

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
DEPARTAMENTO DE GANADERIA TROPICAL

PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE GANADO DE CARNE
BAJO CONDICIONES DE PASTOREO

TESIS SOMETIDA A LA CONSIDERACION DE LA COMISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEL PROGRAMA CONJUNTO UCR — CATIE PARA OPTAR AL GRADO DE

Magister Scientiae

JORGE EDUARDO RIVADENEIRA SALAS

Turrialba, Costa Rica
1977

Esta Tesis ha sido aceptada en su forma presente por la Comisión de Estudios de Postgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE, como requisito parcial para optar el grado de

MAGISTER SCIENTIAE

JURADO



Consejero

Karel Vohnout, Ph.D.



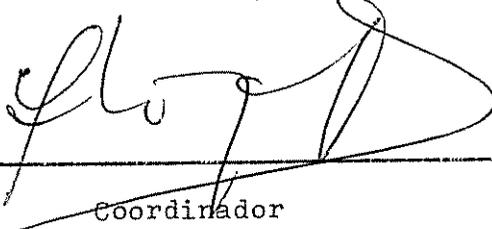
Comité

Oliver Deaton, Ph.D.



Comité

Javier Gainza, M.S.



Coordinador

Sistema de Estudios de Postgrado
de la Universidad de Costa Rica

DEDICATORIA

A mi esposa Germania

A mis hijos Esteban y Sandra

A la memoria de mi padre

A mi madre

A mis hermanos

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento:

- Al Dr. Karel Vohnout, Profesor Consejero, por la orientación y dirección en el desarrollo del presente trabajo.
- Al Dr. Oliver Deaton, miembro del Comité Consejero, por su valiosa colaboración tanto en el trabajo de tesis como en el transcurso de mi estada en este centro de estudios.
- Al M. S. Javier Gaínza, miembro del Comité Consejero, por la orientación matemática brindada en el proceso de análisis.
- Al personal del Departamento de Ganadería Tropical, por su colaboración y amistad brindadas.
- Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP), por su apoyo económico durante la permanencia en este centro.
- A la Escuela de Matemática de la Universidad de Costa Rica, y en su representación al MS. Bernardo Montero, por la cooperación en el presente trabajo.
- Al Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica y Centro de Procesamiento de Datos del IICA, por las facilidades de computación brindadas.
- Al Programa de Información Agropecuaria del Istmo Centroamericano (PIADIC), y en su representación al Sr. Rogelio Coto, por la colaboración económica brindada para la realización del presente trabajo.
- Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP),

por permitir la utilización de datos experimentales.

- En general a todas las personas que con su colaboración y amistad brindadas permitieron el feliz término de este trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Quito, Provincia de Pichincha, Ecuador.

Sus estudios universitarios los realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Quito, donde se graduó como Ingeniero Agrónomo en 1969.

Desde 1969 hasta 1971 obtuvo una beca para el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en donde recibió entrenamiento sobre Producción de Ganado de Carne. A partir de 1971 retornó al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), al Programa de Ganadería de la Estación Experimental Tropical Pichilingue, donde desempeñó el cargo de Jefe de la sección ganadería. En 1975 ingresó en el Departamento de Ganadería Tropical del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), donde se graduó con el título de *Magister Scientiae* en julio de 1977.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Crecimiento del ganado en función de la calidad y cantidad de pasto	3
2.2 Crecimiento compensatorio	3
3. MATERIALES Y METODOS	5
3.1 Localización	5
3.2 Duración	5
3.3 Descripción de la metodología	5
3.3.1 Elaboración del modelo	5
3.3.2 Datos experimentales utilizados	5
3.3.3 Procesamiento de datos	6
3.3.4 Tabulación de la información según parámetros de entradas y salidas	6
4. RESULTADOS Y DISCUSION	10
4.1 Descripción del modelo	10
4.1.1 Consumo de materia seca del pasto	10
4.1.2 Consumo de materia digestible	13
4.1.3 Consumo de energía metabolizable	14
4.1.4 Energía metabolizable para mantenimiento	15
4.1.5 Energía metabolizable para crecimiento .	16
4.1.6 Energía neta para crecimiento	17
4.1.7 Valor calórico de los incrementos de peso	18
4.2 Evolución del modelo	20
4.2.1 Consumo de pasto	21
4.2.2 Digestibilidad	24
4.2.3 Energía neta para crecimiento	25
4.2.4 Metabolismo para mantenimiento	25
4.2.5 Valor calórico de los incrementos de peso	29

	<u>Página</u>
4.3	Predicción del incremento de peso 30
4.3.1	Crecimiento como función de la disponibilidad y calidad del pasto 30
4.3.2	Crecimiento en función del incre- mento de peso previo 32
4.3.3	Crecimiento en función del peso corporal 38
4.4	Evaluación del modelo 41
4.4.1	Consumo en función de la disponibilidad de pasto 41
4.4.2	Consumo de materia digestible 42
4.4.3	Consumo de energía metabolizable 43
4.4.4	Metabolismo para mantenimiento 44
4.4.5	Energía neta para crecimiento 45
4.4.6	Valor calórico de los incrementos de peso 46
4.5	Comportamiento del modelo 48
5.	CONCLUSIONES 50
6.	RESUMEN 51
6a.	SUMMARY 53
7.	LITERATURA CITADA 55

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura No,</u>		<u>Página</u>
1	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto	11
2	Consumo de materia seca en función de la disponibilidad de pasto	10
3	Cantidad de pasto disponible para obtener una unidad de consumo en función de la disponibilidad de pasto	12
4	Consumo de energía metabolizable en función de energía digestible consumida	14
5	Energía metabolizable para mantenimiento en función de la energía neta requerida en mantenimiento	15
6	Energía neta para crecimiento en función de la energía metabolizable	17
7	Tasa de crecimiento como función de la energía neta	19
8	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad y digestibilidad del pasto	31
9	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de MS digestible del pasto	33
10	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la tasa de crecimiento previo	34
11	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la tasa de crecimiento previo	35
12	Crecimiento del ganado en función del crecimiento previo	37
13	Crecimiento del ganado en función del peso corporal	39

<u>Figura No.</u>		<u>Página</u>
14	Efecto de la edad sobre la tasa de crecimiento en hembras bovinas	40
15	Consumo de materia seca en función de la disponibilidad de pasto	41
16	Valor calórico de los incrementos de peso en función al crecimiento animal	47

1. INTRODUCCION

Para poder diseñar con eficiencia tecnologías adecuadas a un determinado medio ecológico y socioeconómico, es necesario poder predecir con suficiente precisión la producción del sistema. Con relación al ganado en pastoreo, entre las principales limitaciones para este propósito, se puede mencionar la falta de integración de la información experimental y la falta de modelos que describan al sistema en forma cuantitativa. En consecuencia, se hace necesario integrar y evaluar la información y cuantificar el efecto de los factores que afectan la producción.

Para el caso específico del ganado bajo condiciones de pastoreo la producción se ve afectada por la disponibilidad y calidad del forraje ofrecido. Debido al crecimiento estacional del pasto, el ganado tiene fluctuaciones marcadas en las tasas de crecimiento, y en ciertas ocasiones también pérdidas de peso. Sin embargo, un animal cuyo crecimiento ha sido retardado, exhibe en el período de realimentación una velocidad de crecimiento mayor y más eficiente que la de animales de la misma edad cronológica y que han sido alimentados con un mejor nivel nutricional. La utilización de la manifestación de crecimiento compensatorio en un sistema de producción podría ser una alternativa para disminuir la necesidad de utilizar alimentos suplementarios durante la estación seca.

La evaluación de los factores involucrados en la producción de ganado bovino de carne ha sido predominantemente cualitativa, y se encuentra fraccionada en la literatura. Como consecuencia, no es posible predecir el comportamiento del ganado en pastoreo. En tales circunstancias, el productor debe tomar decisiones en forma intuitiva. Por consiguiente, se ha planificado el siguiente trabajo con los objetivos de:

1. Integrar y evaluar cuantitativamente la información

existente, relacionada con los principales factores que afectan la producción del ganado en pastoreo.

2. Desarrollar funciones para la predicción de la producción de ganado bajo condiciones de pastoreo.
3. Identificar áreas donde aún se requiera generar información experimental.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Crecimiento del ganado en función de la calidad y cantidad del pasto

La producción de ganado bovino bajo condiciones de pastoreo depende principalmente del nivel de consumo de pasto. Este consumo por parte del animal dependerá, a su vez, de la disponibilidad de pasto y de la calidad del mismo (30, 34, 44). A medida que la disponibilidad de forraje aumenta, el consumo por parte del animal también se incrementa, hasta cierto valor máximo (2, 31, 37), determinado por factores inherentes al llenado del retículo-rumen y a la tasa de paso de los alimentos a través del sistema digestivo (7, 16, 39). La tasa de paso dependerá de la calidad de pasto. La calidad es una función de la digestibilidad y de la concentración proteica (10, 11, 13, 16, 39). La digestibilidad está influyendo sobre el tiempo que permanecen los alimentos en el rumen o sea sobre la velocidad de paso a través del sistema digestivo (8, 9, 17). A medida que aumenta la digestibilidad el consumo también se incrementa (17, 24), hasta cubrir las necesidades energéticas del animal. A su vez, se ha observado que la digestibilidad disminuye a medida que el consumo se incrementa (1, 9). La digestibilidad y la calidad de proteína presente en el pasto están altamente correlacionadas (19). Se indica que valores menores al 6-8 por ciento de proteína cruda afectan la digestibilidad, pues los microorganismos no tienen suficiente nitrógeno para su reproducción (27, 39). Además, la proteína también actúa sobre el control químico del consumo a nivel de metabolismo intermedio (15, 17, 29).

2.2 Crecimiento compensatorio

La manifestación de crecimiento compensatorio está afectada por

varios factores, entre los cuales se pueden mencionar: naturaleza de la restricción, severidad y duración de la restricción, edad del animal al comienzo de la penuria y nivel de alimentación posterior (3, 18, 20, 50). Las causas fisiológicas que determinan el crecimiento compensatorio no están bien definidas. Algunos autores la atribuyen a un incremento en el consumo de alimento y mejora en la eficiencia de utilización del mismo en la etapa de realimentación (20, 50). El mayor consumo de alimento es atribuido en el animal penurizado a una mayor capacidad del sistema digestivo con relación al tamaño corporal (14, 20, 33). Este mayor tamaño relativo del sistema digestivo se origina en el crecimiento diferencial de los tejidos con relación a la edad y el nivel nutricional. La mayor eficiencia en la utilización del alimento se puede deber a una disminución de los requisitos de mantenimiento con relación a los requisitos totales (3, 21, 22). Así, si se lo compara con el animal no restringido, el animal restringido, por ser más pequeño y tener un mayor ímpetu de crecimiento que el animal no penurizado, destinará una mayor proporción del alimento al crecimiento. Otro factor que podría condicionar la mayor eficiencia durante la etapa de realimentación en el animal penurizado podría ser la disminución del valor calórico de los incrementos de peso. De esta manera, con mayor predominio en la síntesis de proteínas (22, 23, 43, 46), al ser éstas de un menor valor calórico que el de las grasas, las necesidades energéticas por unidad de incremento de peso serán menores (3, 23, 51).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización

El presente trabajo se realizó en el Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica y en el Centro de Procesamiento de Datos del IICA, situados en San Pedro de Montes de Oca y Coronado, respectivamente.

3.2 Duración

La duración del trabajo fue de Junio de 1976 hasta Junio de 1977.

3.3 Descripción de la metodología

3.3.1 Elaboración del modelo

Se procedió a elaborar un flujoograma en el que se identificaron los factores intrínsecos y extrínsecos relacionados con la producción de carne bajo condiciones de pastoreo. Se describieron las respectivas relaciones entre entradas y salidas del sistema y la forma en que actúan los factores involucrados en el mismo. Luego, se establecieron relaciones teóricas entre causa y efecto, las mismas que se describieron en lenguaje matemático. El modelo obtenido fue sometido a comprobación mediante la información existente en la literatura y en los trabajos de investigación realizados en el Departamento de Ganadería del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

3.3.2 Datos experimentales utilizados

Para el presente trabajo se utilizaron datos experimentales procedentes de las investigaciones realizadas directamente por el Departamento

de Ganadería del CATIE, en Turrialba, Costa Rica, datos obtenidos en los programas asociados al CATIE, y la información disponible en la literatura.

3.3.3 Procesamiento de datos

Para el análisis y comprobación del modelo, así como para obtener los valores numéricos para los coeficientes de las ecuaciones propuestas se utilizaron las computadoras del IICA y de la Universidad de Costa Rica, usando los programas NON-LINEAR LEAST SQUARES CURVE FITTING PROGRAM (45), y las siguientes sub-rutinas del paquete IMSL: ZREAL1, ZREAL2, ZXSSQ, ZSYSTEM, ZXMIN (23), respectivamente. Como criterios de evaluación se utilizaron el coeficiente de determinación, convergencia en el proceso de análisis y desviación típica de los coeficientes numéricos.

3.3.4 Tabulación de la información según parámetros de entradas y salidas

Para obtener los valores utilizados en entradas y salidas se siguió el siguiente patrón:

1. Disponibilidad de materia seca del pasto (X1):

La disponibilidad semanal de materia seca (MS) del pasto se obtuvo de la relación:

$$d_i = \frac{MSI_i + MSF_i}{2} \quad \{1\}$$

donde: d_i = disponibilidad, kg/ha/semana

MSI_i = MS inicial, kg/ha/semana

MSF_i = MS final, kg/ha/semana

Para $i = 1, 2 \dots \dots \dots n$ tratamientos

La materia seca inicial fue obtenida mediante muestreo de las parcelas experimentales antes de que los animales entren a pastorear y de la materia seca final, o sea, del muestreo de pasto al final del período de pastoreo.

Para calcular la disponibilidad de MS por día se utilizó la relación:

$$D_i = \frac{d_i}{7} \quad \{2\}$$

La disponibilidad de MS por unidad de peso metabólico se calculó con la relación:

$$X1_i = D_i / P_i^{0,75} \quad \{3\}$$

donde: P_i = es el promedio aritmético de los pesos metabólicos* de los animales

El peso metabólico de cada animal se obtuvo promediando los pesos metabólicos disponibles durante el período experimental.

2. Contenido de nitrógeno en el pasto disponible (Q1)

Los valores de nitrógeno fueron obtenidos mediante el método micro-Kjeldhal (6). Para calcular el contenido de nitrógeno en el pasto disponible se utilizó la siguiente relación:

$$Q1_i = \frac{MSI (NI_i) + MSF (NF_i)}{d_i} \quad \{4\}$$

donde: $Q1_i$ = nitrógeno disponible pasto, concentración

NI_i = nitrógeno inicial, concentración

* Peso metabólico es el peso vivo elevado a la potencia 0,75

NF_i = nitrógeno final, concentración

Para $i = 1, 2, \dots, n$ tratamiento

3. Digestibilidad (Q_2)

La digestibilidad en todos los ensayos utilizados en el presente trabajo se obtuvo mediante el método *in vitro* de Tilley-Terry (35). Los valores de digestibilidad del pasto disponible empleados en el presente estudio se calcularon de la siguiente forma:

$$\frac{MSI_i (DI_i) + MSF_i (DF_i)}{d_i} \quad \{5\}$$

donde: Q_2_i = % digestibilidad disponible del pasto

DI_i = % digestibilidad inicial

DF_i = % digestibilidad final

para $i = 1, 2, \dots, n$ tratamientos

4. Peso promedio de los animales (Y_1)

El peso promedio de los animales Y_1 en cada tratamiento corresponde al promedio aritmético de los pesos de los animales. El peso promedio de cada animal se obtuvo promediando los pesos disponibles durante el período experimental.

5. Peso corporal inicial (Y)

Este parámetro es el peso que tuvieron los animales al inicio de cada experimento.

6. Tasa de crecimiento (X_6 y X_{6P})

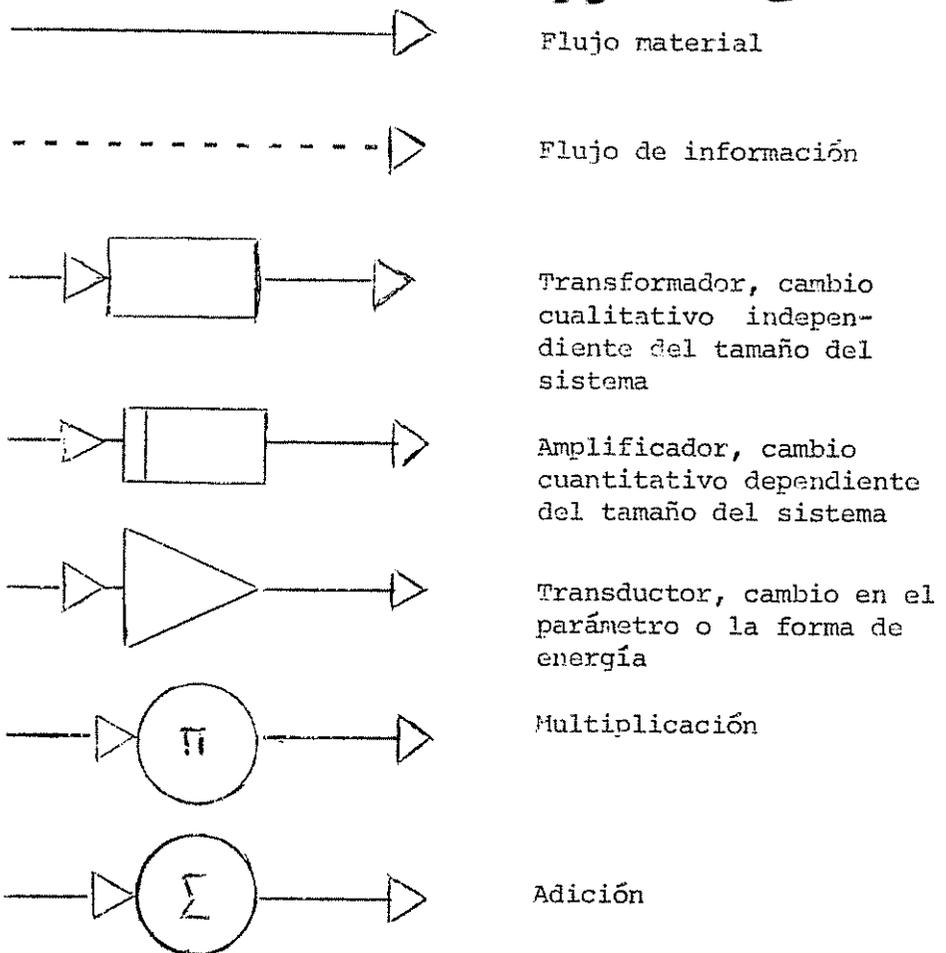
Las tasas de crecimiento experimental (X_6) y pre-experimental (X_{6P}) se obtuvieron mediante regresión lineal.

$$Z = b_1 + b_0 X \quad \{6\}$$

donde: Z = peso vivo, kg
 b_0 = valor de Z para $X = 0$
 b_1 = tasa de crecimiento, kg/día
 X = tiempo, días

En la ecuación {6} b_1 es la tasa de crecimiento de cada animal. Consecuentemente, X_6 y X_{6P} se obtuvieron promediando b_1 para cada tratamiento.

7. Simbología utilizada



4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Descripción del modelo

Luego de haber evaluado aproximadamente 200 modelos matemáticos el modelo final quedó conformado como se indica en el diagrama de flujo de la Figura 1.

4.1.1 Consumo de materia seca del pasto

Como se puede observar en la Fig. 1, el consumo de pasto es función de la disponibilidad de materia seca del pasto. La relación entre causa y efecto se ilustra en la Fig. 2.

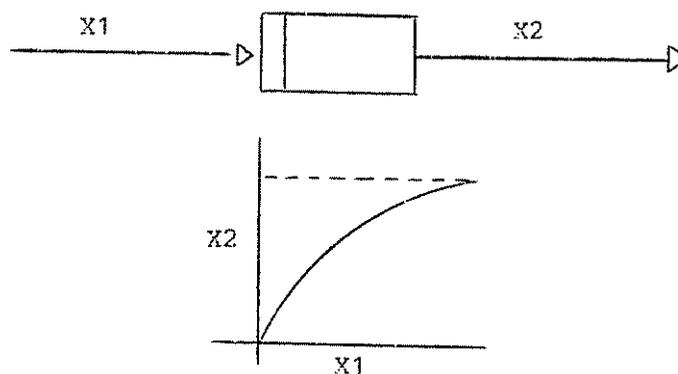


Fig. 2. Consumo de materia seca en función de la disponibilidad de pasto.

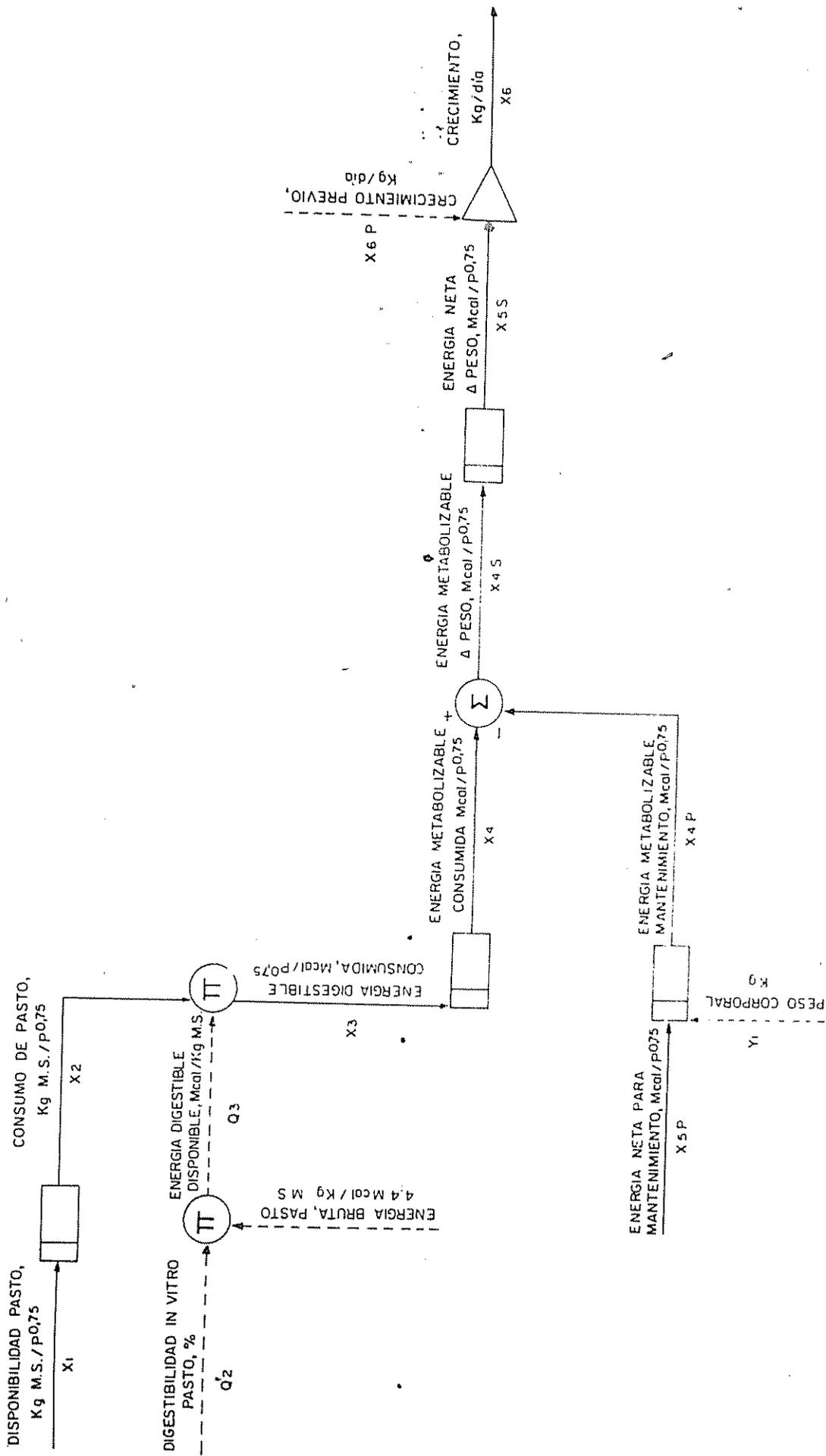


Fig.1 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto

En la Fig. 2 se indica que sin disponibilidad de pasto no hay consumo. Cuando la disponibilidad se hace infinita el consumo tiende a un valor asintótico determinado por el control físico de consumo del animal (2, 31, 37). La función utilizada para describir esta relación se indica como:

$$X_2 = \frac{X_1}{1 + K_1 X_1} \quad \{7\}$$

donde: X_2 = consumo de materia seca, $\text{kg/P}^{0,75}/\text{día}$

X_1 = disponibilidad de materia seca, $\text{kg/P}^{0,75}/\text{día}$

K_1 = tasa de incremento en la disponibilidad de pasto necesaria para producir una unidad de incremento en el consumo

Según la función {7} el consumo puede llegar a un límite $1/K_1$.

A la función {7} se le puede linearizar de la siguiente forma:

$$X_1/X_2 = 1 + K_1 (X_1) \quad \{8\}$$

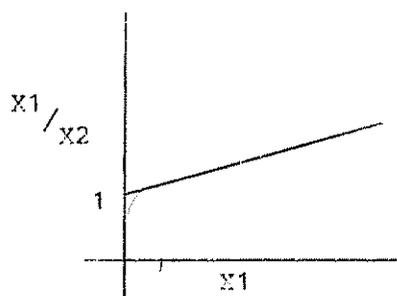


Fig. 3. Cantidad de pasto disponible para obtener una unidad de consumo en función de la disponibilidad de pasto.

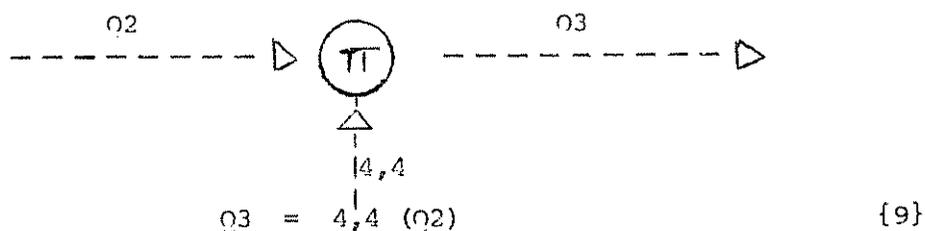
Puede observarse que cuando la disponibilidad de pasto tiende a cero, la relación X_1/X_2 tiende a la unidad, o sea, que el animal consumirá

toda la materia seca disponible. Esto explica porqué el valor de 1 en la función {8}. La relación X_1/X_2 es la cantidad necesaria de disponibilidad de pasto para lograr una unidad de incremento en el consumo. Según la función {8}, la cantidad de pasto disponible para obtener una unidad de consumo, es una función lineal de la disponibilidad de pasto.

4.1.2 Consumo de materia digestible

La concentración de energía digestible disponible en el pasto es el producto de la digestibilidad y la energía bruta contenida en el pasto. Este valor se tomó como 4,4 Mcal/kg (4, 12).

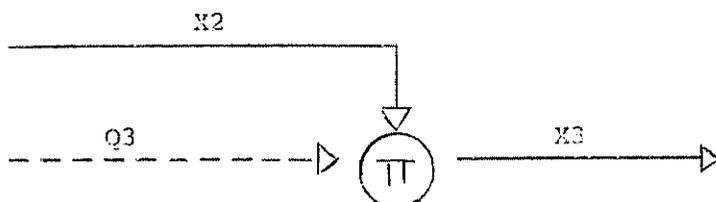
La función resultante para expresar la concentración de energía digestible disponible se indica como:



donde: Q_2 = % digestibilidad *in vitro*

Q_3 = concentración de energía digestible disponible,
Mcal/kg MS

El consumo de energía digestible es el producto de la concentración de energía digestible y del consumo de materia seca:



La función para obtener la energía digestible consumida (X3) se indica como:

$$X3 = X2 (Q3) \quad \{10\}$$

donde: $X2 =$ consumo de materia seca, $Kg/p^{0,75}$ /día

$Q3 =$ concentración energía digestible disponible, Mcal/kg MS

$X3 =$ consumo de energía digestible, $Mcal/p^{0,75}$ /día

4.1.3 Consumo de energía metabolizable

Como puede observarse en la Fig. 1, el consumo de energía metabolizable (X4) es función de la energía digestible consumida. La relación entre energía digestible consumida y energía metabolizable es como se indica en la Fig. 4.

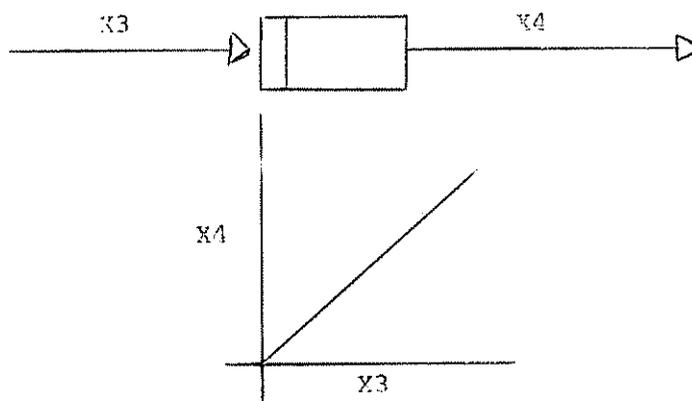


Fig. 4. Consumo de energía metabolizable en función a energía digestible consumida.

La función utilizada para describir esta relación se indica como:

$$X4 = 0,82 (X3) \quad \{11\}$$

donde: X_3 = energía digestible consumida, Mcal/p^{0,75}/día
 X_4 = consumo de energía metabolizable, Mcal/p^{0,75}/día

4.1.4 Energía metabolizable para mantenimiento

La relación entre energía neta para mantenimiento y energía metabolizable para mantenimiento se indica en la Fig. 5.

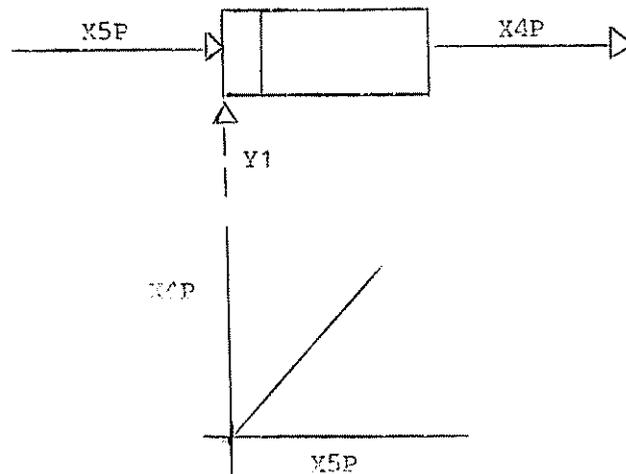


Fig. 5. Energía metabolizable para mantenimiento en función de la energía neta requerida en mantenimiento.

La función {12} describe la eficiencia de utilización de la energía metabolizable, según el enfoque del ARC (1):

$$X5P/X4P = 0,546 + 0,0675 (X4/X2) \quad \{12\}$$

donde: $X5P$ = energía neta para mantenimiento, Mcal/p^{0,75}/día
 $X4P$ = energía metabolizable para mantenimiento, Mcal/p^{0,75}/día
 $X4/X2$ = concentración de energía metabolizable, Mcal/kg MS

Según la función {12}, cuando la concentración de energía metabolizable tiende a cero, la eficiencia de su utilización, $X5P/X4P$, tiene el valor 0,546. A medida que se incrementa la concentración de energía del alimento la eficiencia también se incrementa según el coeficiente 0,0675.

Despejando $X4P$ en la función {12}, y modificando las necesidades energéticas por el efecto del peso corporal, se tiene la función {13}:

$$X4P = \frac{X5P (K2 - K3 Y1)}{0,546 + 0,0675 (X4/X2)} \quad \{13\}$$

donde: $Y1$ = peso vivo del animal, kg

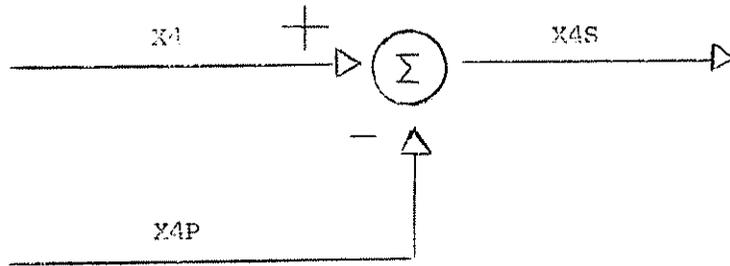
$K2$ = energía neta para mantenimiento cuando $Y1$ tiende a cero, $\text{Mcal}/P^{0,75}/\text{día}$

$K3$ = disminución en las necesidades de mantenimiento por unidad de peso

La función {13} indica que a medida que aumenta el peso del animal la cantidad de energía necesaria para mantenimiento disminuye. Igual sucede con la energía metabolizable. El efecto del peso corporal es una aproximación lineal.

4.1.5 Energía metabolizable para crecimiento

Para obtener la energía metabolizable para crecimiento se resta la energía metabolizable para mantenimiento del total de energía metabolizable consumida. Esta operación se ilustra en la función {14} que se presenta a continuación:



$$X4S = X4 - X4P \quad \{14\}$$

donde: $X4$ = energía metabolizable consumida, Mcal/ $P^{0,75}$ /día

$X4P$ = energía metabolizable para mantenimiento, Mcal/ $P^{0,75}$ /día

$X4S$ = energía metabolizable para crecimiento, Mcal/ $P^{0,75}$ /día

4.1.6 Energía neta para crecimiento

Para transformar la energía metabolizable a energía neta para incremento de peso se utilizó la función {15} del ARC (1). La relación entre estos parámetros se observa en la Fig. 6.

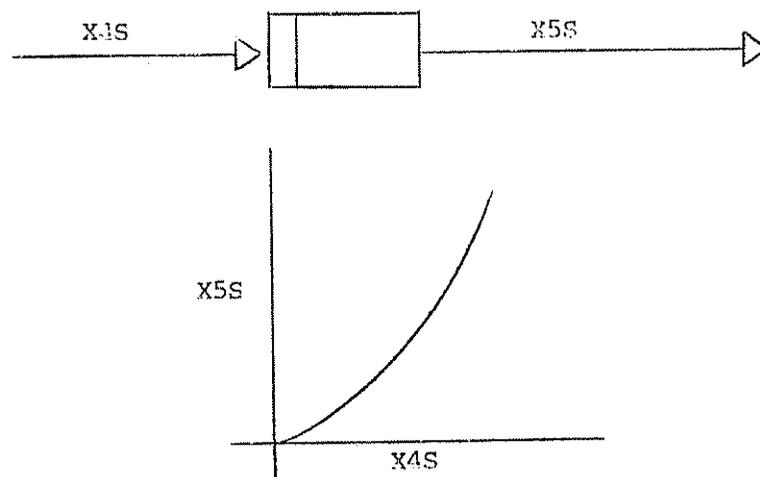


Fig. 6. Energía neta para crecimiento en función de la energía metabolizable.

La función del ARC utilizada para describir la eficiencia de utilización de la energía metabolizable para crecimiento es:

$$X5S/X4S = 0,03 + 0,184 (X4/X2) \quad \{15\}$$

donde: $X4S$ = energía metabolizable para crecimiento, Mcal/P^{0,75}/día

$X4/X2$ = concentración de energía metabolizable, Mcal/kg MS

$X5S$ = energía neta para crecimiento, Mcal/P^{0,75}/día

Por consiguiente:

$$X5S = X4S \left[0,03 + 0,184 (X4/X2) \right] \quad \{16\}$$

En la función {16} se asume que:

$$X4/X2 = X4S/X2S$$

en que $X2S$ sería el consumo de pasto destinado a crecimiento. De esta manera:

$$X5S = X4S \left[0,03 + 0,184 X4S/X2S \right] = X4S \left[0,03 + 0,184 X4/X2 \right] \quad \{17\}$$

Por lo tanto, en la función {17} se obtiene una función cuadrática. Se puede observar en la ecuación {15} que la eficiencia de la energía neta para incremento de peso es función de la concentración de energía metabolizable en el alimento. Según la función {16} a cero concentración de energía metabolizable la energía neta para incremento de peso es cero. A medida que aumenta la concentración de energía metabolizable también se incrementa la energía neta para crecimiento.

4.1.7 Valor calórico de los incrementos de peso

Para estimar el valor calórico de los incrementos de peso se utilizó la función del NRC (36):

$$X5S = \left[0,0527 (X6) + 0,0684 (X6)^2 \right] \quad \{18\}$$

donde: $X6$ = tasa de crecimiento, kg/día

$X5S$ = valor calórico de los incrementos de peso, Mcal/P^{0,75}/día, que es la energía neta destinada al crecimiento

La función {18} fue modificada para describir el efecto del crecimiento previo, quedando como sigue:

$$X5S = \left(0,0527 (X6) + 0,0684 (X6)^2 \right) \left[1 + K4 (X6P) \right] \quad \{19\}$$

donde: $X6P$ = tasa de crecimiento previo, kg/día

Según la función {19}, a medida que el crecimiento previo aumenta, también lo hace el valor calórico de los incrementos de peso posteriores. Esto equivale a decir que el crecimiento se vuelve progresivamente menos eficiente. Despejando $(X6)$ en la función {19} se tiene la transformación de energía neta para crecimiento a tasa de crecimiento del ganado que se ilustra en la Fig. 7.

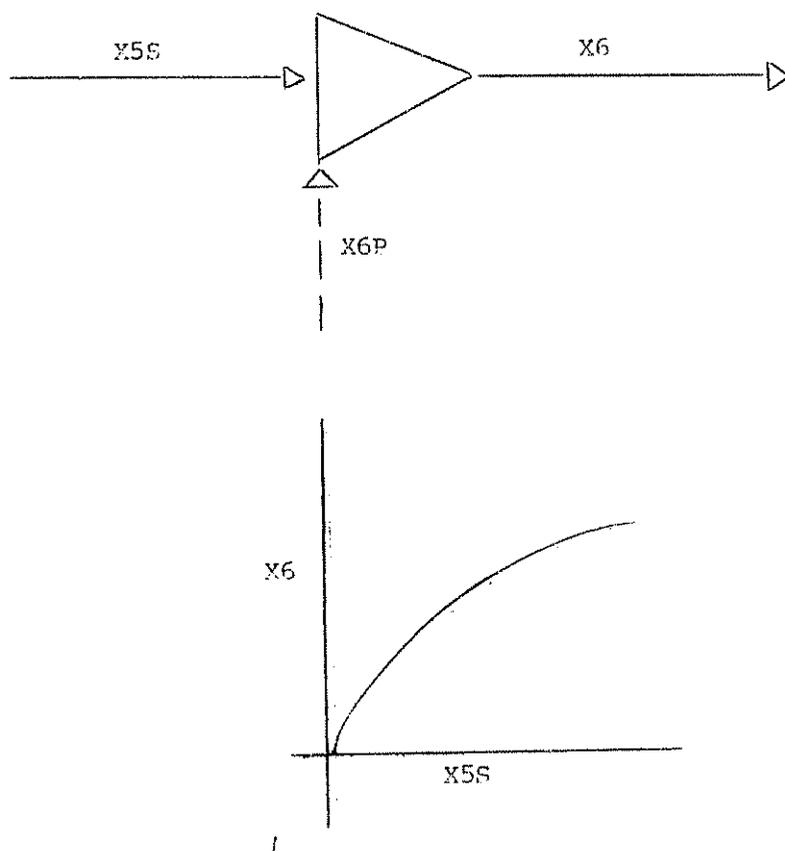


Fig. 7. Tasa de crecimiento como función de la energía neta.

$$X6 = \frac{-0,0527 + \sqrt{(0,0527)^2 + 4(0,00684)(X5S)} / [1 + 2,08(X6P)]}{2(0,00684)} \quad \{20\}$$

La función {20}, ilustrada en la Fig. 7, servirá para predecir el crecimiento del ganado bajo condiciones de pastoreo.

4.2 Evolución del modelo

Al diagrama de flujo presentado en la Fig. 1 se llegó después de haber estudiado en el proceso de análisis varias alternativas relacionadas con modelos matemáticos y el efecto de diversos factores que se estimó afectaban a los diferentes componentes del sistema. Finalmente, se escogió los modelos que presentaron la menor variabilidad para los coeficientes numéricos y se eliminó los factores que no se pudo demostrar que afectaban en forma significativa al sistema. Es necesario aclarar, sin embargo, que el hecho de no haber podido encontrar significancia estadística no implica necesariamente que el factor no afecte al sistema; la falta de significancia ha sido atribuída, en algunos casos, al modelo matemático utilizado. Cabe indicar que para la transformación de energía neta a metabolizable se usó las ecuaciones del ARC (1), por considerarse que presentan el mejor fundamento teórico:

$$EM \Delta p = EM (0,03 + 0,184 EM)$$

$$EM m = EM (0,546 + 0,0675 EM)$$

donde: $EM \Delta p$ = energía neta para crecimiento, Mcal/kg

$EM m$ = energía neta para mantenimiento, Mcal/kg

EM = energía metabolizable, Mcal/kg

Para la transformación de energía neta para crecimiento a incremento de peso se utilizó el enfoque del NRC (36):

$$EN = (0,0527\Delta p + 0,00684\Delta p^2) p^{0,75}$$

Consecuentemente, el presente estudio se basa en normas de alimentación existentes que son modificadas según factores que en dichas normas no están considerados.

4.2.1 Consumo de pasto

En esta área se estudiaron los siguientes factores, en un total de 31 modelos matemáticos:

1. Disponibilidad de materia seca del pasto
2. Digestibilidad del pasto
3. Crecimiento previo del animal
4. Lluvia
5. Peso corporal del animal
6. Peso corporal inicial del animal

1. Disponibilidad

El consumo de materia seca por parte del animal depende de la disponibilidad de pasto, por lo tanto, a medida que aumenta la disponibilidad se incrementa el consumo hasta cierto nivel máximo (2, 31, 37). Para describir esta relación se probaron 11 modelos matemáticos, de los cuales el que se indica en la función {24} dio la mejor descripción del fenómeno biológico en estudio. El coeficiente numérico obtenido presentó valores de variabilidad más bajos que los obtenidos en cualquiera de los otros modelos. Por las razones mencionadas este factor, con la función propuesta a continuación, fue incluido en el presente estudio:

$$X_2 = \frac{X_1}{1 + (5,72 + 0,88) X_1} \quad \{21\}$$

2. Digestibilidad

Es conocida la influencia que tiene la calidad de forraje sobre el consumo. Se ha comprobado que a medida que aumenta la digestibilidad del pasto el consumo también se incrementa (17, 24). Para describir la relación entre consumo y digestibilidad se evaluó un solo modelo matemático. Al incluir este factor con el modelo propuesto se obtuvieron coeficientes numéricos no significativos. Además, aumentó la variabilidad de los coeficientes en otros componentes del modelo general. Sin embargo, aumentó el valor del R^2 , indicando que se requiere encontrar otra alternativa al modelo matemático propuesto. Por las razones expuestas no se pudo incluir el factor digestibilidad en el modelo general.

3. Crecimiento previo

El animal cuyo crecimiento ha sido retardado por penurias nutricionales, enfermedades, o climáticas, exhibe en el período de realimentación una velocidad de crecimiento mayor que la de otros animales de la misma edad cronológica y que han sido alimentados con un mejor nivel nutricional (47, 50). Este mayor crecimiento es atribuido, en parte, al mayor consumo de alimento (20, 47, 50). Para describir este fenómeno biológico se probaron dos modelos. Los coeficientes numéricos obtenidos para ambos casos no fueron significativos. Además, se aumentó la variabilidad de los coeficientes en otros componentes del modelo general. Sin embargo, la inclusión de este factor mejoró algo el R^2 , indicando que se necesita probar otras alternativas a los modelos matemáticos investigados. Por lo expuesto, este factor no se consideró en el modelo general.

4. Lluvia

Este factor se incluyó como depresor del consumo, ya que se ha observado que los animales bajo la presencia de lluvia dejan de comer. En esta área se estudiaron cinco modelos matemáticos. Este factor aumentó notablemente el coeficiente de determinación. Sin embargo, la variabilidad de los coeficientes numéricos obtenidos fue alta y además aumentó notablemente la variabilidad en los coeficientes de otros componentes del modelo general. Amerita el estudio futuro sobre este aspecto, posiblemente trabajando con horas - lluvia/tiempo en vez de lluvia/tiempo. Es importante anotar que la duración de lluvia en las vertientes del Atlántico y Pacífico es notablemente diferente. Por las razones expuestas este factor no se incluyó en el modelo general.

5. Peso corporal

En virtud de que el metabolismo por unidad de peso metabólico disminuye con la edad (9, 26, 41), se pensó que lo mismo podría ocurrir con el consumo de alimento. Por consiguiente, para describir esta relación se probaron 9 modelos matemáticos utilizando el peso corporal en vez de la edad. Al incluir este factor mejoró el R^2 . Sin embargo, los coeficientes numéricos presentaron una alta variabilidad. Además, aumentó la variabilidad en los coeficientes de otros componentes del modelo general. Por estas razones no fue incluido en el modelo general. Es importante anotar que en el proceso de análisis en todos los casos se logró convergencia.

6. Peso corporal inicial

Este factor se estudió como una alternativa al crecimiento previo, para indicar que animales con crecimiento retardado en etapas

anteriores, en las posteriores consumen más materia seca del pasto. Para el efecto se estudiaron dos modelos matemáticos. En los dos casos el R^2 mejoró notablemente, pero los coeficientes numéricos del modelo propuesto presentaron una alta variabilidad. Además, los coeficientes de otros componentes del modelo general aumentaron su variabilidad. Este factor no fue incluido en el modelo general y amerita estudio futuro.

4.2.2 Digestibilidad

En esta área se estudiaron los siguientes factores, en un total de 31 modelos matemáticos:

1. Selección de pasto por parte del animal
2. Nivel de consumo

1. Selección de pasto

Es conocido que el animal en pastoreo realiza selección sobre el pasto disponible, lo cual contribuye a que consuma un forraje de mejor digestibilidad que el forraje muestreado (44). Para describir esta relación se probaron tres funciones. La inclusión de este factor mejoró el R^2 . Sin embargo, la variabilidad de los coeficientes numéricos obtenidos fue alta y se aumentó la variabilidad de los coeficientes de funciones ya estables en los otros componentes del modelo. Amerita el estudio futuro de este factor, buscando alternativas a los modelos matemáticos investigados.

2. Nivel de consumo

Se consideró este factor como depresor de la digestibilidad (5). Por lo tanto, se utilizó una ecuación del ARC (1) que expresa la digestibilidad como función del consumo. En esta área se estudiaron

diez modelos matemáticos. Los coeficientes obtenidos no fueron estadísticamente significativos ni se alteró la variabilidad de otros coeficientes en el modelo general. Además, el R^2 no mejoró. Posiblemente el nivel de consumo en los experimentos utilizados en el presente estudio no fue de una magnitud como para afectar la digestibilidad. Para pastos de baja digestibilidad el nivel de consumo tiene mucha importancia (9). Sin embargo, el límite de consumo por esta clase de alimento no permite que se logre consumos capaces de afectar la digestibilidad. Por lo expuesto, no parece que este factor sea importante en condiciones de pastoreo.

4.2.3 Energía neta para crecimiento

En esta área se estudió solo el efecto del incremento de peso previo con un solo modelo matemático. La inclusión de este factor se basó en que animales restringidos nutricionalmente en etapas anteriores, por ser más pequeños y tener mayor ímpetu de crecimiento que el animal no restringido, destinará una mayor proporción del alimento al crecimiento (22, 23, 43). Al considerar este factor el coeficiente de determinación no mejoró. Además, los coeficientes de funciones ya estables se afectaron aumentando su variabilidad. Por lo expuesto este factor no fue considerado en el modelo general.

4.2.4 Metabolismo para mantenimiento

En esta área se estudiaron los siguientes factores con un total de 70 modelos matemáticos.

1. Disponibilidad de materia seca del pasto
2. Crecimiento previo
3. Lluvia

4. Peso corporal
5. Peso corporal inicial
6. Llenado de la panza
7. Tamaño de la parcela experimental

1. Disponibilidad

Las actividades de pastoreo requieren de 40 a 50 por ciento más gasto de energía que la necesaria para mantenimiento en confinamiento (41). De esta manera, se teorizó que a medida que aumenta la disponibilidad de pasto el animal gastará menos energía en conseguir su alimento. Para describir esta relación se probaron 16 funciones. Al incluir este factor mejoró el R^2 , pero los coeficientes numéricos obtenidos fueron significativos únicamente cuando se trabajó con experimentos aislados. Cabe indicar que no desmejoró la estabilidad de los coeficientes de otros modelos. Este factor amerita más estudio. Por lo expuesto, no se consideró en el presente modelo.

2. Crecimiento previo

Se ha teorizado que las necesidades relativas de energía para mantenimiento son una función del estado nutricional previo. Animales que han sufrido penurias nutricionales tendrían necesidades energéticas para mantenimiento menores que animales no penurizados (3, 21, 22). Para describir este fenómeno biológico se analizaron ⁴ocho modelos matemáticos. La inclusión de este factor no mejoró el R^2 , aumentó la variabilidad de los coeficientes ya estables y los coeficientes numéricos obtenidos no fueron significativos. Por tal motivo, este factor no se incluyó en el modelo general. Este factor no amerita estudios posteriores.

3. Lluvia

Se teorizó que a medida que aumenta la lluvia el animal disminuye su gasto energético por disminución en la actividad física. Se estudiaron un total de 10 modelos matemáticos. Los coeficientes numéricos obtenidos presentaron poca variabilidad siendo significativos. La inclusión de este factor mejoró el R^2 ; sin embargo, aumentó la variabilidad de los coeficientes en otros componentes del modelo general. Amerita el estudio futuro en este aspecto posiblemente buscando alternativas a los modelos propuestos, según se discutió en la sección de consumo de pasto. Por las razones mencionadas, este factor no se consideró en el modelo general.

4. Peso corporal

Al incluir este factor se teorizó que a medida que aumenta la edad, las necesidades de energía para mantenimiento por unidad de peso metabólico disminuyen (9, 26, 41). En este caso se utilizó el peso y no la edad del animal lo que hubiera sido más ventajoso. Sin embargo, en algunos de los experimentos utilizados en el presente estudio no se tenían las referencias de edad. En esta área se probaron 32 modelos matemáticos de los cuales el que se indica en la función {22} dio los coeficientes numéricos con la más baja variabilidad. Al incluir este factor aumentó notablemente el R^2 . Esta función, por las razones anotadas, fue incluido en el modelo general y se indica a continuación:

$$X4P = \frac{0,262 \pm 0,029 - 0,000727 \pm 0,000099 Y1}{0,546 + 0,0675 (X4/X2)} \quad \{22\}$$

5. Peso corporal inicial

Este factor se estudió como una alternativa al crecimiento previo para explicar el estado nutricional del animal al inicio de la etapa experimental. La inclusión de este factor no mejoró el R^2 . Además, los coeficientes numéricos obtenidos presentaron mucha variabilidad. Por estas razones no se incluyó en el modelo general y se piensa que no amerita mayor estudio.

6. Llenado del rumen

El contenido del rumen en el bovino puede alcanzar hasta el 20 por ciento del peso vivo (1). Este componente del peso no participa en el metabolismo del animal. Se teorizó que el llenado del rumen es tará relacionado con la disponibilidad de pasto, afectando el peso verdadero del animal. Para describir esta relación se probó un solo modelo. La inclusión de este factor mejoró el R^2 . Sin embargo, aumentó la variabilidad de los coeficientes numéricos de otros componentes del modelo general. Además, los coeficientes numéricos obtenidos para el efecto del factor estudiado presentaron una variabilidad alta. Por estas razones, este factor no fue incluido en el modelo general.

7. Tamaño de parcela

Se teorizó que el tamaño de la parcela experimental puede tener influencia sobre el gasto energético por una disminución en la actividad física. Para describir esta relación se investigó un solo modelo. Los coeficientes numéricos obtenidos tuvieron variabilidad alta. Además, no mejoró el R^2 . Por estas razones, no se incluyó este factor en el modelo general.

4.2.5 Valor calórico de los incrementos de peso

En esta área se estudiaron los siguientes factores con un total de 15 modelos matemáticos:

- Peso corporal
- Crecimiento previo

1. Peso corporal

Para incluir este factor se teorizó que a medida que aumenta el peso corporal el animal tiene mayor proporción de grasa (1, 3, 51). La grasa tiene mayor contenido calórico que otros tejidos, resultando en que cada nuevo incremento de peso, requiera progresivamente mayor gasto energético. Para describir este fenómeno biológico se probaron un total de 3 modelos matemáticos. En todos los casos el R^2 mejoró, pero se obtuvieron coeficientes numéricos con variabilidad alta. Además, la inclusión de este factor provocó aumento en la variabilidad de los coeficientes numéricos en otros componentes del modelo general. Por consiguiente, se requiere encontrar otras alternativas a los modelos matemáticos estudiados.

2. Crecimiento previo

Se teorizó que conforme el crecimiento previo es mayor el animal tendrá mayor proporción de grasa y por consiguiente, utilizará progresivamente mayor cantidad de energía para lograr igual incremento de peso (3, 51). Para describir este fenómeno biológico se procesaron un total de 12 modelos, de los cuales el que se indica en la función {23} dio un coeficiente numérico con la más baja variabilidad. Al incluir este factor el R^2 mejoró. Por estas razones, este modelo se incluyó en el

presente trabajo. Nótese que el primer paréntesis de la función {23} corresponde a la función del NRC (36). El segundo paréntesis es la corrección por incremento de peso previo.

$$X5S = \left(0,00684 (X6)^2 + 0,0527 (X6) \right) \left[1 + 2,08 + 0,43 (X6P) \right] \quad \{23\}$$

4.3 Predicción del incremento de peso

La predicción del incremento de peso se puede obtener mediante el empleo del conjunto de ecuaciones que describen al sistema ilustrado en la Fig. 1, y que se indican en el capítulo 4.1. Según se puede observar en la Fig. 1, las entradas al sistema son: disponibilidad de pasto, digestibilidad *in vitro* del pasto, crecimiento previo y peso vivo. La respuesta del sistema es el incremento de peso. El comportamiento del sistema en función de las entradas se describe a continuación:

4.3.1 Crecimiento como función de la disponibilidad y calidad del pasto

En la Fig. 8 se presentan las predicciones de incremento de peso diario, kg/día (X6), como función de la disponibilidad de la materia seca, $\text{kg/P}^{0,75}$ (X1) y con diferentes valores de digestibilidad de pasto (Q2). Se puede observar que a medida que aumenta la disponibilidad de materia seca, el crecimiento también se incrementa, debiendo llegar hasta un valor asintótico. Para propósitos prácticos, sin embargo, a disponibilidades mayores a 1,0 kg no hay mayor incremento en la tasa de crecimiento. Este límite se relaciona principalmente con el llenado del rumen, uno de los factores que más inciden sobre el consumo de alimento cuando este es pasto (7, 16). Nótese, además, que conforme aumenta la digestibilidad,

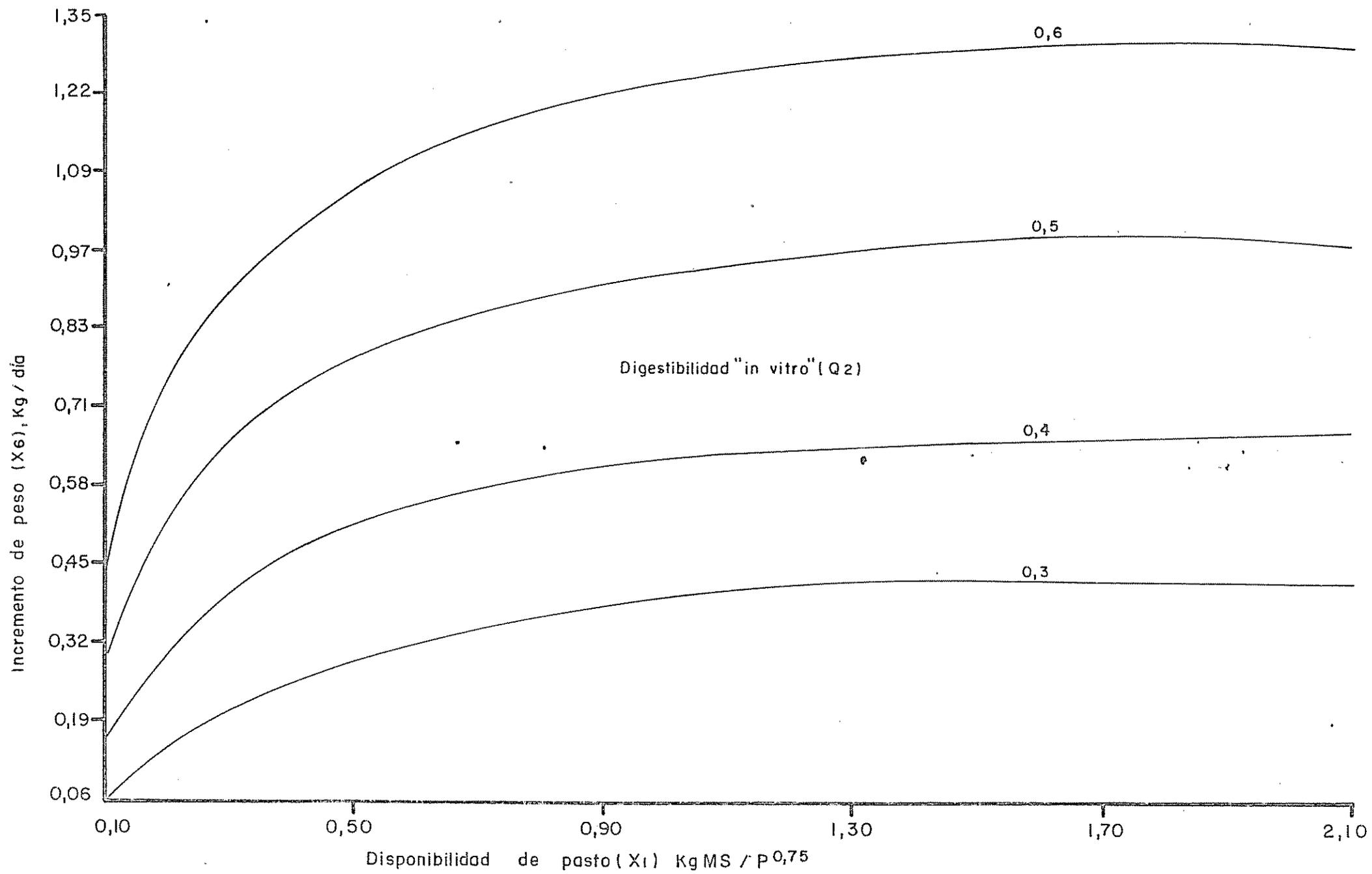


Fig. 8 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad y digestibilidad del pasto

también aumenta la tasa de crecimiento animal. Con una digestibilidad del 30 por ciento y una disponibilidad de 1,0 kg, se obtiene un incremento de peso aproximado de 0,4 kg/día. El crecimiento puede llegar a más de 1,0 kg/día con una digestibilidad del 50 por ciento. En la práctica un animal en pastoreo puede realizar selección del alimento (44) y consumir un pasto de mejor calidad que aquella relacionada con las digestibilidades de la Fig. 8. Por consiguiente, los incrementos de peso de la Fig. 8 se deben considerar que fueron obtenidas con valores más altos de digestibilidad. Además, las digestibilidades *in vitro* subestiman a los valores de digestibilidad *in vivo*. Los valores que se muestran en la Fig. 8 están en concordancia con los de la Fig. 9, obtenida con datos de dos de los experimentos utilizados para el presente estudio. Nótese que hasta una disponibilidad de materia seca digestible de $0,6 \text{ kg/P}^{0,75}$, los incrementos de peso tienen una respuesta lineal. Esto indica que el potencial de crecimiento de estos animales es mayor al observado en las Figs. 8 y 9. Por consiguiente, el factor limitante resulta ser la calidad del forraje. Esto ilustra claramente la necesidad de mejorar la calidad del pasto, ya sea mediante programas de mejoramiento genético o de manejo.

4.3.2 Crecimiento en función del incremento de peso previo

En las Figs. 10 y 11, se presenta la predicción de incremento de peso (X_6) como función del crecimiento previo (X_6P) a diferentes valores de disponibilidad de pasto (X_1). En la Fig. 10 se presenta la respuesta en un pasto de calidad mediocre (35% de digestibilidad) y en la Fig. 11 la respuesta a un pasto de mejor calidad (55% de digestibilidad). Se puede observar que a medida que disminuye el incremento de peso previo, hay

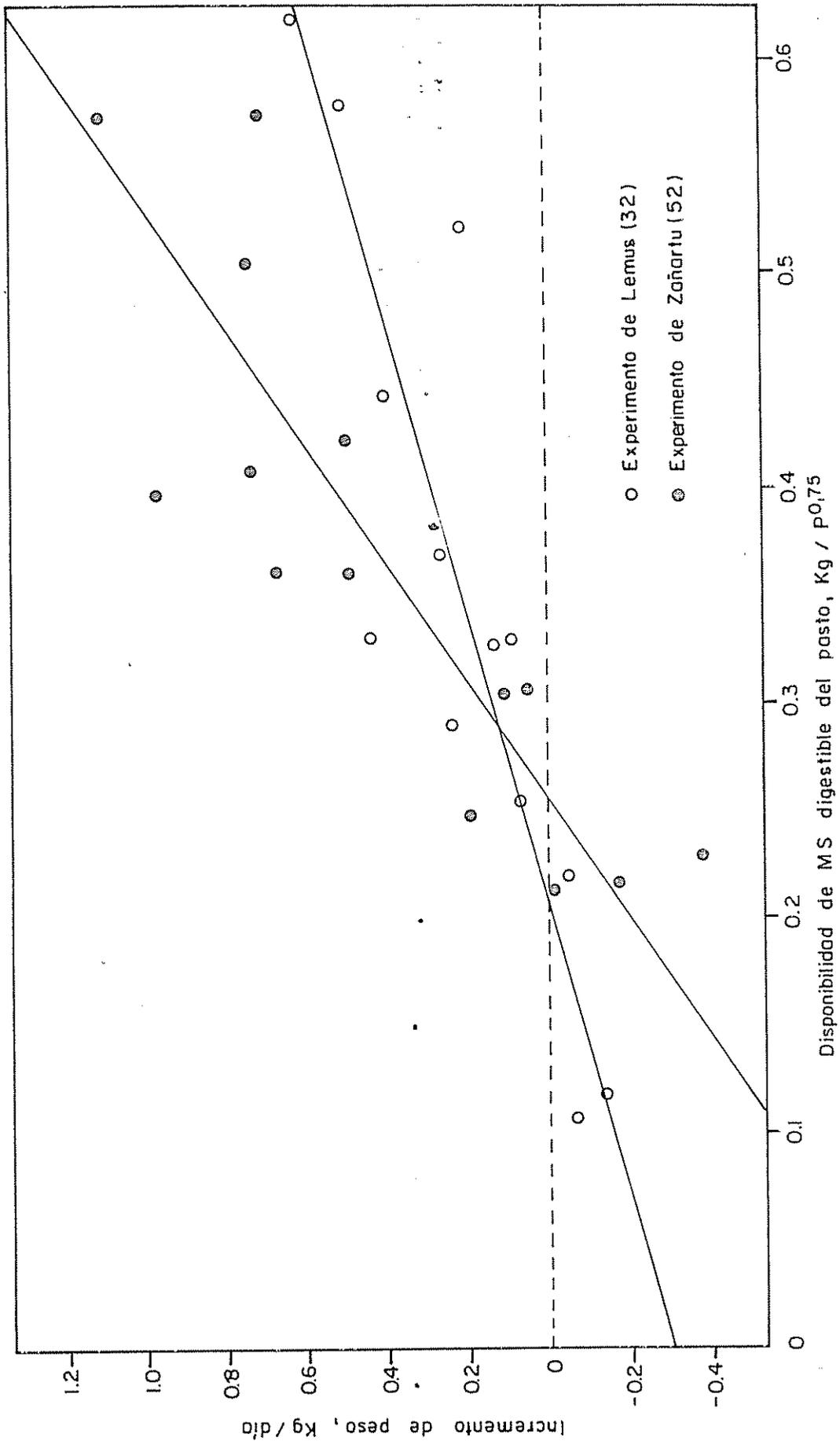


Fig.9 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de MS digerible del pasto

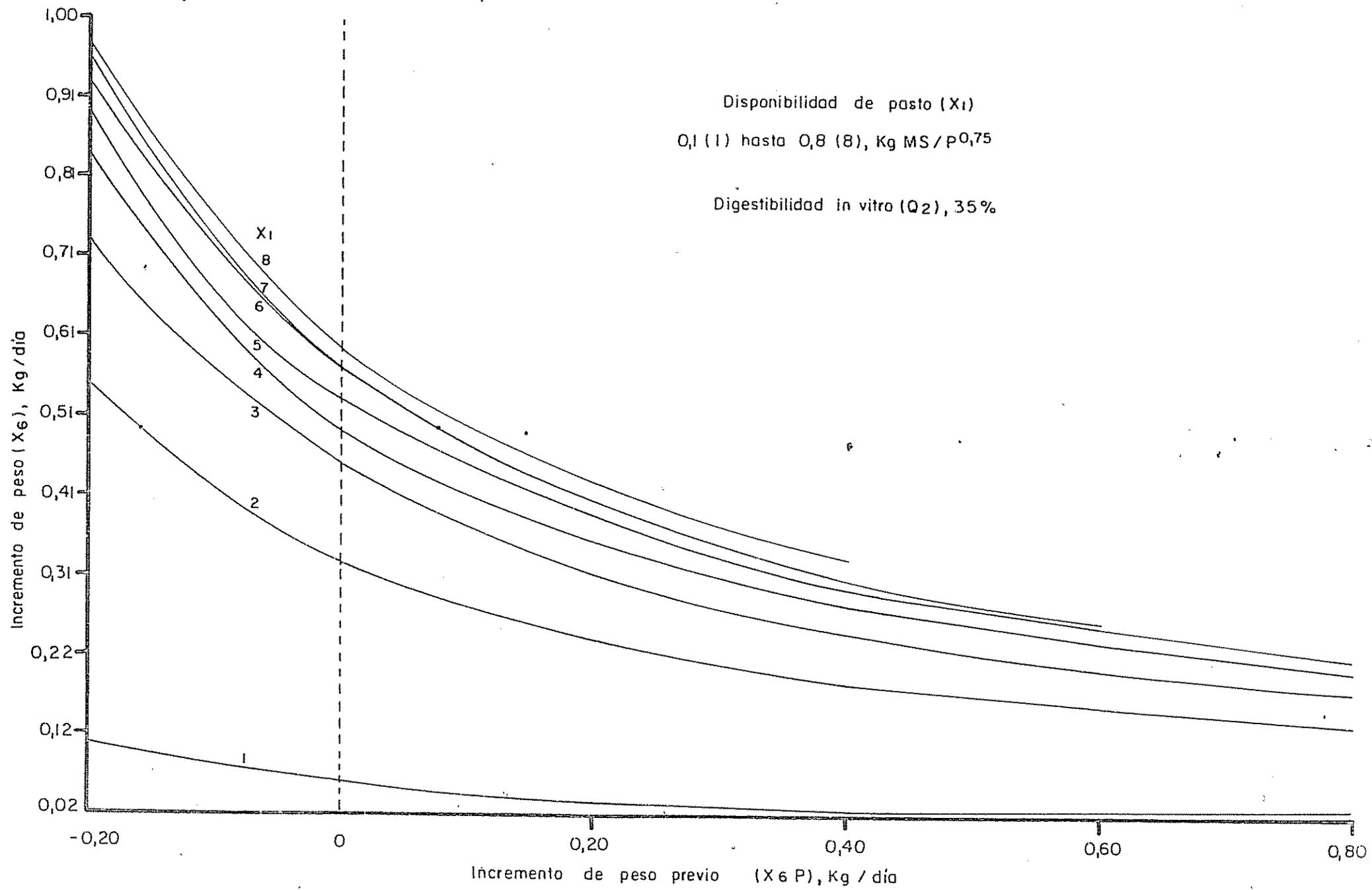


Fig. 10 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la tasa de crecimiento previo

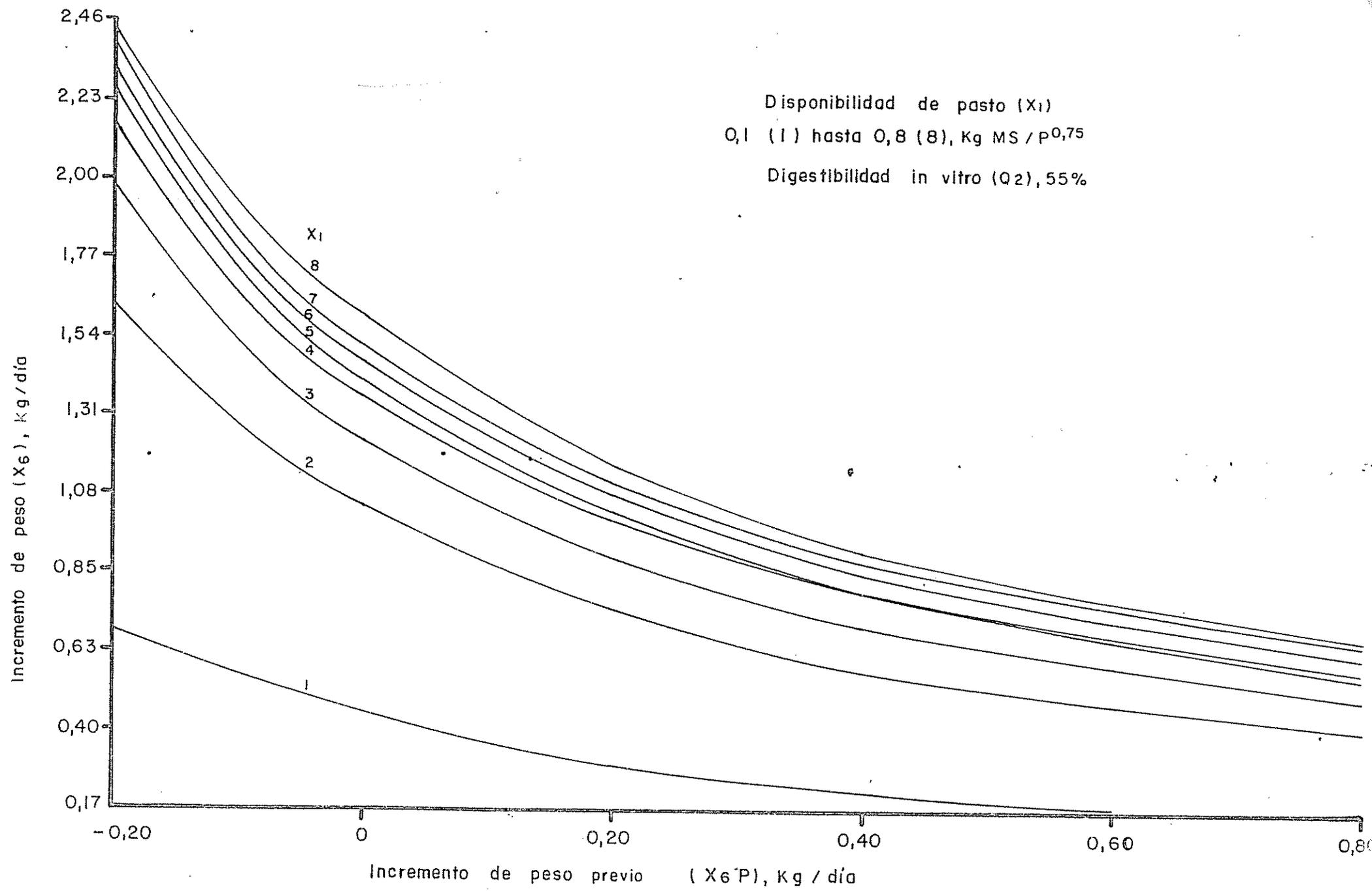


Fig. II Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la tasa de crecimiento previo

mayores incrementos de peso posteriores, lo que constituye una manifestación del crecimiento compensatorio para aquellos animales que han sufrido penurias en sus etapas de crecimiento anteriores. Por ejemplo, con una digestibilidad de 35 por ciento se nota que con un incremento de peso previo de $-0,2$ kg/día, a una disponibilidad de $0,8$ kg/P^{0,75}, se obtiene un crecimiento aproximado de 1 kg/día. Nótese que incrementos de peso mayores a $0,3$ kg/día tienen poco efecto.

Según Verde (48), cuando en la etapa de penuria los incrementos de peso son superiores a $0,4$ kg/día no se manifiesta crecimiento compensatorio, particular que concuerda con lo indicado en las Figs. 10 y 11.

En las Figs. 10 y 11 se nota también que a medida que aumenta la disponibilidad de pasto hay una mejor respuesta en crecimiento. A disponibilidades bajas este efecto es muy intenso; el retorno es decreciente conforme la disponibilidad va dejando de ser un factor limitante. Es notoria la influencia que tiene la disponibilidad y calidad de forraje sobre la recuperación del animal.

En la Fig. 11 se puede observar que cuando la digestibilidad es de 55 por ciento y el crecimiento previo $-0,2$ kg/día, el incremento de peso es de $2,0$ kg/día. Este resultado es una notable sobreestimación, producida por la función lineal que se usó para corregir los valores calóricos del incremento de peso por los incrementos de peso previos (ecuación {34}. Comparando las Figs. 10 y 11 con la Fig. 12 obtenida con los datos de dos experimentos utilizados en el presente estudio, se nota que una función sigmoidea se ajustaría mejor a la realidad que la parábola resultante en las Figs. 10 y 11. Amerita tener en consideración este problema para futuros estudios y ajustes al modelo.

La información cuantitativa sobre crecimiento compensatorio tiene

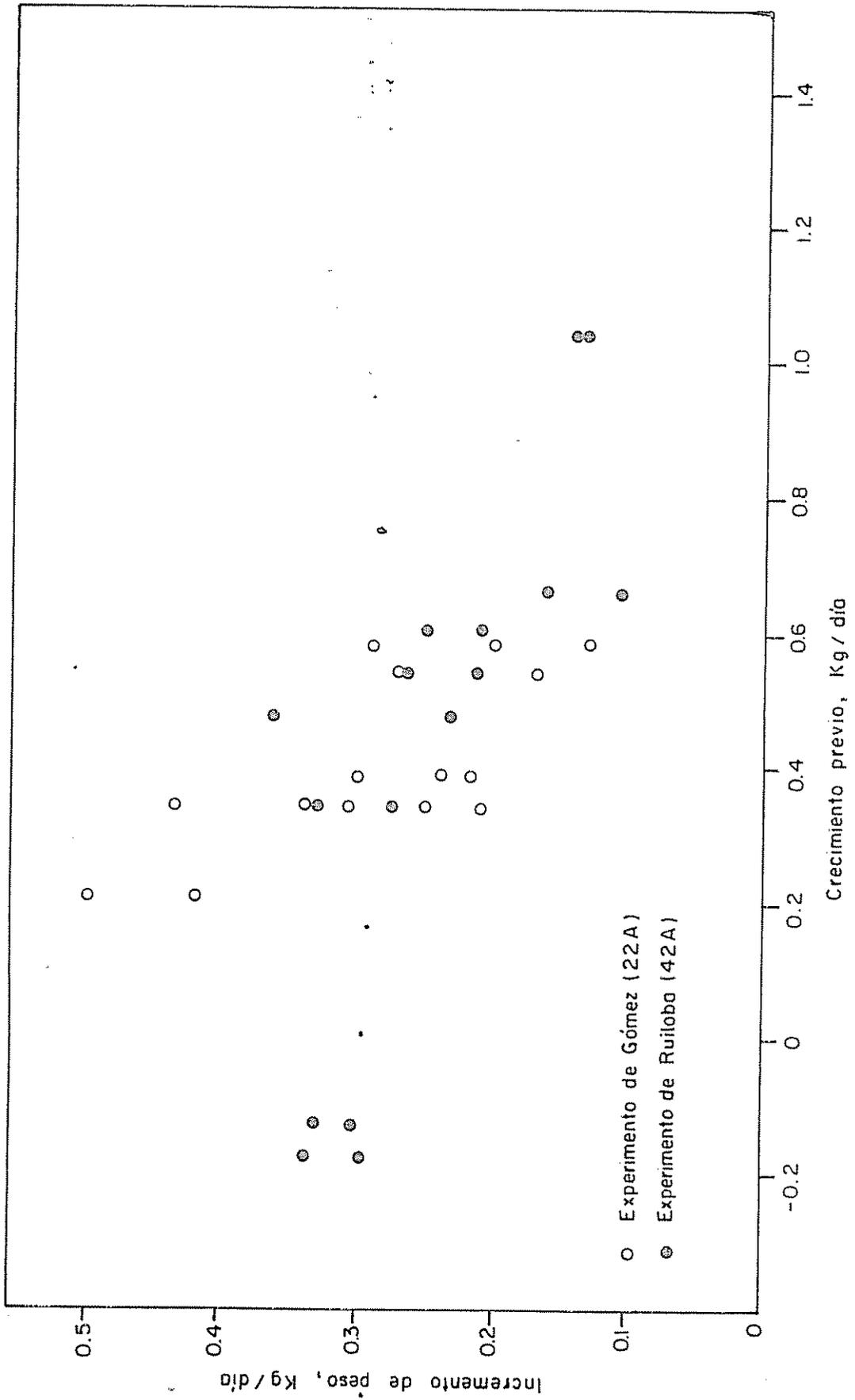


Fig. 12 Crecimiento del ganado en función del crecimiento previo

amplias perspectivas de aplicación en la predicción de la producción de ganado de carne en el trópico. Si el animal ha sufrido una penuria nutricional en la estación seca, su tasa de crecimiento en la estación lluviosa se verá intensamente modificada. En contraste, en aquellos sistemas intensivos en que el crecimiento del animal es homogéneo y mayor a 0,3 - 0,4 kg/día, no tiene importancia el conocimiento de la historia nutricional previa del animal.

4.3.3 Crecimiento en función del peso corporal

En la Fig. 13 se presentan las predicciones de incremento de peso (X6), como función del peso corporal (Y1) a diferentes niveles de disponibilidad de pasto (X1). Se puede observar que a medida que aumenta el peso corporal del animal, el crecimiento también se incrementa. Nótese, además, que conforme aumenta la disponibilidad de pasto la respuesta en incrementos de peso es también mayor. Así, con un peso vivo de 300 kg, una digestibilidad de 45 por ciento, y una disponibilidad de $0,5 \text{ kg/P}^{0,75}$ se obtiene un incremento aproximado de 0,4 kg/día. Nuevamente hay que aclarar que el valor 45 por ciento corresponde a la digestibilidad *in vitro* y no al valor del consumo por el animal.

Sería de esperarse que a medida que aumenta el peso, las tasas de crecimiento aumenten hasta llegar a un máximo, para luego disminuir, como puede observarse en la Fig. 14, en la cual se presenta el incremento según la edad (4a). En el presente estudio se usó una aproximación lineal para la relación entre metabolismo para mantenimiento y peso corporal (ecuación {29}). Esto previene que la respuesta animal haga un máximo. Además, el efecto confundido en el peso de la actividad física y la edad

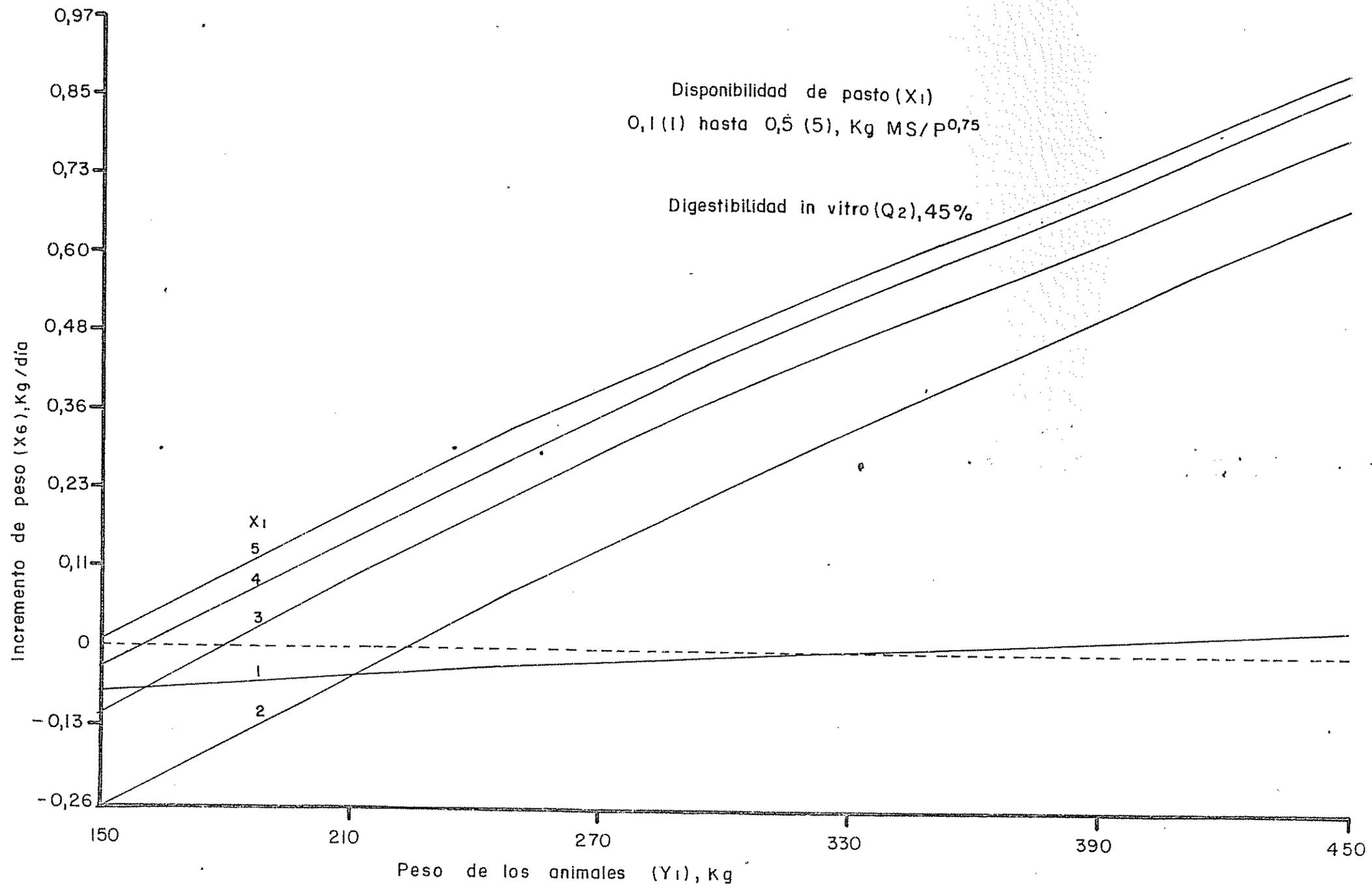


Fig. 13 Crecimiento del ganado en función del peso corporal

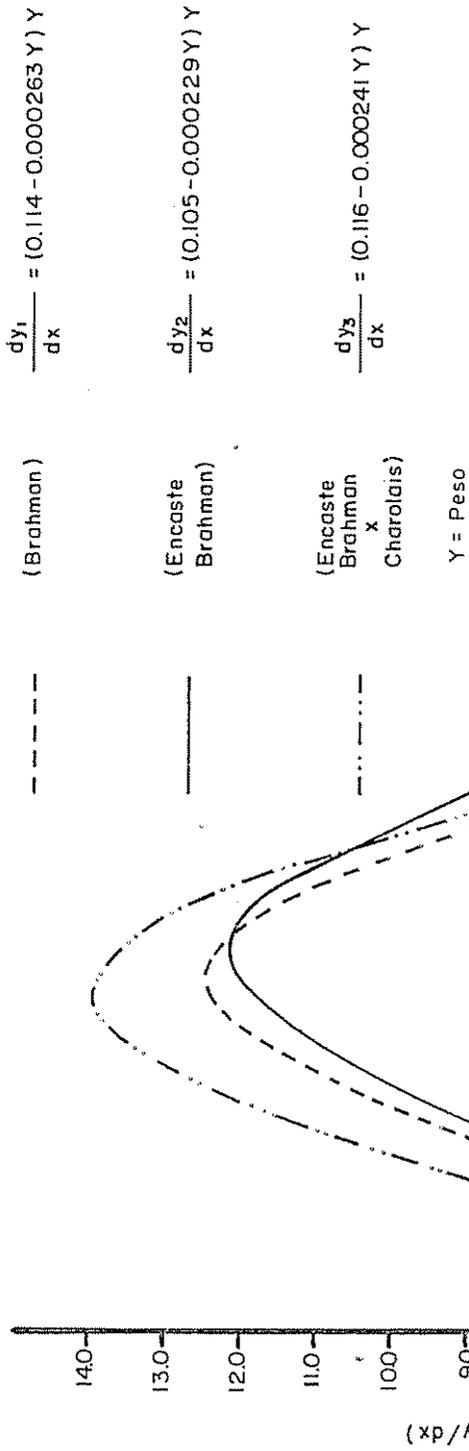


Fig. 14 Efecto de la edad sobre la tasa de crecimiento en hembras bovinas (4a)

del animal castiga mucho el gasto energético de los animales pequeños que aparentemente se ven subestimados, favoreciendo notablemente a los de mayor peso. En el presente estudio los animales más pequeños requieren más energía en actividad física, y no son más jóvenes. El resultado es la tendencia lineal observada en la Fig. 13. Por lo expuesto, la relación metabolismo energético - peso corporal es una área que amerita mayor estudio en el campo teórico.

4.4 Evaluación del modelo

4.4.1 Consumo en función de la disponibilidad de pasto

La función:

$$X_2 = \frac{X_1}{1 + (5,72 \pm 0,88)X_1} \quad \{24\}$$

donde: X_2 = consumo de materia seca, $\text{kg}/\text{P}^{0,75}/\text{día}$

X_1 = disponibilidad de materia seca, $\text{kg}/\text{P}^{0,75}/\text{día}$

y la Fig. 15 describen la relación entre disponibilidad de pasto y consumo.

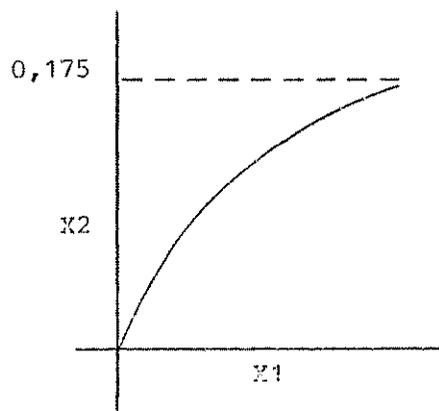


Fig. 15. Consumo de materia seca en función de la disponibilidad de pasto.

Se observa que a medida que aumenta la disponibilidad el consumo se incrementa hasta un valor asintótico, que en la práctica estará representado por la capacidad del rumen y llenado del mismo. Este límite se encuentra en el valor $0,175 \text{ kg/P}^{0,75}$. Este valor es algo alto, pues para animales de 300 kg implicaría un consumo de 4,2 por ciento del peso vivo, en trabajos de estimaciones directas con indicadores se encontraron valores de 0,11 y 0,13 en pasto pangola y estrella, respectivamente (2). Esto implica el 2,6 y 3,1 por ciento del peso vivo. El coeficiente 5,72 obtenido tiene una desviación típica de 0,88 equivalente a una variabilidad del 15 por ciento, lo cual demuestra la bondad del enfoque matemático. La sobreestimación que se presenta al utilizar este modelo posiblemente se deba a que en éste no se considera factores que inciden marcadamente sobre el consumo de alimento tales como la selección del forraje por parte del animal. Por lo tanto, en estudios futuros amerita buscar alternativas al modelo indicado. Además, esta sobreestimación está compensando la subestimación que se tiene de la digestibilidad del pasto consumido.

4.4.2 Consumo de materia digestible

La función:

$$Q_3 = 4,4 (Q_2) \quad \{25\}$$

donde:

Q_2 = digestibilidad *in vitro*

Q_3 = energía digestible disponible Mcal/kg MS

expresa la concentración de energía digestible disponible. Se observa que en la función {25} se utiliza el valor 4,4 que representa la concentración promedio de energía bruta proveniente del pasto. Este valor es una aproximación (48). Así, varios autores (12) encontraron un valor calórico para

pastos de 4 a 4,6 Mcal/kg. Además, en la función {25} se considera como variable a la digestibilidad *in vitro*. Nótese en la Fig. 1 que ésta no está afectada por ningún factor, lo que puede originar una subestimación a los valores de digestibilidad del alimento consumido. Si hay una subestimación en la concentración energética, debe haber una sobreestimación de los valores de consumo de materia seca para que el consumo de energía digestible sea correcto. Esto es lo que ocurre, según se discutió. Por lo tanto, este aspecto amerita estudio futuro.

La función:

$$X3 = X2(Q3) \quad \{26\}$$

donde: $X2 =$ consumo de materia seca, $\text{kg}/\text{P}^{0,75}/\text{día}$

$Q3 =$ energía digestible disponible, Mcal/kg MS

$X3 =$ consumo de energía digestible, $\text{Mcal}/\text{P}^{0,75}/\text{día}$

expresa el consumo de energía digestible. Esta función {26}, trae confundidos la sobreestimación observada en consumo y la subestimación de la digestibilidad *in vitro*.

4.4.3 Consumo de energía metabolizable

La función:

$$X4 = 0,82 (X3) \quad \{27\}$$

donde: $X3 =$ consumo de energía digestible, $\text{Mcal}/\text{P}^{0,75}/\text{día}$

$X4 =$ consumo de energía metabolizable, $\text{Mcal}/\text{P}^{0,75}/\text{día}$

describe la relación entre consumo de energía digestible y consumo de energía metabolizable. Nótese que la función {27} involucra la constante 0,82 que representa la eficiencia de la transformación de energía digestible a metabolizable. Debido a que las pérdidas de energía a través de la orina

y el metano del rumen son poco variables, la energía metabolizable puede ser estimada con poco error multiplicando la digestibilidad aparente del pasto por el factor 0,82 (12). Además, en el proceso de análisis, al querer afectar esta constante, se obtuvo coeficientes no significativos, y sobre todo una tendencia hacia el valor original 0,82.

4.4.4 Metabolismo para mantenimiento

La función:

$$X5P/X4P = 0,546 + (0,0675) (X4/X2) \quad \{28\}$$

donde: $X5P$ = energía neta para mantenimiento, Mcal/P^{0,75}/día

$X4P$ = energía metabolizable para mantenimiento, Mcal/P^{0,75}/día

$X4/X2$ = concentración de energía metabolizable, Mcal/kg MS

describe la eficiencia de utilización de la energía metabolizable. Según la función {28} del ARC, a medida que la concentración de energía metabolizable aumenta, también se incrementa la eficiencia de utilización según el coeficiente 0,0675. Cuando la concentración de energía metabolizable es cero, la utilización tiene una eficiencia de 0,546. Sin embargo, a valores mayores de 3,5 Mcal de energía metabolizable la eficiencia de utilización será más del 100 por ciento, lo que no es correcto. Por lo tanto, se piensa que amerite buscar alternativas a esta función. Despejando $X4P$, en la función {28}, la función resultante modificada para incluir el efecto del peso vivo del animal sobre el metabolismo de mantenimiento:

$$X4P = \frac{0,262 + 0,029 - 0,000727 + 0,000099 (Y1)}{0,546 + 0,0675 (X4/X2)} \quad \{29\}$$

donde: $Y1$ = peso corporal, kg

La función {29} contiene una aproximación lineal del efecto del peso corporal sobre el metabolismo. La pendiente de la curva 0,00727 parece ser muy severa, ya que para un valor de peso vivo mayor a 360 kg se obtiene metabolismos negativos. Sin embargo, este modelo tiene confundidos dos componentes, edad y actividad física, lo que origina que se castigue notablemente a los animales pequeños en los requisitos energéticos. Los animales pequeños han realizado, según se dijo, más actividad física. Por lo tanto, este aspecto amerita un estudio futuro tratando de separar el componente actividad física de la edad de los animales. Nótese que los coeficientes obtenidos tienen desviaciones típicas de 0,029 y 0,000099 equivalentes a una variabilidad de 11 y 14 por ciento, respectivamente. Consecuentemente, la tendencia del efecto en estudio es bastante estable.

4.4.5 Energía neta para crecimiento

La función:

$$X4S = X4 - X4P \quad \{30\}$$

donde: $X4$ = energía metabolizable consumida, Mcal/ $P^{0,75}$ /día

$X4P$ = energía metabolizable para mantenimiento, Mcal/ $P^{0,75}$ /día

$X4S$ = energía metabolizable para crecimiento, Mcal/ $P^{0,75}$ /día

expresa la concentración de energía metabolizable que se destina para crecimiento.

La función:

$$X5S/X4S = 0,03 + 0,184(X4/X2) \quad \{31\}$$

donde: $X5S$ = energía neta para crecimiento, Mcal/ $P^{0,75}$ /día

$X4S$ = energía metabolizable para crecimiento,
 Mcal/P^{0,75}/día

$X4/X2$ = concentración de energía metabolizable, Mcal/kg MS

indica la eficiencia de la transformación de energía metabolizable a neta. Despejando $X5S$ se obtiene la función {32} que describe la transformación de energía metabolizable a energía neta para crecimiento.

$$X5S = X4S \left[0,03 + 0,184 (X4/X2) \right] \quad \{32\}$$

En la función {31} se nota que a cero energía metabolizable la eficiencia de transformación tiene un valor de 0,03, a medida que aumenta la energía metabolizable la eficiencia aumenta en función al coeficiente 0,184. Sin embargo, a valores mayores de 4 Mcal/kg de energía metabolizable, la eficiencia supera a los valores obtenidos para mantenimiento: además, la función {31} hace posible valores de eficiencia mayores al 100 por ciento, lo cual no es lógico. Por lo tanto, se requiere mayor estudio en esta área posiblemente buscando alternativas a la función del ARC.

4.4.6 Valor calórico de los incrementos de peso

La función:

$$X5S = \left[0,0527 (X6) + 0,00684 (X6)^2 \right] \quad \{33\}$$

donde: $X5S$ = energía neta para crecimiento, Mcal/P^{0,75}/día

$X6$ = tasa de crecimiento, kg/día

y la Fig. 16 describen la relación entre energía neta y crecimiento.

Nótese que en la función utilizada para describir esta relación es la del NRC (36). Se observa que a medida que aumenta el incremento de

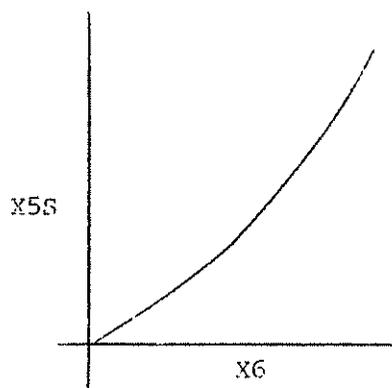


Fig. 16. Valor calórico de los incrementos de peso en función al crecimiento animal.

peso la energía neta también se incrementa en forma cuadrática, lo cual es originado por una mayor síntesis de grasa. La descripción del fenómeno biológico es aceptable. Sin embargo, al resolver el incremento de peso, como función del consumo energético, debido a que es un polinomio de segundo grado, se obtiene una función con raíz cuadrada. Si el gasto energético de mantenimiento supera al consumo, se puede obtener una raíz imaginaria.

La función:

$$X5S = 1 + 2,08 \pm 0,43(X6P) \quad [34]$$

donde: $X5S = \text{energía neta para crecimiento, Mcal/P}^{0,75}/\text{día}$

$X6P = \text{crecimiento previo, kg/día}$

describe el efecto del incremento de peso anterior sobre el valor calórico de los incrementos de peso. La función {33} fue modificada por la función

{34} quedando como sigue:

$$X5S = \left[0,0527(X6) + 0,00624 (X6)^2 \right] \left[1 + 2,08 + 0,43 (X6P) \right] \quad \{35\}$$

Se observa que la función {35} es una aproximación lineal usada para corregir los valores calóricos del incremento de peso por los incrementos de peso previos. Despejando (X6), se produce una respuesta parabólica como función de (X6P). Por lo tanto, se origina una sobreestimación del crecimiento cuando el incremento de peso previo es muy bajo. Sin embargo, se observa que la desviación típica para el coeficiente 2,08 es de 0,43, equivalente a una variabilidad del 21 por ciento. Además, al incluir este factor mejoró en R^2 . Para futuros estudios, se piensa que ajustaría mejor una curva sigmoide.

4.5 Comportamiento del modelo

El coeficiente de determinación obtenido para el modelo ilustrado en el flujograma de la Fig. 1 fue de $R^2 = 0,74$. Este coeficiente y los valores bajos de las desviaciones típicas de los coeficientes numéricos deben ser evaluados considerando que el presente trabajo incluye varios experimentos realizados con diferentes tipos de animales y de pastos. Por lo tanto, el presente estudio constituye un gran avance para predecir el comportamiento del ganado en pastoreo, si se compara con lo que actualmente se tiene disponible, que son las normas tradicionales y la intuición del ganadero. Por su efecto sobre la respuesta animal, es de especial relevancia la inclusión del factor crecimiento previo. Es pues posible la elaboración de tablas de recomendaciones que permitan tomar decisiones

sobre las necesidades de calidad y cantidad de pasto para obtener el crecimiento deseado. En el futuro amerita incluir en dichas tablas otros factores que afectan la producción del ganado, según se discutió en el capítulo de evolución del modelo.

5. CONCLUSIONES

1. En forrajes tropicales cuando la disponibilidad no es limitante, el crecimiento del ganado se ve limitado por la calidad del pasto, impidiendo que se manifieste el potencial genético de los animales.
2. Para predecir con suficiente precisión el comportamiento del ganado bajo sistemas extensivos de producción es necesario incluir la evaluación del crecimiento compensatorio.
3. La investigación biológica debe orientarse a mejorar la calidad de los pastos del trópico ya sea por mejoramiento genético o manejo, y al desarrollo de métodos para estimar el consumo de pasto en condiciones de pastoreo.
4. La investigación numérica debe enfatizar las siguientes áreas: metabolismo para mantenimiento en función de la edad, actividad física, lluvia y llenado del rumen; valor calórico de los incrementos de peso como función del crecimiento previo y peso corporal; consumo de pasto en función a digestibilidad, crecimiento previo, lluvia, peso corporal, peso corporal inicial; y digestibilidad en función de la selectividad por parte del animal.
5. La metodología desarrollada en el presente estudio permite diseñar nuevos sistemas de alimentación y tecnologías para condiciones de pastoreo fundadas en evaluaciones cuantitativas y permite orientar la investigación futura en forma independiente del componente intuitivo.

6. RESUMEN

El presente estudio se realizó en el Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica y en el Centro de Procesamiento de Datos del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA).

Los objetivos fueron: integrar y evaluar cuantitativamente la información relacionada con los principales factores que afectan la producción del ganado en pastoreo; desarrollar funciones para predecir la producción del ganado en pastoreo e identificar áreas donde aún se requiera generar información experimental.

Se evaluó un total de 200 modelos para estudiar el crecimiento del ganado en función del consumo y digestibilidad de pasto, metabolismo intermedio, valor calórico de los incrementos de peso y crecimiento compensatorio. El modelo final quedó conformado por las siguientes entradas: disponibilidad y digestibilidad *in vitro* de pasto, crecimiento previo y peso vivo. La respuesta del sistema fue la tasa de crecimiento. El crecimiento como función de la disponibilidad y calidad de pasto indica: 1) A medida que aumenta la disponibilidad de materia seca, el crecimiento también se incrementa. Sin embargo, a disponibilidades mayores a $1,0 \text{ kg MS/P}^{0,75}$ no hay mayor incremento en la tasa de crecimiento, pues el animal ha llegado al máximo de consumo permitido por el llenado del rumen; 2) La calidad de pasto en el trópico es un factor limitante para que el ganado exhiba todo su potencial de producción.

El crecimiento de peso en función del incremento previo indica:

1) A medida que disminuye el incremento de peso previo, hay mayor crecimiento posterior, originado por el crecimiento compensatorio; 2) A valores

de crecimiento previo mayores de 0,3 a 0,4 kg/día no se manifiesta un crecimiento compensatorio significativo; 3) La disponibilidad y calidad de pasto afecta la recuperación del animal penurizado.

El coeficiente de determinación para el modelo fue de $R^2 = 0,74$. Los coeficientes numérico- obtenidos para los modelos matemáticos tuvieron una variabilidad entre 10 y 20 por ciento. El modelo puede utilizarse en la elaboración de tablas de recomendaciones que permitan tomar decisiones sobre las necesidades de calidad y cantidad de pasto para obtener el crecimiento deseado.

Para mejorar el modelo, entre otros aspectos, amerita investigación futura, el consumo de pasto en función de selección que el ganado hace por calidad; valor calórico de los incrementos de peso en función al crecimiento previo; necesidades energéticas para mantenimiento, según la edad del animal y la actividad física realizada.

Ga. SUMMARY

The present study was carried out at the Computing Center of the University of Costa Rica and the Data Processing Center of the Inter-American Institute of Agricultural Sciences of the OAS (IICA).

The objectives were to integrate and quantitatively evaluate information relating to the principal factors affecting cattle production under grazing conditions, and to identify areas where more experimental information is most needed.

A total of 200 models were studied, related to cattle growth as a function of pasture digestibility, intermediate metabolism, caloric energy value of weight changes and compensatory growth. The resulting final model included the following input information: forage availability and *in vitro* digestibility, previous growth and liveweight. The output of the system was growth rate. Growth rate as a function of availability and quality of pasture indicated: 1) Growth rate increased as forage dry matter availability increased. Nevertheless, at levels of daily availability above 1.0 kg DM/kg^{0,75} growth rate did not continue to increase as the animals reached a maximum consumption limited by rumen fill; 2) Pasture quality in the tropics is a factor limiting animals to demonstrate their production potential.

Growth rate as a function of previous growth rate indicated:

1) Growth rate in a given period was related inversely with growth rate of the preceeding period indicating compensatory growth; 2) At values of previous weight changes exceeding 0.3 to 0.4 kg/day no significant compensatory growth was realized; 3) The availability and quality of

pasture affects the recuperation of penurized animals.

The coefficient of determination for the model was $R^2 = 0.74$. The numerical coefficients obtained for the mathematical models had variations between 10 and 20 per cent. The model was utilized for the elaboration of tables of recommendations which allow one to make decisions regarding the requirements in quality and quantity of pasture necessary to obtain given growth responses.

To improve the model, among other aspects for future studies, priority should be given to: pasture consumption as related to quality and selectivity by the animal; energy caloric values for body weight changes as related to previous growth rates; energy requirements for maintenance as affected by the age and physical activity of the animal.

7. LITERATURA CITADA

1. AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. Necesidades nutritivas de los animales domésticos. 2: Editorial Académica Española. 1968. 372 p.
2. ANRIQUE, R. G. Consumo de pasto guinea (*Panicum maximum*) y Pangola (*Digitaria decumbens*) por bovinos en pastoreo directo a diferentes edades y peso corporales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. 54 p.
3. ALLDEN, W. G. The effect of nutritional deprivation on the subsequent productivity of sheep and cattle. *Nutrition Abstracts and Reviews* 40(4):1167-1184. 1970.
4. ARMSTRONG, D. G., BLAXTER, K. L. y WAITE, R. The evaluation of artificially dried grass as a source of energy for sheep. III. The prediction of nutritive value from chemical and biological measurements. *Journal Agriculture Science* 62:417-424. 1964.
- 4a. BAILON, G. A. Aspectos genético-fisiológicos del crecimiento en ganado de carne en el trópico. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 48 p.
5. BATEMAN, J. V. y BLAXTER, K. L. The utilization of the energy of artificially dried lucerne. *Journal Agriculture Science* 63:129-131. 1964.
6. _____. Nutrición animal. Manual de métodos analíticos. Herrero, México, 1970. 469 p.
7. BALCH, C. C. y CLAMPLING, R. C. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutrition Abstracts and Reviews* 32(3):669-693. 1962.
8. _____. y CLAMPLING, R. C. Rate of passage of digesta through the ruminant digestive tract. In *Physiology of Digestion in the ruminant*, editado por Dougherty R. W. Butterworths, Washington, D.C. pp. 108-123. 1965.
9. BLAXTER, K. L. Metabolismo energético de los rumiantes. Zaragoza, Acribia. 1964. 314 p.
10. _____. WAIMAN, F. W. y WILSON, R. S. The regulation of food intake by sheep. *Animal Production* 3(1):51-61. 1961.
11. _____. y WILSON, R. S. The voluntary intake of roughage by steers. *Animal Production* 4(3):351-353. 1962.

12. BLAXTER, K. L. Utilization of the metabolizable energy of grass. *Journal British Grassland Society* 19(1):62-70. 1964.
13. BRYANT, H. T. et al. Symposium on pasture methods for maximum production in beef cattle. Effect of grazing management on animal and area output. *Journal Animal Science* 30(1):153-158. 1970.
14. CARNEGIE, A. B., TULLOH, H. M. y SEEBECK, R. M. Developmental growth and body weight loss of cattle. V. Changes in the alimentary tract. *Australian Journal Agricultural Research* 20(2):405-415. 1969.
15. CONRAD, H. R. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Physiological and physical factors limiting feed intake. *Journal Animal Science* 25(1): 227-235. 1966.
16. CUBILLOS, G., VOHNOUT, K. y JIMENEZ, C. Sistemas intensivos de alimentación del ganado en pastoreo. Trabajo presentado en el Seminario sobre: El potencial para la producción de ganado de carne en América Tropical, en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), del 18 al 21 de febrero 1974, Cali, Colombia. pp. 125-141.
17. CLAMPLING, R. C. The control of voluntary intake of food in cattle. *Outlook on Agriculture* 5(2):74-79. 1966.
18. DRORI, D., LEVY, D., JOLMAN, Y. y HOLGER, Z. Compensatory growth on intensively raised bull calves. II. The effect of feed energy concentration. *Journal Animal Science* 38(3):654-661. 1974.
19. DENT, J. W. y ALDRICH, D. T. A. The *in vitro* digestibility of herbage species and varieties and its relationship with cutting treatment stage of growth and chemical composition. In *Proceeding of the International Grassland Congress, Finlandia*, 1966. pp. 419-428.
20. FOX, D.G., JOHNSON, R. R. et al. Protein and energy utilization during compensatory growth in beef cattle. *Journal Animal Science* 34(2):310-318. 1972.
21. _____ et al. Plasma growth hormone levels and thyroid secretion rates during compensatory growth in beef cattle. *Journal Animal Science* 38(2):437-441. 1974.
22. GRAHAM, N. McC. y SEARLE, T. W. Studies of weaner sheep during and after a period of weight stasis. I. Energy and nitrogen utilization. *Australian Journal Agricultural Research* 26(2): 343-353. 1975.

- 22a. GOMEZ, E. Utilización de concentrados líquidos por ganado en pastoreo en el trópico cálido-seco. Turrialba, Costa Rica. 1975. (datos sin publicar).
23. HIRONAKA, R. y KOZUB, G. C. Compensatory growth of beef cattle restricted at two energy levels for two periods. *Canadian Journal Animal Science* 53(4):709-715. 1973.
24. HODGSON, J. The relationship between the digestibility of sward and the herbage consumption of grazing calves. *Journal Agricultural Science* 70(1):47-51. 1968.
25. _____, y WILKINSON, J. M. The relationship between liveweight and herbage intake in grazing cattle. *Animal Production* 9(3): 365-376. 1967.
26. HOLMES, W., JONES, G. W. y DRAKE BROCKMAN, R. M. The food intake in grazing cattle. II. The influence of size of animal on food intake. *Animal Production* 3(3):251-260. 1961.
27. HUNGATE, P. E. The rumen and its microbes. Academic Press, Inc., New York. 1966.
28. INTERNATIONAL MATHEMATICAL STATISTICAL LIBRARIES, INC. Library vol. 2. Houston, Texas. 1977.
29. JONES, G. M. Chemical factors and their relation to feed intake regulation in ruminants: a Review. 52(2):220-222. 1972.
30. JONES, R. K. Nutrimientos requeridos para el establecimiento de praderas mejoradas. Trabajo presentado en el Seminario sobre: El potencial para la producción de ganado de carne en América Tropical, en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), del 18 al 21 de febrero 1974, Cali, Colombia. pp. 17-22.
31. LASSO, M. Crecimiento de toretes de carne con diferentes niveles de proteína, energía y presión de pastoreo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1975. 73 p.
32. LEMUS P., A. Producción de carne bovina en praderas de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*, Vandersyt var *nlemfuensis*) bajo diferentes presiones de pastoreo y niveles de fertilización nitrogenada. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1977. 104 p.
33. MEYER, J. H. y CLAWSON, A. J. Undernutrition and recovery from undernutrition in rats and sheep. *Journal Animal Science* 23:214-224. 1964.
34. MOORE, J. E. Conversión de forrajes a producto animal. In Conferencia anual sobre Ganadería y Avicultura en América Latina, 8a., Florida. 33A-39A. 1974.

35. MOORE, J. E. y DUNHAM, D. G. Procedure for this two-stage *in vitro* organic matter digestion of forages. University of Florida. 1971.
36. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of beef cattle. 4th ed. Washington, D. C., 1970. 55 p.
37. PALADINES, O. Métodos *in vitro* para determinar el valor nutritivo de los forrajes. Montevideo, Uruguay, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Sur. 1967. 157 p.
38. PRESTON, T. R. y WILLIS, M. B. Producción intensiva de carne. Segunda edición. México, D. F., Diana. 736 p. 1974.
39. RAYMOND, W. F. The nutritive value of forage crops. *Advances in Agronomy* 21:1-108. 1969.
40. RALEIGH, R. J. Symposium on pasture methods for maximum production in beef cattle: manipulation of both livestock and forage management to give optimum production. *Journal Animal Science* 30(1):108-114. 1970.
41. REID, J. T., SMITH, A. M. y ANDERSON, M. J. Difference in the requirements for maintenance of dairy cattle between pasture and barn feeding conditions. *Cornell Nutrition. Conference for feed manufactures. Proceedings.* pp. 88-94. 1958.
42. RUIZ, M. y VOHNOUT, K. El uso de sub-productos en la alimentación de bovinos en el trópico. Trabajo presentado en exposiciones pecuarias del istmo centroamericano del 10 al 17 de marzo 1974, en Tegucigalpa, Honduras.
- 42a. RUILOBA, A. Relación entre el nivel nutricional del ganado en la época seca y su recuperación en la época lluviosa. Gualaca, Panamá. 1976. (datos sin publicar).
43. SEARLE, T. W. y GRAHAM, N. McC. Studies of weaner sheep during and after a period of weight stasis. II. Body composition. *Australian Journal Agricultural Research* 26(2):355-361. 1975.
44. STOBBS, T. H. y THOMPSON, P. Producción de leche en pasturas tropicales. *Revista Mundial de Zootecnia* 13:27-37. 1975.
45. STRUBLE, G. Statistical Laboratory and Computing Center, University of Oregon, Eugene, Oregon. 1963.
46. TREMKLE, A. Hormonal and nutritional interrelationships and their effects on skeletal muscle. *Journal Animal Science* 38(5):1142-1149. 1974.

47. VERDE, L. S. Crecimiento compensatorio. Factores que determinan su manifestación e intensidad. Balcarce, Argentina. Inst. Nac. Tec. Agrp. (Serie de materiales didácticos, no. 1). 23 p. 1972.
48. _____, JOANDET, E. A. G. Y TORRES, F. Producción Animal. Efecto del nivel de restricción sobre el crecimiento compensatorio de novillos para carne. Buenos Aires, Argentina, Asociación Argentina de Producción Animal (AAPA). vol. 3:434-442. 1974.
49. VOHNOUT, K. Coeficientes de variabilidad para pruebas de calorimetría en ovejas en condiciones de ayuno. ALPA. Memoria. 3:181-182. 1968. (Compendio).
50. WILSON, P. N. y OSBOURN, D. F. Compensatory growth after undernutrition in animals and birds. Biological Reviews 35:324-363. 1960.
51. YEATES, N. T. M. Starvation changes and subsequent recovery of adult beef muscle. Journal Agricultural Science 62:267-272. 1964.
52. ZAÑARTU, D. Presión de pastoreo y fertilización nitrogenada en la producción de carne en praderas de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*, Vanderyst var *nlemfuensis*). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1975. 99 p.