro 6.-** Consumo de materia seca de ovejas lactantes. Valores experimentales y estimados por el modelo.

*Dry matter intake of dairy ewes. Experimental results and model estimation.*

Semana	Valor Observado (kg)	Valor Estimado (kg)
2	3,50	3,54
6	4,40	4,50

### Validación del consumo de materia seca, para corderos a pastoreo

Para la validación de consumo de materia seca como porcentaje del peso vivo se usó los datos reportados por Friggens N. *et al.* (1997), en el que se determinó consumos de materia seca para nueve razas ovinas al pastoreo.

Los valores promedios de consumo de materia seca como porcentaje del peso vivo se detallan en el cuadro 7. El análisis de la comparación de varianzas mediante la prueba de "F", indicó que las varianzas de los valores observados y los estimados por el modelo son homogéneas ( $p < 0,001$ ). Posteriormente se realizó la prueba de "t" para la diferencia entre las medias de los valores observados y los estimados por el modelo, mostrando que son estadísticamente iguales ( $p > 0,10$ ).

Para la validación del consumo de materia seca para corderos a pastoreo se realizó también un análisis de regresión lineal entre los valores observa-

dos y los valores estimados por el modelo (Figura 7).

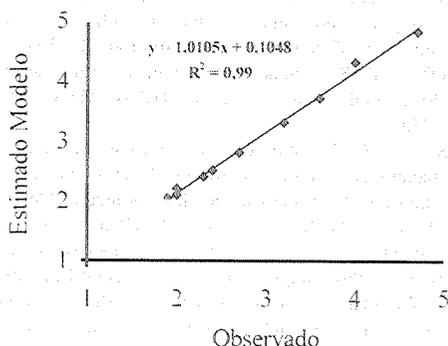
**Cuadro 7.-** Consumo de materia seca de ovejas como porcentaje del peso. Valores experimentales y estimados por el modelo.

*Dry matter intake of ewes like body weight percent. Experimental data with model estimation fitting.*

Semana	N. Obs.	Valor Observado (kg)	Valor Estimado (kg)
10-12	12	4,70	4,80
12-16	13	4,00	4,30
16-20	14	3,60	3,70
20-24	10	3,20	3,30
24-28	8	2,70	2,80
28-32	7	2,40	2,50
32-36	6	2,30	2,40
36-40	6	2,00	2,20
40-44	6	2,00	2,10
44-48	6	1,90	2,05
Prom.		2,88	3,01
STD <sup>1</sup>		0,30	0,31
CV <sup>2</sup>		33,33	32,25

<sup>1</sup> STD = Desviación Estándar

<sup>2</sup> CV = Coeficiente de variación



**Figura 7.-** Consumo de materia seca en ovejas como porcentaje del peso. Ajuste entre valores experimentales y estimados por el modelo.

*Dry matter intake of ewes like body weight percent. Experimental data with model estimation fitting.*

Con este procedimiento se examinó las propiedades del modelo lineal. La hipótesis nula es que el parámetro “a” es igual a cero y la pendiente “b” es igual a uno. Con la prueba de “t” se concluye que el intercepto pasa por cero ( $p < 0,01$ ) y que la pendiente es uno ( $p < 0,001$ ).

En base a los procedimientos de validación empleados para el modelo, se concluye que éste predice adecuadamente la respuesta productiva y reproductiva de ovejas lecheras East Friesian.

### RESUMEN

Se desarrolló un modelo de simulación para estudiar los sistemas de producción de ovejas lecheras East Friesian en condiciones de pastoreo en zona mediterránea, y predecir el efecto de cambios de manejo sobre los parámetros productivos y reproductivos en tres períodos: encaste, gestación y lactación. Las funciones utilizadas consideran interacciones entre los estados fisiológicos del animal, calidad de la pastura, calidad del suplemento, carga animal y alimento consumido. El modelo estima la partición de energía para mantención, gestación, ganancia en peso y producción de leche. Los resultados obtenidos con el modelo fueron comparados con datos obtenidos experimentalmente. La validación del modelo mostró buen ajuste con los datos de producción experimentales de ovejas East Friesian.

### LITERATURA CITADA

- ABASTO, P. 1998. Modelo de simulación para estudiar el efecto de la suplementación en ovejas lecheras East Friesian, Región Metropolitana, Chile. Tesis M.Sc. Producción Animal, P. Universidad Católica de Chile. 115p.
- AGUILAR, C. 1997. Simulación de Sistemas: Aplicaciones en Producción Animal. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía, P. Universidad Católica de Chile. 241 p.
- AFRC. 1990. Technical Committee on Responses to Nutrients, Report No. 5. Nutritive Requirements of Ruminant Animals: Energy. Nutr. Abs & Rev., Series B, 60, (10), 729-804. CAB International, Wallingford, Oxon.
- ARC. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agriculture Bureau, Farnham Royal.
- ARNOLD, G.W. 1975. Herbage intake and grazing behavior in ewes of four breeds at different physiological states. Australian J. Agricultural Research, 26, 1017-24.
- ARNOLD, G.W.; DUDZINSKI, M.L. 1967. Studies on the diet of grazing animal. 2. The effect of physiological status in ewes and pasture availability on herbage intake. Australian Journal Agricultural Research, 18, 39-59
- BATTRO, P., DEFOSSE, A. y SALGADO, E. 1998. Alimentación: evaluación de consumo de borregos 2 y 4 dientes East Friesian, Texel y East Friesian \* Texel, y evaluación de consumo de borregos Frisona \* Texel y Texel \* Frisona. INTA Trelew, Argentina.
- BLACK, J.; DAVIES, G.; y FLEMING, J. 1993. Role of computer simulation in the application of knowledge to animal industries. Australian Journal Agricultural Research 44:541-555.

- BLAXTER, K.L.; y WAINMAN, F.W. 1964. The utilization of the energy of different rations by sheep and cattle for maintenance and for fattening. *Journal of Agricultural Science*. 63:113.
- CAÑAS, R. 1974. The lactational efficiency complex in rats. Ph.D. Thesis. University of California, Davis, USA
- CAÑAS, R.; AGUILAR, C.; y SILVA, J. 1986. Modelo de simulación para el estudio del manejo de sistemas pastoriles de cría ovina. *Validación del modelo. Ciencia e Investigación Agraria* 13(1):53-64.
- CATALANO, R.; y SIRHAN, L. 1993. Flushing en ovinos: importancia de la energía y proteína como determinantes de una mayor prolificidad. *Avances en Producción Animal*, N.18 (1-2): 21-30.
- DONEY, J.M., PEART, J.N.; y SMITH, W.F. 1981. The effect of interaction of ewe and lamb genotype on milk production of ewes and on growth of lambs to weaning. *Animal Production*, 33:137-142.
- FORBES, J.M. 1977. Interrelationships between physical and metabolic control of voluntary food intake in fattening, pregnant and lactating mature sheep: A model. *Animal Production*. 24-91.
- FRIGGENS, N.C.; SHANKS, M.; KYRIAZAKIS, I.; OLDHAM, J.D.; y MC CLELLAND, T.H. 1997. The growth and development of nine European sheep breeds. 1. British breeds: Scottish Blackface, Welsh Mountain and Shetland. *Anim. Sc.*, 65: 409-426.
- GEISLER, P.A.; y JONES, C.M. 1979. A model for calculation of the energy requirements of the pregnant ewe. *Animal Production*, 29, 339-355.
- GROENEWALD, A.V.; FERREIRA, H.J.; VAN DER MERWE, y SLIPPERS, S.C. 1995. A mathematical model for describing and predicting the lactation curve of merino ewes. *Anim. Science*, 61:95-101. *British Society of Animal Science*.
- HADJIPIERIS, G.; JONES, J.G.W.; WIMBLE, R.H.; y HOLMES, W. 1966. Studies on feed intake and feed utilization by sheep. 2. The utilization of feed by ewes. *Agricultural Science*. Cambridge, 66, 341-9.
- JARRIGE, R.; MORAND-FEHR, P.; y HODEN, A. 1980. Consommation d'aliments et d'eau. En *Alimentation des Ruminants*. Ed. por INRA Publications. Francia. 177 p.
- NIZNIKOWKI, R.; JANIKOWSKI, W.; y TYSZKA, Z.J. 1992. Milk fractionation of East Friesian, Polish Corriedale and their F1 crossbred ewes which feed lambs. *Review of Anim. Prod.* Warsaw Agricultural University Poland. Vol. 27, num. 4. 16-21.
- PORTOLANO, B.; SPATAFORA, F.; BONO, G.; MARGIOTTA, S.; TODARO, M.; ORTOLEVA, V.; y LETO, G. 1996. Application of the Wood model to lactation curves of Comisana sheep. *Small Ruminant Research* 24. 7 - 13 p
- RATTRAY, P.V.; GARRET, W.N.; EAST, N.E.; y HINMAN, N. 1974. Efficiency or utilization of metabolizable energy during pregnancy and the energy requirements for pregnancy in sheep. *J. Animal Science*, 38, 383-93.
- ROZAS, R.; CAÑAS, R.; GASTO, J.; AGUILAR, C.; y FRIEDLY, C. 1978. Costo ecológico de cosecha de alimentos en ovinos a pastoreo. IV. Conferencia mundial de producción animal. Bs. Aires, Argentina.
- RUSSEL, A.J.F.; PEART, J.N.; EADIE, J.; MC DONALD, I.; y WHITE, I.R. 1979. The effect of energy intake during late pregnancy on the production from two genotypes of suckler cow. *Anim. Prod.*, 28, 309-327.
- SHANNON, E. 1988. Simulación de sistemas. Diseño, desarrollo e implantación. Editorial Trillas. México, D.F. 427p.
- SILVA R., J. 1983. Modelo de simulación para el estudio de manejo de sistemas pastoriles de cría ovina. Tesis Magister. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- WHITE, D.H., NAGORCKA, B.N. y BIRREL, H.A. 1979. Predicting wool growth of sheep under field conditions. In *Physiological and environmental Limitations to Wool Growth*. ed. J.L. Black & P.J. Reis. University of New England publishing Unit, Armidale, pp. 139-61.