

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

PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO DEL GANADO EN
PASTOREO CON SUPLEMENTACIÓN DE MELAZA Y UREA

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

Magister Scientiae

FRANCISCO ROMERO ROYO

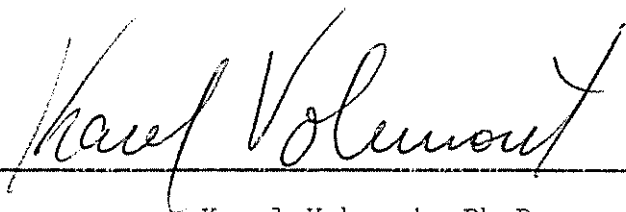
Turrialba, Costa Rica

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




Karel Vohnout, Ph.D.

Consejero



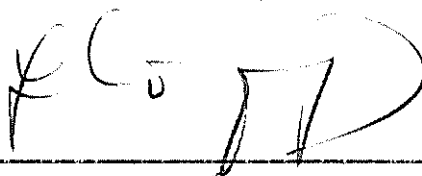
Oliver Deaton, Ph.D.

Comité



Javier Gainza, M.S.

Comité



Coordinador

Sistema de Estudios de Postgrado
de la Universidad de Costa Rica

DEDICATORIA

A mi hijo Francisco de Paula

A mi esposa Jeannette

A mis padres y hermanos

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento:

- Al Dr. Karel Vohnout, Consejero y amigo, por la acertada dirección del presente trabajo.
- A los Miembros del Comité Consejero: Oliver Deaton, Ph.D. y Javier Gainza, M.S., por su oportuna orientación.
- A Manuel Ruíz, Ph.D., Héctor Muñoz, Ph.D., Gustavo Cubillos, Ph.D. y al Ing. Guillermo Fuentes, por su colaboración y amistad brindadas.
- A Bernardo Montero, M.S., Director de la Escuela de Matemática, por la colaboración brindada.
- Al Programa de Información Agropecuaria del Istmo Centroamericano (PIADIC), en la persona de su Director, Sr. Rogelio Coto, por el financiamiento del procesamiento de la información.
- Al personal de la División de Procesamiento de Datos del IICA y Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica, por las facilidades de computación.
- Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP), por permitir la utilización de datos experimentales.
- Al Gobierno de Holanda y al IICA-Zona Norte, por haber hecho posible la realización de mis estudios de posgrado.
- A mi esposa y mis padres, por el apoyo brindado.

BIOGRAFIA

El autor nació en Turrialba, Costa Rica. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Seminario, en San José. Obtuvo el grado de Ingeniero Agrónomo en la Escuela de Zootecnia, Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica, en 1974.

En marzo de 1975 ingresó al Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, del Convenio Universidad de Costa Rica-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (UCR-CATIE), en Turrialba, Costa Rica, donde realizó estudios en el Departamento de Ganadería Tropical, obteniendo el título de *Magister Scientiae* en julio de 1977.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Utilización de la melaza en la alimentación del ganado	3
2.2 Utilización de la urea en la alimentación del ganado	4
3. MATERIALES Y METODOS	6
3.1 Localización del trabajo	6
3.2 Fuentes de información	6
3.3 Análisis de la información	6
3.4 Verificación del modelo matemático	6
3.5 Variables en estudio	7
3.6 Tabulación de la información	7
3.6.1 Materia seca disponible del pasto	7
3.6.2 Digestibilidad de la materia seca disponible	8
3.6.3 Consumo de melaza	8
3.6.4 Consumo de nitrógeno no proteico	9
3.6.5 Peso promedio de los animales	9
3.6.6 Tasas de crecimiento pre-experimentales y experimentales	9
3.6.7 Simbología utilizada	10
4. RESULTADOS Y DISCUSION	12
4.1 Descripción del modelo	12
4.1.1 Consumo de pasto	12
4.1.2 Digestibilidad del pasto	15
4.1.3 Consumo de energía digestible	16
4.1.4 Consumo de energía metabolizable	17
4.1.5 Energía metabolizable para mantenimiento.	18
4.1.6 Energía neta para crecimiento	20
4.1.7 Valor calórico de los incrementos de peso	21
4.2 Evolución del modelo	22

	<u>Página</u>
4.2.1 Consumo de pasto	23
4.2.2 Digestibilidad	25
4.2.3 Energía neta	26
4.3 Predicción de la tasa de crecimiento	27
4.4 Evaluación del modelo	41
4.4.1 Consumo de forraje	41
4.4.2 Digestibilidad del pasto	43
4.4.3 Consumo de energía digestible	45
4.4.4 Consumo de energía metabolizable	45
4.4.5 Energía metabolizable para mantenimiento.	46
4.4.6 Energía neta para crecimiento	48
4.4.7 Valor calórico de los incrementos de peso	49
4.5 Comportamiento del modelo	51
5. CONCLUSIONES	52
6. RESUMEN	53
6a. SUMMARY	55
7. LITERATURA CITADA	57

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura No.</u>		<u>Página</u>
1	Crecimiento del ganado en pastoreo en función de la disponibilidad de pasto y de la suplementación con urea y melaza	13
2	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con melaza	29
3	Consumo de forraje en función de la disponibilidad de pasto y consumo de melaza	31
4	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con melaza	32
5	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con NNP	34
6	Consumo de forraje en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con NNP	35
7	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con melaza y NNP	36
8	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con NNP y melaza	38
9	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con melaza y NNP	39
10	Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y de la suplementación con NNP y melaza	40

1. INTRODUCCION

Para el desarrollo eficiente de tecnologías idóneas a las condiciones ecológicas y socio-económicas del trópico, debe ser posible predecir con suficiente precisión el comportamiento del ganado. Esto solo se puede lograr integrando la información existente en modelos que permitan evaluar y describir en forma cuantitativa el comportamiento del sistema. Para el caso particular del ganado en pastoreo, no existen normas que el productor pudiera seguir con la certidumbre de poder predecir el comportamiento de los animales. Consecuentemente, se requiere desarrollar modelos que incluyan, en términos cuantitativos, los factores y problemas que se describen a continuación.

En las zonas tropicales la disponibilidad de pasto y su calidad varía considerablemente a través del año, debido a las fluctuaciones climáticas estacionales. Por efecto de la estacionalidad en la producción de forraje, los animales crecen también estacionalmente. En algunas zonas, durante la época seca los animales pierden peso debido a la escasez y deficiente calidad del pasto y crecen únicamente en la época de lluvias. Sin embargo, aún en la estación lluviosa, los pastos tropicales tienen generalmente un valor nutritivo menor a los pastos de zonas templadas, por lo que el crecimiento del animal suele ser también menor. Por consiguiente, para mejorar el crecimiento sería necesario suministrar alimentos complementarios a la escasez de forraje y suplementarios a la calidad.

En los países productores de caña, la melaza puede ser un suplemento energético barato. En cuanto a suplementos proteicos, existe la necesidad de utilizar recursos que no compitan con la alimentación humana y que sean suficientemente baratos. Con estas características el nitrógeno

no proteico (MMP) es la fuente más barata. A la fecha presente se carece de información cuantitativa que permita hacer recomendaciones suficientemente confiables para predecir la producción con animales en pastoreo que reciben estos alimentos.

Por lo expuesto, los objetivos del presente trabajo fueron:

1. Estudiar el comportamiento del animal en pastoreo suplementado con diferentes niveles de melaza y urea.
2. Desarrollar una metodología para predecir el crecimiento del ganado en pastoreo suplementado con melaza y urea.
3. Identificar áreas donde se requiera más investigación para generar información.

2. REVISION DE LITERATURA

El conocimiento cualitativo sobre la utilización de la melaza y la urea en la alimentación del ganado se resume a continuación.

2.1 Utilización de la melaza en la alimentación del ganado

La melaza contiene un nivel bajo de nitrógeno y un alto contenido de azúcares (21, 48). Al suministrar melaza a los animales en pastoreo se encuentra un efecto aditivo de la energía del pasto y la energía aportada por la melaza. Existe también un efecto sustitutivo del pasto por la melaza que resulta en una disminución del consumo de forraje a medida que aumenta el consumo de melaza (7, 46, 49, 54). Además de estos efectos simples, existen otros más complejos a nivel de sistema digestivo y de metabolismo intermedio. Algunos investigadores han encontrado que la melaza no afecta o afecta muy poco la digestibilidad de la fibra y la proteína (12, 17, 24, 37). Sin embargo, otros afirman que hay una disminución de la digestibilidad de la fibra, proteína y materia seca al incrementar los niveles de melaza (4, 6, 11, 13, 23, 47). Estas divergencias pueden ser debidas a que el grado de digestibilidad potencial de los pastos está afectado por la relación entre los carbohidratos solubles y estructurales y el nivel de nitrógeno disponible (9, 42, 51, 64). La melaza produce un patrón de fermentación característico, diferente al producido por alimentos con un alto contenido de celulosa, como los pastos o un alto contenido de almidón, como los granos. Hay una mayor producción de ácido butírico que en los forrajes toscos y los granos y una menor concentración de ácido acético que en los forrajes

toscos (17, 41, 47, 56). Además, la cantidad total de ácidos grasos volátiles es menor en aquellos animales alimentados con mezclas de pasto y melaza que los alimentados solo con melaza (39, 40, 41). Esto repercute a nivel de metabolismo intermedio. Teóricamente, la completa oxidación del ácido butírico rinde mayor cantidad de ATP por mol de ácido oxidado, que los ácidos acético y propiónico. Sin embargo, tanto el butirato como el acetato no pueden ser utilizados directamente como fuente energética, sirviendo únicamente como esqueletos de carbono en la síntesis de ácidos grasos de cadena más larga. Esto y la conversión de gran cantidad del ácido butírico a cuerpos cetónicos y ácido acético disminuye el rendimiento de ATP y aumenta la producción de calor reduciendo la eficiencia de utilización del butirato (34, 35, 56). Como resultado de este patrón metabólico, los animales alimentados con raciones de melaza y forrajes tienen valores más bajos de glucemia y menor producción de glucosa que los animales alimentados con grano*. Esto causa un incremento en la producción de cuerpos cetónicos, debido a la oxidación de las grasas. El resultado neto es un menor consumo de alimento y menor eficiencia de la energía metabolizable y por ende de los incrementos de peso, que lo obtenido con raciones que contienen almidones (34).

2.2 Utilización de la urea en la alimentación del ganado

La urea es la fuente de NMP más utilizada, debido principalmente a su bajo costo, facilidad de manejo y resultados positivos cuando

* Preston, T. R., comunicación personal.

se utiliza en algunas raciones (14, 27, 52). En el rumen el NNP es convertido a amonio por la ureasa, enzima producida por la microflora ruminal (14, 64). El amonio es utilizado como el principal sustrato nitrogenado para crecimiento de los microorganismos del rumen (14, 27, 64). En esta forma el animal utiliza la proteína microbiana para sus propias necesidades. Sin embargo, el rendimiento de proteína microbial está afectado por factores que afectan la tasa de hidrólisis de la urea y la tasa de utilización del amonio por los microorganismos, encontrándose valores en la literatura que van desde 23 hasta 82 g de N microbial por mol de hexosa fermentada (27, 29). La tasa de hidrólisis de la urea es más rápida que la tasa con que los microorganismos asimilan el amonio resultante, lo cual perjudica la eficiencia de utilización de la urea. Esta eficiencia puede mejorarse al suministrar la urea junto con la melaza, ya que ésta es una fuente de carbohidratos rápidamente fermentable y el animal la consume lentamente (14, 19, 27, 36). En pastos de bajo contenido proteico, el aumento en la síntesis microbial al adicionar NNP y carbohidratos de fermentación rápida, produce un aumento de la digestibilidad y el consumo de forraje (4, 18, 20, 21, 45, 61). Además, a nivel del metabolismo animal, al aumentar los niveles de la proteína se mejora la utilización de la energía disponible (9, 31, 53).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del trabajo

El presente trabajo se realizó en la División de Procesamiento de Datos del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), situado en San Isidro de Coronado y en el Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica, en San Pedro de Montes de Oca.

3.2 Fuentes de Información

La información experimental analizada se obtuvo en el Departamento de Ganadería Tropical del CATIE y en otras estaciones experimentales con programas asociados al CATIE. Específicamente los trabajos de Gómez (25), Lasso (32), Lemus (33), Ruiloba (58), Zañartu (65) y otras referencias de la literatura.

3.3 Análisis de la información

En el IICA se utilizó una computadora IBM 1130, con un programa de resolución de ecuaciones no lineales (62). En el Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica se usó una computadora IBM 360, utilizando las siguientes subrutinas del paquete IMSL: ZREAL1, ZREAL2, ZSYSTEM, ZXSSO, y ZXMIN (30).

3.4 Verificación del modelo matemático

Para verificar el modelo propuesto se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Convergencia en el proceso de análisis
- Desviación típica de los coeficientes numéricos
- Coeficientes de determinación (R^2)

3.5 Variables en estudio

Como paso inicial, se identificó las principales variables que influyen en el crecimiento del ganado en pastoreo suplementado con miel y NNP. Luego se elaboró un flujograma teorizando las relaciones de causa y efecto de las variables escogidas sobre el consumo, metabolismo e incremento de peso. Para cada relación de causa y efecto se postuló el modelo matemático y se procedió a obtener los coeficientes numéricos.

3.6 Tabulación de la información

3.6.1 Materia seca disponible del pasto

Este parámetro se obtuvo según la relación:

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

donde: d_i = materia seca disponible, kg/ha/semana

MSI = materia seca inicial, kg/ha/semana

MSR = materia seca final, kg/ha/semana

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

La Materia Seca Inicial corresponde a la cantidad de materia seca antes de entrar los animales a la parcela, la Materia Seca Final fue lo que quedó cuando salieron los animales una semana después.

Para el cálculo de Materia Seca Disponible por día (D_i), se usó la relación:

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

El cálculo de disponibilidad de Materia Seca por unidad de peso

metabólico (X1) se obtuvo así:

$$X1 = \frac{D_i}{P_i^{0,75}} \quad \{3\}$$

donde: $P_i^{0,75}$ = Promedio aritmético de los pesos metabólicos*
promedios de los animales del tratamiento i

3.6.2 Digestibilidad de la Materia Seca Disponible

Los valores de digestibilidad incluidos en el presente estudio, se obtuvieron *in vitro* por el método de Tilley y Terry o de dos etapas (43). La digestibilidad del pasto disponible se calculó con la relación:

$$O1_i = \frac{MSI_i (DI_i) + MSF_i (DF_i)}{d_i} \quad \{4\}$$

donde: $O1_i$ = digestibilidad de la Materia Seca Disponible

DI_i = digestibilidad de la Materia Seca Inicial

DF_i = digestibilidad de la Materia Seca Final

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

3.6.3 Consumo de melaza

El consumo de materia seca de la melaza se calculó mediante la siguiente relación:

$$X2P_i = \frac{M_i \cdot MS_i}{P_i^{0,75}} \quad \{5\}$$

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

donde: $X2P_i$ = melaza consumida, $\text{kg}/P^{0,75}/\text{día}$
 N_i = melaza consumida en base fresca, $\text{kg}/P^{0,75}/\text{día}$
 MS_i = concentración de materia seca de la melaza
 P_i = peso del animal, kg

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

3.6.4 Consumo de nitrógeno no proteico

En virtud de que el nitrógeno no proteico se administró mezclado con la melaza, el consumo de nitrógeno no proteico se calculó así:

$$X2S_i = X2P_i \cdot NNP_i \quad \{6\}$$

donde: $X2S_i$ = consumo de nitrógeno no proteico, $\text{kg}/P^{0,75}$

NNP_i = concentración de nitrógeno en la melaza

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

3.6.5 Peso promedio de los animales

El peso promedio de los animales de cada tratamiento se calculó así:

$$Y_i = \frac{P_i}{n_i} \quad \{7\}$$

donde: Y_i = peso promedio del grupo i , kg

P_i = peso promedio de cada animal durante el período de estudio, kg

n_i = número de animales

3.6.6 Tasas de crecimiento pre-experimentales y experimentales

Las tasas pre-experimentales y experimentales fueron obtenidas

por regresión, usando el siguiente modelo:

$$Z = b_0 + b_1 X \quad \{8\}$$

donde: Z = peso del animal, kg

X = días

b_0 = peso del animal cuando $X = 0$

b_1 = tasa de crecimiento, kg/día

Luego se procedió a promediar las tasas como sigue:

$$X6_i = Z1_i/n$$

$$X6P_i = Z2_i/n$$

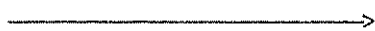
En que: $X6$ = tasa de crecimiento durante el período de estudio,
kg/día

$X6P$ = tasa de crecimiento previa al período de estudio,
kg/día

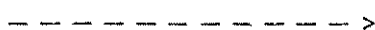
1 = período pre-experimental

2 = período experimental

3.6.7 Simbología utilizada



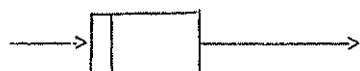
Flujo de material



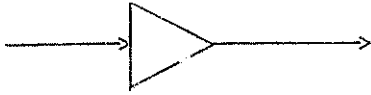
Flujo de información



Cambio cualitativo independiente del tamaño del sistema



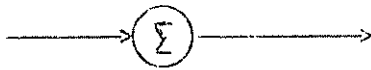
Cambio cuantitativo dependiente del tamaño del sistema



Cambio en el parámetro o
la forma de energía



Multiplicación



Adición

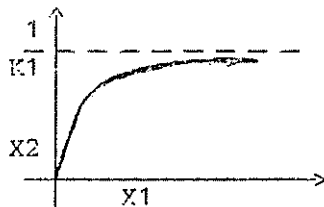
4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Descripción del modelo

La Fig. 1 muestra el modelo adoptado luego de haber estudiado más de 200 modelos matemáticos diferentes. Se puede observar que las entradas del modelo son peso corporal, disponibilidad de pasto, consumo de melaza y consumo de urea en función del peso metabólico. La salida del modelo es la tasa de crecimiento diario. Las diferentes etapas se describen a continuación:

4.1.1 Consumo de pasto

La relación entre disponibilidad de pasto (X_1) y el consumo de pasto (X_2) se representan así:



$$X_2 = \frac{X_1}{1 + K_1 X_1} \quad \{9\}$$

En la función {9} se observa que cuando no existe disponibilidad de forraje el consumo es cero. A medida que aumenta la disponibilidad aumenta el consumo, hasta un valor $1/k_1$, que por limitaciones fisiológicas en el animal, es el máximo consumo de forraje que éste puede hacer.

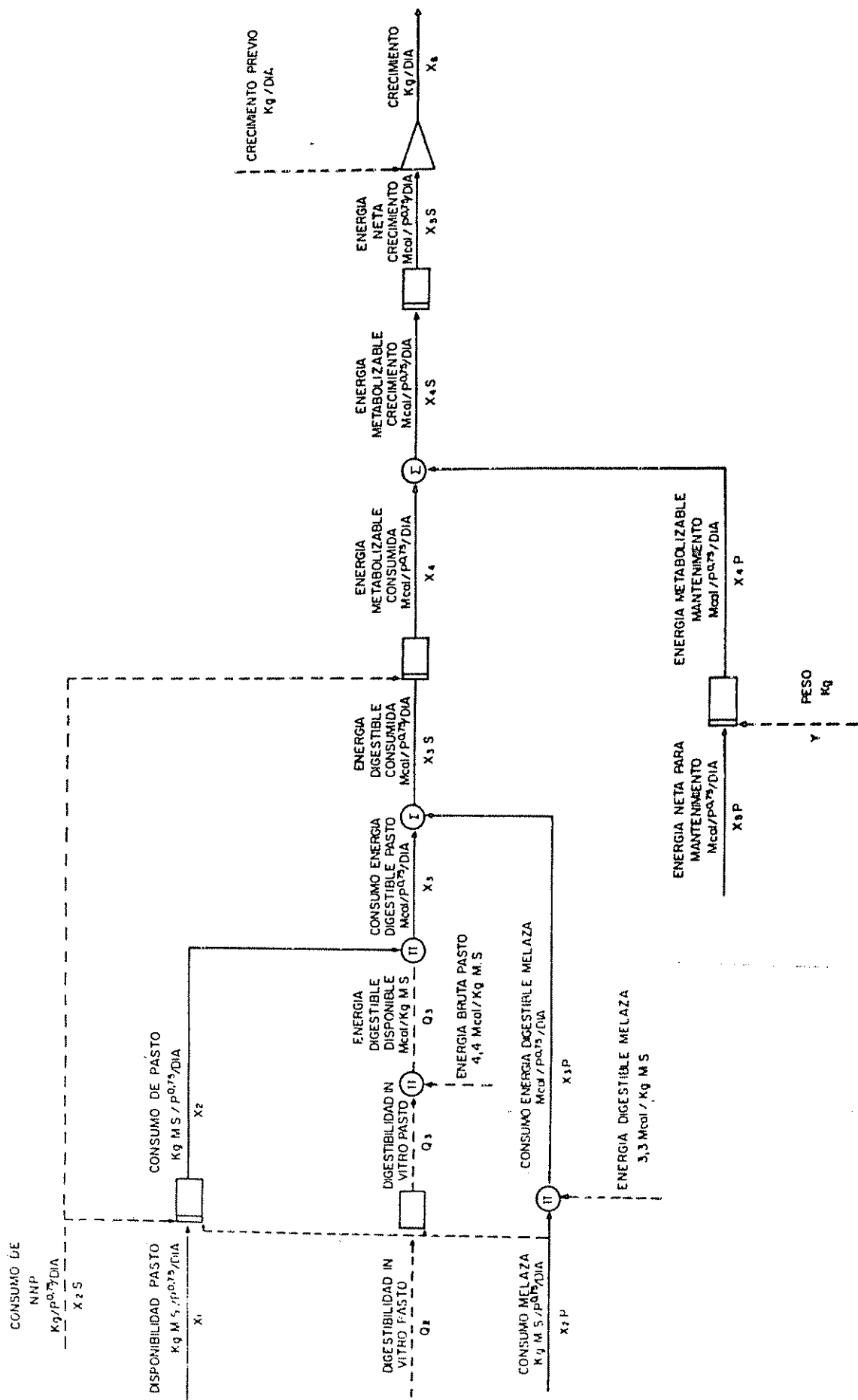
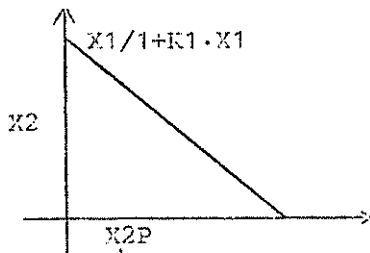
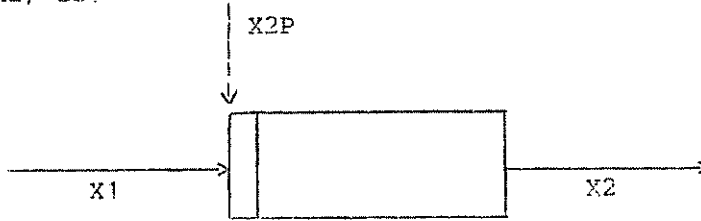


FIG.1 CRECIMIENTO DEL GANADO EN PASTOREO EN FUNCION DE LA DISPONIBILIDAD DE PASTO Y DE LA SUPLEMENTACION CON MELAZA Y UREA

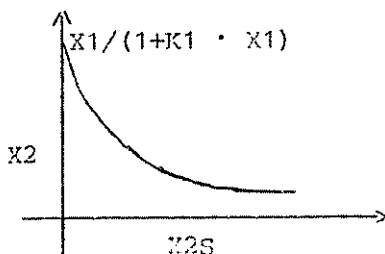
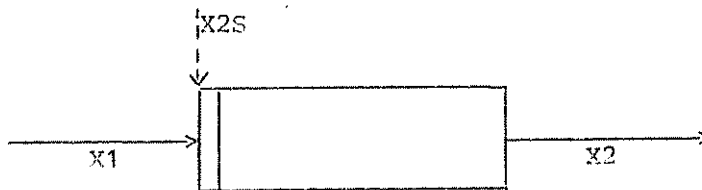
La relación entre el consumo de melaza (X_{2P}) y el consumo de forraje (X_2) es:



$$X_2 = \frac{X_1 \cdot (1 - K_2 \cdot X_{2P})}{1 + K_1 \cdot X_1} \quad \{10\}$$

Según la función {10}, si el consumo de melaza (X_{2P}) es cero, el consumo de forraje (X_2) es solo función de la disponibilidad de pasto (X_1). A medida que aumenta el consumo de melaza hasta un límite de $1/K_2$, el consumo de forraje tiende a cero.

El consumo de nitrógeno no proteico, NNP , (X_{2S}) afecta el consumo de forraje de la siguiente manera:



$$X_2 = \frac{X_1 \cdot (1 - K_3 \cdot X_{2S} + K_4 \cdot X_{2S}^2)}{1 + K_1 \cdot X_1} \quad \{11\}$$

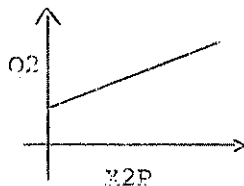
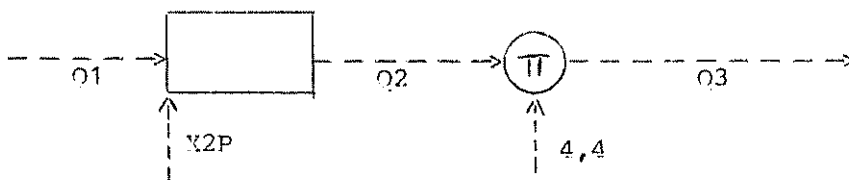
La ecuación {11} se acopla a la ecuación {10} para obtener la función siguiente:

$$K2 = \frac{X1 \cdot (1 - K2 \cdot X2P) (1 - K3 \cdot X2S + K4 \cdot X2S^2)}{1 + K1 \cdot X1} \quad \{12\}$$

La función {12} indica que cuando el consumo de NFP ($X2S$) es cero, el consumo de pasto será función de la disponibilidad de forraje ($X1$) y del consumo de melaza ($X2P$). A medida que aumenta el consumo de NFP, el consumo de forraje disminuye progresivamente. El polinomio de segundo grado es una aproximación, pues biológicamente no es posible que pasado cierto límite se reverse el efecto de NFP sobre el consumo de pasto.

4.1.2 Digestibilidad del pasto

La digestibilidad del pasto ($O1$), estimada por el método *in vitro* ($O2$), está afectada por el nivel de consumo de melaza ($X2P$) según la relación causa y efecto siguiente:



$$O2 = O1 (1 + K5 \cdot X2P) \quad \{13\}$$

Según la ecuación {13}, cuando el consumo de melaza ($X2P$) es cero, la digestibilidad del pasto es la digestibilidad *in vitro* ($O1$). A medida

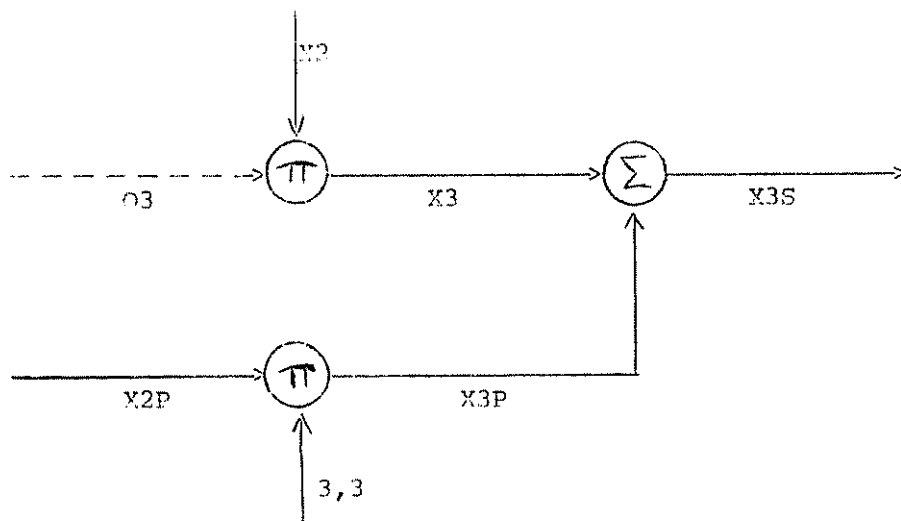
que aumenta el consumo de melaza la 'digestibilidad del pasto' (Q_2) aumenta. Para determinar la concentración de energía digestible disponible (Q_3) se usó la siguiente relación:

$$Q_3 = 4,4 \cdot Q_2 \quad \{14\}$$

En la ecuación {14} se utiliza la constante 4,4 como la concentración de energía bruta del pasto, Mcal/kg MS.

4.1.3 Consumo de energía digestible

El consumo de energía digestible (X_{3S}) es la sumatoria del consumo de energía digestible del pasto (X_3) y la energía digestible de la melaza (X_{3P}). Estas relaciones son:



Por consiguiente: $X_3 = X_2 \cdot Q_3 \quad \{15\}$

$$X_{3P} = 3,3 \cdot X_{2P} \quad \{16\}$$

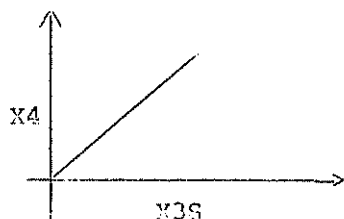
$$X_{3S} = X_3 + X_{3P} \quad \{17\}$$

La constante 3,3 utilizada en la función {16} es el valor de la concentración de energía digestible, Mcal/kg MS de la melaza. Este coeficiente se origina en la sumatoria de los valores calóricos de los azúcares

de la melaza, según promedio de los análisis químicos realizados en los ingenios de Costa Rica (23). Se observa en las ecuaciones {15}, {16} y {17} que si el consumo de pasto (X_2) es cero, la energía digestible consumida (X_{3S}) es solo aportada por la melaza (X_{2P}). Cuando el consumo de melaza es cero, toda la energía digestible proviene del pasto. A medida que aumenta el consumo de pasto y melaza, aumenta la cantidad de energía digestible (X_{3S}) consumida por el animal.

4.1.4 Consumo de energía metabolizable

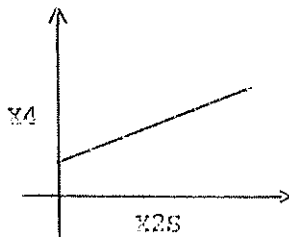
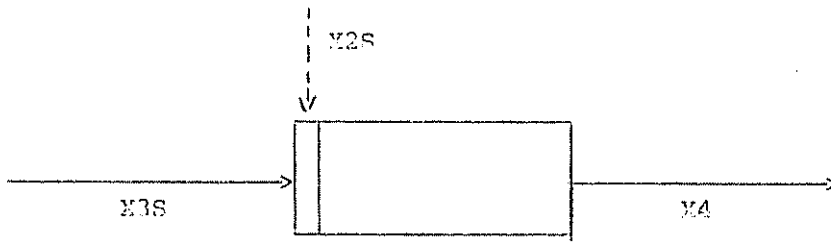
La cantidad de energía metabolizable consumida (X_4) está afectada por la cantidad de energía digestible (X_{3S}), y por el nivel de consumo de NMP (X_{2S}). La relación entre energía digestible consumida y la energía metabolizable, se presenta por el siguiente modelo matemático:



$$X_4 = 0,82 \cdot X_{3S} \quad \{19\}$$

La constante 0,82 utilizada en la ecuación {19} es la eficiencia con que la energía digestible (X_{3S}) se transforma a energía metabolizable (X_4) (3, 8).

El NMP está afectando la transformación de X_{3S} a X_4 así:

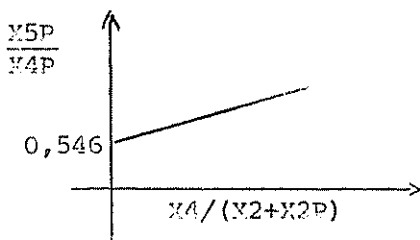


$$X4 = 0,82 \cdot X3S \cdot (1 + K6 \cdot X2S) \quad \{19\}$$

La ecuación {19} muestra que el NNP aumenta la eficiencia de transformación de la energía digestible (X3S) a energía metabolizable (X4). Si no hay NNP las ecuaciones {18} y {19} son iguales. La energía metabolizable consumida (X4) por el animal es utilizada para mantenimiento (X4P) y para crecimiento (X4S).

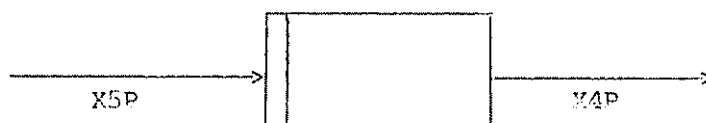
4.1.5 Energía metabolizable para mantenimiento

La energía metabolizable para mantenimiento (X4P) fue estimada a partir de la energía neta para mantenimiento (X5P) a partir de la ecuación del ARC (1).



$$\frac{X5P}{X4P} = 0,546 + 0,0675 \cdot X4 / (X2 + X2P) \quad \{20\}$$

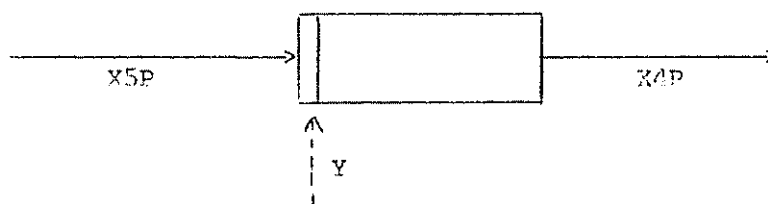
Por consiguiente, despejando X_{4P} se tiene:

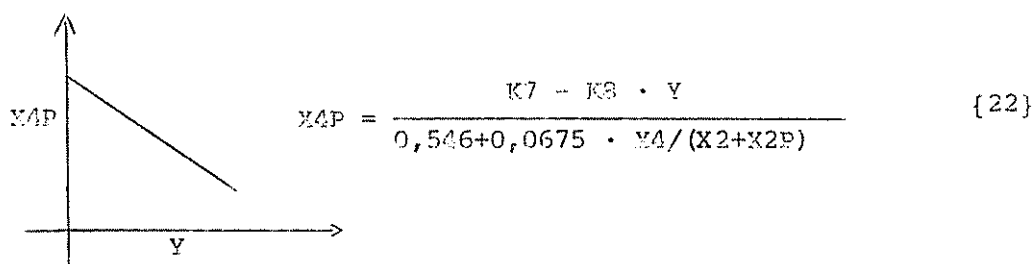


$$X_{4P} = \frac{X_{5P}}{0,546 + 0,0675 \cdot X_4 / (X_2 + X_{2P})} \quad \{21\}$$

En la ecuación {20} se observa que según el criterio del ARC, cuando la concentración de energía metabolizable del alimento, estimada por la relación $X_4 / (X_2 + X_{2P})$ tiende a cero, su eficiencia de utilización tiende a 0,546. Conforme aumenta la concentración energética del alimento, la eficiencia de utilización aumenta según el coeficiente 0,0675. La ecuación {21} ilustra cómo se obtiene la energía metabolizable para mantenimiento (X_{4P}) a partir de la energía neta para mantenimiento (X_{5P}) y la concentración de energía metabolizable del alimento.

El peso del animal está afectando la relación entre energía neta y metabolizable para mantenimiento de la siguiente manera:



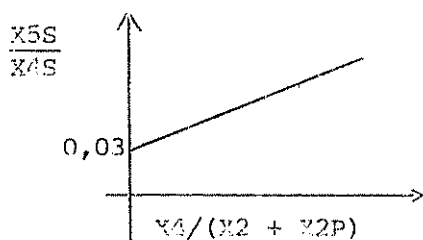


En la función {22} se observa que a medida que aumenta el peso del animal (Y), la proporción de la energía metabolizable consumida que se destina a mantenimiento por unidad de peso metabólico ($X4P$) disminuye.

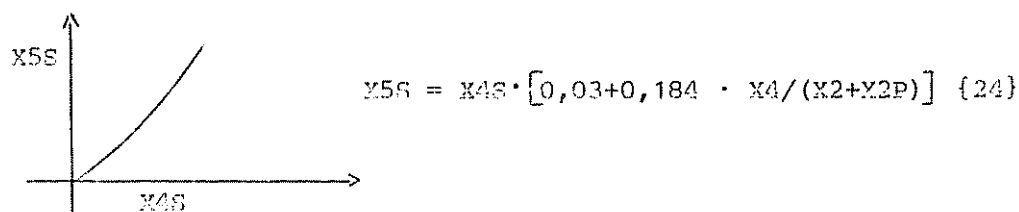
4.1.6 Energía neta para crecimiento

La transformación de energía metabolizable para crecimiento ($X4S$) a energía neta ($X5S$) se hizo a partir de la fórmula del ARC (1):

$$\frac{X5S}{X4S} = 0,03 + 0,184 \cdot X4 / (X2 + X2P) \quad \{23\}$$



Por consiguiente, despejando $X5S$ se tiene:



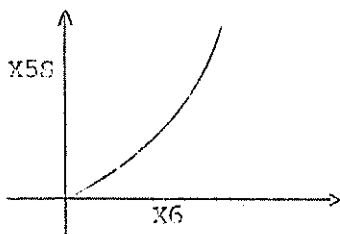
En la ecuación {23}, según el criterio del ARC, cuando la concentración de energía metabolizable del alimento tiende a cero, su eficiencia de utilización tiende a 0,03. Conforme aumenta la concentración energética del alimento, la eficiencia aumenta según el coeficiente 0,184.

En la ecuación {24} se puede notar que el consumo de energía neta para crecimiento (X5S) es función del consumo de energía metabolizable y de su concentración en el alimento.

4.1.7 Valor calórico de los incrementos de peso

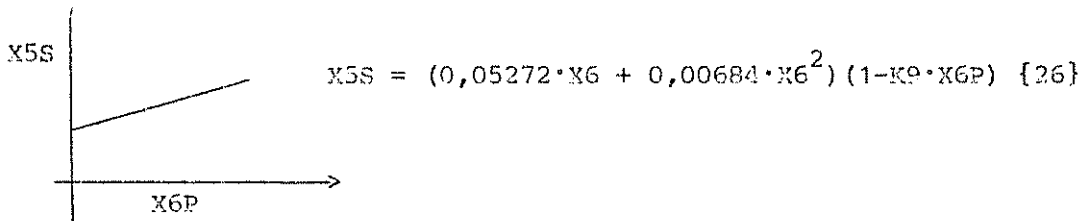
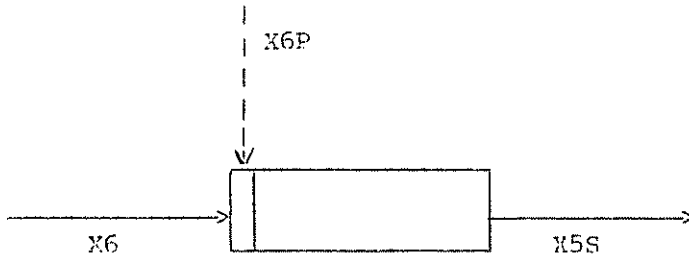
Para obtener el valor calórico de los incrementos de peso (X5S) se utilizó la fórmula del NRC (44):

$$X5S = (0,05276 \cdot X6 + 0,00684 \cdot X6^2) \quad \{25\}$$



Se observa en la ecuación {25}, que cuando el incremento de peso (X6) tiende a cero, la energía neta para incremento de peso también tiende a cero. A medida que los incrementos de peso van aumentando es mayor la energía neta requerida.

El incremento de peso anterior (X6P) afecta el valor calórico de los incrementos de peso así.



Como se puede observar en la ecuación {26}, si el incremento de peso anterior es cero, el valor calórico de los aumentos de peso es solo función del incremento de peso. A medida que el incremento de peso anterior aumenta los valores calóricos también aumentan.

Despejando el incremento de peso ($X6$) en la ecuación {26} se tiene:

$$X6 = \frac{\sqrt{B^2 - 4AX5S/1+K9X6P} - B}{2A} \quad \{27\}$$

donde: $A = 0,00684$

$B = 0,05272$

4.2 Evolución del modelo

Para llegar al modelo presentado en la Fig. 1 fue necesario estudiar varias alternativas relacionadas con modelos matemáticos para

describir cómo afecta el consumo de melaza y NNP al consumo de forraje, la digestibilidad del forraje y las transformaciones energéticas en el organismo animal. Luego de este proceso, se escogió los modelos que presentaron la menor variabilidad para los coeficientes numéricos. Cuando el R^2 fue aceptable pero los coeficientes numéricos fueron considerados no significativos, se rechazó el modelo propuesto.

La parte básica del modelo fue adoptada de los sistemas de alimentación del National Research Council (NRC) (44) y el Agricultural Research Council (ARC) (1). La transformación de energía metabolizable a energía neta para incremento de peso fue hecha según el enfoque del ARC. El enfoque del NRC fue descartado principalmente por considerarse que subestima el valor energético de los forrajes de calidad baja. La transformación de energía neta a incremento de peso se hizo según el criterio del NRC, que considera que a medida que los incrementos de peso aumentan, el valor calórico de éstos también aumenta, en forma de retornos decrecientes. El enfoque del ARC fue descartado por tener un límite después del cual por más energía neta que haya no se puede lograr incrementos de peso mayores. El estudio del consumo de forraje en función de la disponibilidad, metabolismo energético para mantenimiento como función del peso corporal y el valor calórico de los incrementos de peso en función al crecimiento previo, ya fue discutido en un trabajo anterior (57). Por lo tanto, no se incluyeron en el presente capítulo.

4.2.1 Consumo de pasto

a) Efecto del consumo de melaza

Es conocido un efecto depresor del consumo de forraje debido al nivel de consumo de melaza (7, 20). Así, para describir en lenguaje

matemático el efecto del consumo de melaza (X2P) sobre el consumo de forraje (X2), se probaron ocho modelos diferentes.

El modelo que dio el mejor resultado fue:

$$X2 = \frac{X1 \cdot (1 - 41,11 \pm 5,62 \cdot X2P)}{1 + 5,72 \pm 0,88 \cdot X1} \quad \{28\}$$

La ecuación {28} fue incluida en el modelo general y muestra un efecto lineal de la melaza sobre el consumo de forraje. Se probaron modelos no lineales y se obtuvieron valores de R^2 de hasta 0,91 pero los coeficientes obtenidos no fueron significativos. Por consiguiente, ésta es una área que amerita mayor estudio.

b) Efecto del consumo del NNP

En forrajes de baja calidad se ha encontrado un efecto benéfico de la urea sobre el consumo de forraje (21, 45, 64). Por consiguiente, se probaron ocho diferentes modelos matemáticos para cuantificar el efecto del consumo de NNP (X2S) sobre el consumo de forraje (X2). El modelo que dio el mejor resultado se muestra a continuación:

$$X2 = \frac{X1 \cdot (1 - 807,14 \pm 140,03 \cdot X2S + 220065 \pm 60531 \cdot X2S^2)}{1 + 5,72 \pm 0,88 \cdot X1} \quad \{29\}$$

En la ecuación {29} se nota que hay un efecto depresor no lineal del NNP sobre el consumo de forraje. Tratándose de una aproximación cuadrática, el punto desde el cual el consumo de pasto tiende a aumentar por efecto del componente cuadrático, solo se alcanza con niveles de urea tóxicos

para los animales.

c) Efecto de la interacción NNP y melaza

El acoplamiento de las funciones {28} y {29} en la función {30} ilustra el efecto combinado del NNP y la melaza sobre el consumo de forraje.

$$X_2 = \frac{Y_1 \cdot (1 - 41,11 \pm 5,52 \cdot X_{2P}) (1 - 807,14 \pm 140,08 \cdot X_{2S} + 220065 \pm 60531 \cdot X_{2S}^2)}{1 + 5,72 \pm 0,83 \cdot X_1} \quad \{30\}$$

En la ecuación {30} se observa que los efectos lineales simples de la melaza (X_{2P}) y el NNP (X_{2S}) sobre el consumo (X_2) son negativos. Sin embargo, la interacción NNP-melaza es positiva, indicando que la mezcla melaza y NNP mejora el consumo de forraje. Lo anterior es atribuible a un aumento en la eficiencia de utilización del NNP debido a la presencia de carbohidratos rápidamente fermentables provenientes de la melaza (53).

4.2.2 Digestibilidad

a) Efecto de la melaza

Algunos investigadores han encontrado que la melaza disminuye la digestibilidad del forraje (9, 6, 11, 23). Sin embargo, otros informan que no afecta la digestibilidad (12, 17, 24). Se probaron cuatro modelos diferentes para describir el efecto del consumo de melaza (X_{2P}) sobre la digestibilidad del forraje (Q_2), la cual fue estimada *in vitro* (Q_1). El modelo que dio el mejor resultado fue:

$$Q_2 = Q_1 \cdot (1 + 21,9 \pm 5,6 \cdot X_{2P}) \quad \{31\}$$

Se nota en la ecuación {31} que la melaza esta corrigiendo positivamente

la digestibilidad. Este resultado está en contradicción con la realidad. Sin embargo, hay que considerar que no se trata de un valor de digestibilidad real sino de muestras sometidas a digestibilidad *in vitro*. La digestibilidad *in vitro* tiende a subestimar la digestibilidad real. Además, tratándose de muestras obtenidas por muestreo agronómico, no se incluye el factor de selección de forraje por parte del animal.

b) Efecto del NNP .

En pastos de bajo contenido proteico el adicionar NNP produce un aumento de la digestibilidad del forraje (4, 18, 20). Por ende, se teorizó la existencia de un efecto benéfico del NNP sobre la digestibilidad. Para describir este efecto se probaron 12 modelos matemáticos diferentes. Sin embargo, al incluir este efecto en el modelo general, los coeficientes obtenidos no fueron significativos y no hubo mejora del coeficiente de determinación (R^2). Por tal motivo, el efecto del NNP sobre la digestibilidad no se incluyó en el modelo general. Es importante aclarar nuevamente que se trata de digestibilidad *in vitro* realizada con muestras de toda la planta, no del material consumido por el animal.

4.2.3 Energía neta

a) Efecto de la melaza

Tanto la cantidad de ácidos grasos volátiles producidos en el rumen como la relación entre ellos se ve afectada en animales alimentados con melaza (36, 37, 40, 56). Esto repercute a nivel de metabolismo intermedio. Por tal motivo se teorizó que la melaza alteraba las transformaciones energéticas para incremento de peso. Sin embargo, la inclusión

de este efecto no mejoró el R^2 y los coeficientes obtenidos no fueron significativos. Por estas razones este efecto no fue incluido en el modelo general.

b) Efecto del NNP

El aumento en la síntesis microbiana al adicionar NNP, aumenta la cantidad de proteína que puede utilizar el animal. Al aumentar los niveles de proteína se mejora la utilización de la energía (52, 63). En base a esto se teorizó un efecto benéfico del NNP sobre las transformaciones energéticas. Se probaron 20 modelos diferentes para afectar las transformaciones energéticas desde la energía digestible hasta la energía neta para incrementos de peso. Cuando se afectó la transformación de energía digestible a energía metabolizable los coeficientes numéricos presentaron la menor variabilidad, siendo el mejor modelo el siguiente:

$$X5S = [0,82 \cdot X3 \cdot (1+726,93+314,57 \cdot X2S) - X4P] [0,03+184 \cdot X4/(X2+X2P)] \quad \{32\}$$

Nótese en la ecuación {32} que el consumo de NNP ($X2S$) está aumentando el rendimiento de la energía metabolizable consumida, ecuación {19}, y por ende, la energía neta para incremento de peso ($X5S$).

4.3 Predicción de la tasa de crecimiento

Según la Fig. 1 las entradas al sistema son:

$X1$ = disponibilidad de forraje, kg MS/P^{0,75}

$X2P$ = consumo de melaza, kg MS/P^{0,75}

$X2S$ = consumo de NNP, kg/P^{0,75}

Y = peso del animal, kg

$X6P$ = incremento de peso previo, kg/día

y la salida es la tasa de crecimiento diario (X6). Por consiguiente, para la predicción del incremento de peso, se acopló las funciones discutidas en el capítulo de descripción del modelo y que se describen a continuación:

$$X_6 = \frac{\sqrt{0,0527^2 - 4 \cdot (0,00684) \cdot (X_5S) / (1 + 2,08 \cdot X_6P)} - 0,0527}{2 \cdot (0,00684)} \quad [33]$$

donde:

$$X_5S = \left[X_4 \cdot (1 + 726,93 \cdot X_2S) - X_4P \right] \left[0,03 + 0,184 \cdot X_4 / (X_2 + X_2P) \right]$$

$$X_4P = (0,262 - 0,000723 \cdot Y) / \left[0,546 + 0,0675 \cdot X_4 / (X_2 + X_2P) \right]$$

$$X_4 = 0,82 \cdot (X_3 + X_3P)$$

$$X_3 = X_2 \cdot 0,3$$

$$0,3 = 4,4 \cdot 0,1 \cdot (1 + 21,9 \cdot X_2P)$$

$$X_2 = \frac{X_1 \cdot (1 - 41,11 \cdot X_2P) (1 - 807,14 \cdot X_2S + 220065 \cdot X_2S^2)}{1 + 5,72 \cdot X_1}$$

Para ilustrar el funcionamiento del sistema se ha fijado el peso de los animales en 300 kg y el incremento de peso anterior en 0,5 kg/día.

En la Fig. 2 se observa el incremento de peso obtenido como función del consumo de melaza, a diferentes valores de disponibilidad de forraje, con una digestibilidad *in vitro* del forraje de 0,35 y consumo de NMP cero. Nótese que a consumos bajos de melaza el incremento de peso tiende a subir hasta llegar a un máximo. Esta tendencia se hace menos definida conforme aumenta la disponibilidad de pasto. Así, con disponibilidades de 0,1 kg MS/P^{0,75} la tasa de crecimiento aumenta hasta casi 0,02 kg MS/P^{0,75} de consumo de melaza. Con una disponibilidad

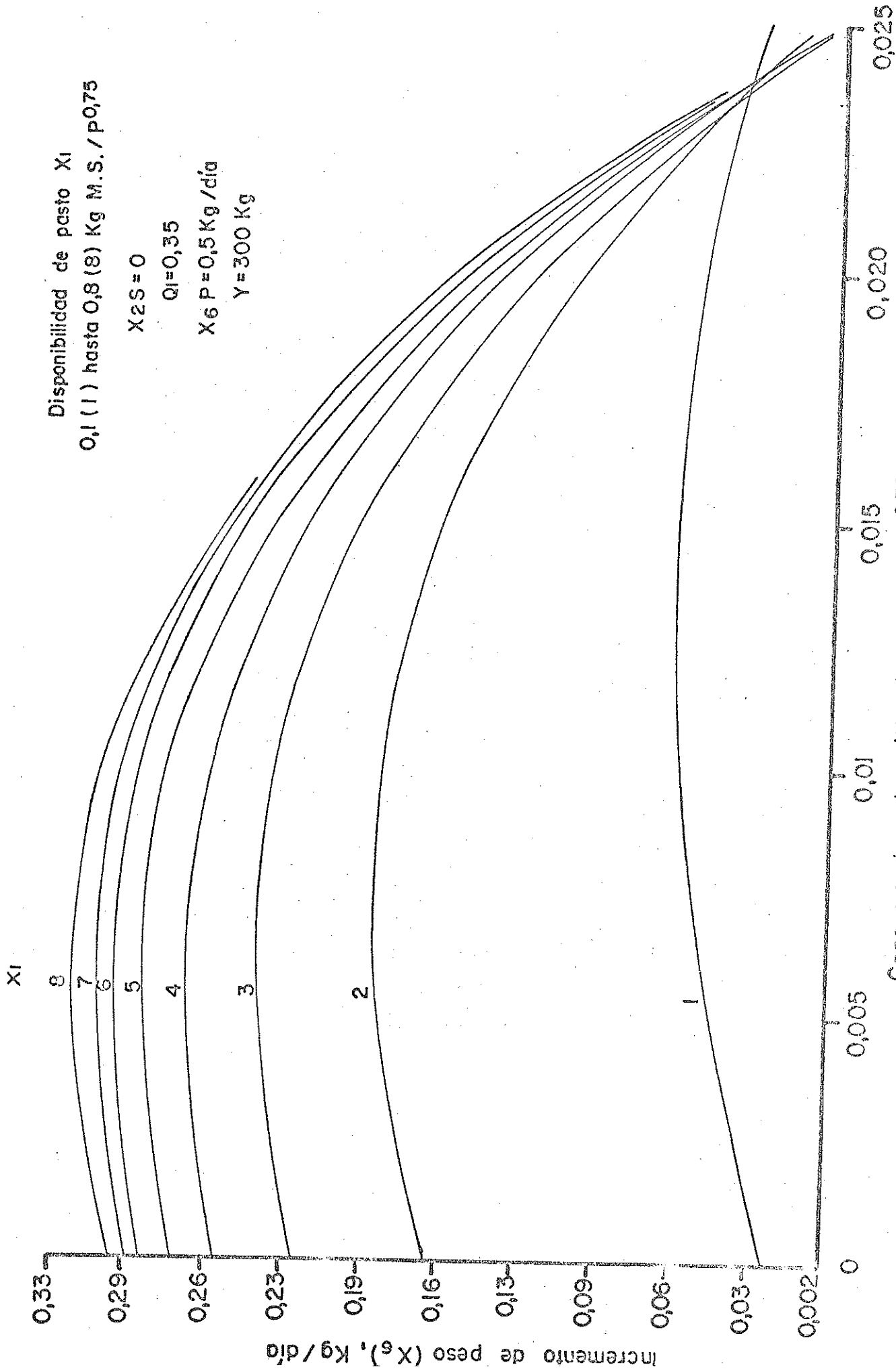


Fig.2 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con melaza

de 1,5 kg, el máximo crecimiento ocurre con consumos de 0,005 kg de melaza. La respuesta positiva se debe al efecto aditivo de la energía del pasto y la energía de la melaza. La disminución del crecimiento se debe al efecto sustitutivo del pasto por la melaza. Este efecto sustitutivo según la ecuación {28} es mayor que uno por uno y puede observarse claramente en la Fig. 3. Nótese que el efecto sustitutivo se hace progresivamente más marcado conforme aumenta la disponibilidad de pasto. El efecto sustitutivo mayor a uno por uno podría ser debido a que la melaza es un alimento líquido que además de sustituir en volumen un alimento por otro, está disminuyendo la motilidad ruminal y por ende el consumo. Esta sustitución mayor a la relación uno por uno también fue encontrada por Ruíz (59). Sin embargo, estos resultados no concuerdan con determinaciones directas realizadas por Beaudouin (7), donde por cada kg de melaza consumida el consumo de forraje se disminuía en 0,41 kg MS. Tampoco concuerdan con resultados en corral en que el consumo voluntario de paja de arroz disminuyó en una relación menor a uno por uno al administrarse melaza (25). Se observa también en la Fig. 2 que cuando los consumos de melaza son bajos, la disponibilidad de forraje tiene una mayor influencia sobre los incrementos de peso alcanzados. Cuando el consumo de melaza aumenta, el efecto sustitutivo es tan marcado que la disponibilidad de forraje pierde importancia. Nótese que con un forraje de mediocre calidad, los incrementos de peso que se logran en la mejor combinación de consumo de pasto y melaza son aproximadamente 0,33 kg/día. Con forrajes de 0,55 de digestibilidad *in vitro* (Fig. 4) los incrementos de peso llegan hasta 0,85 kg/día. Sin embargo, no existe ningún efecto beneficioso de suplementar animales con melaza cuando hay

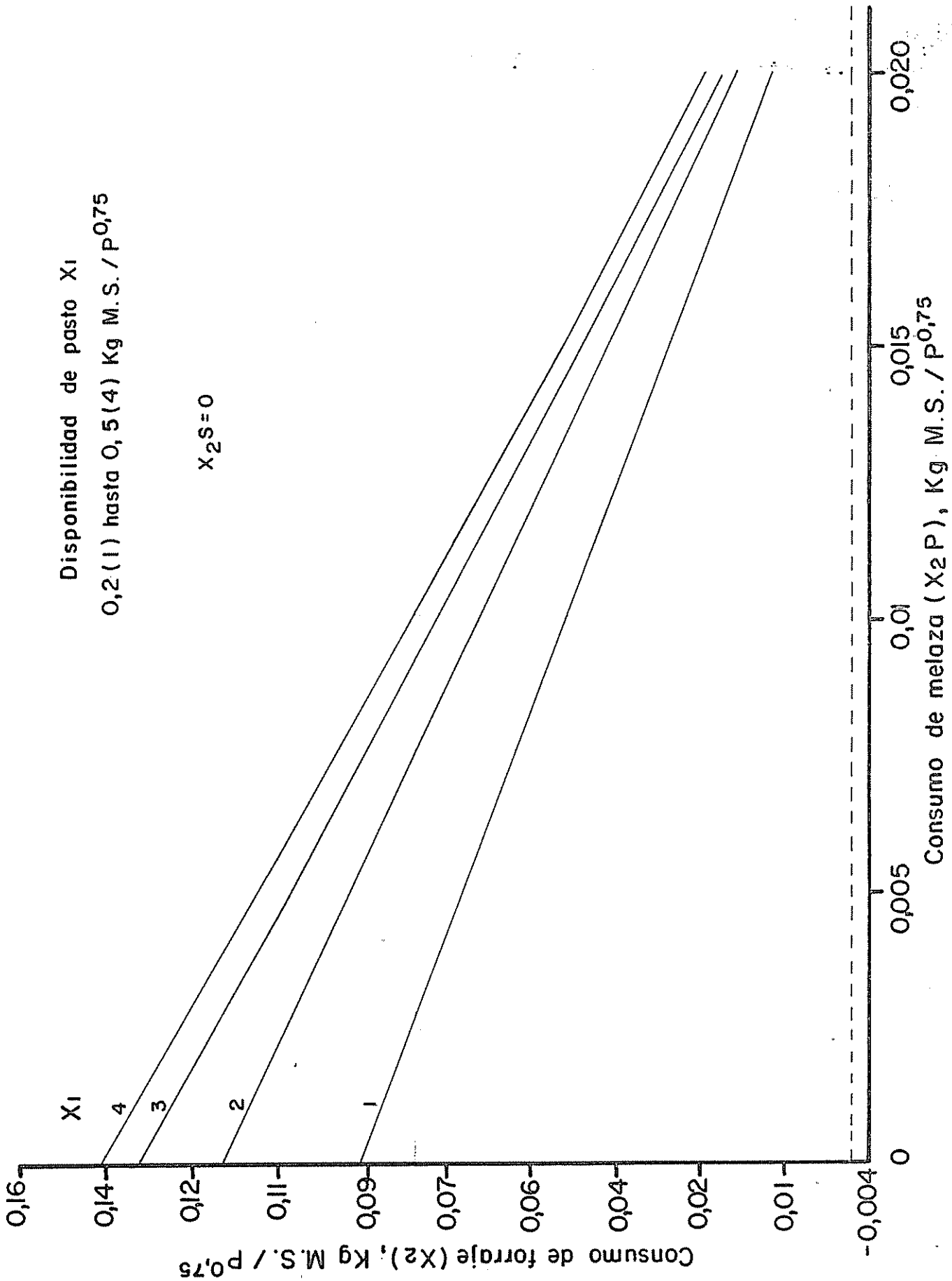


Fig.3 Consumo de forraje en función de la disponibilidad de pasto y consumo

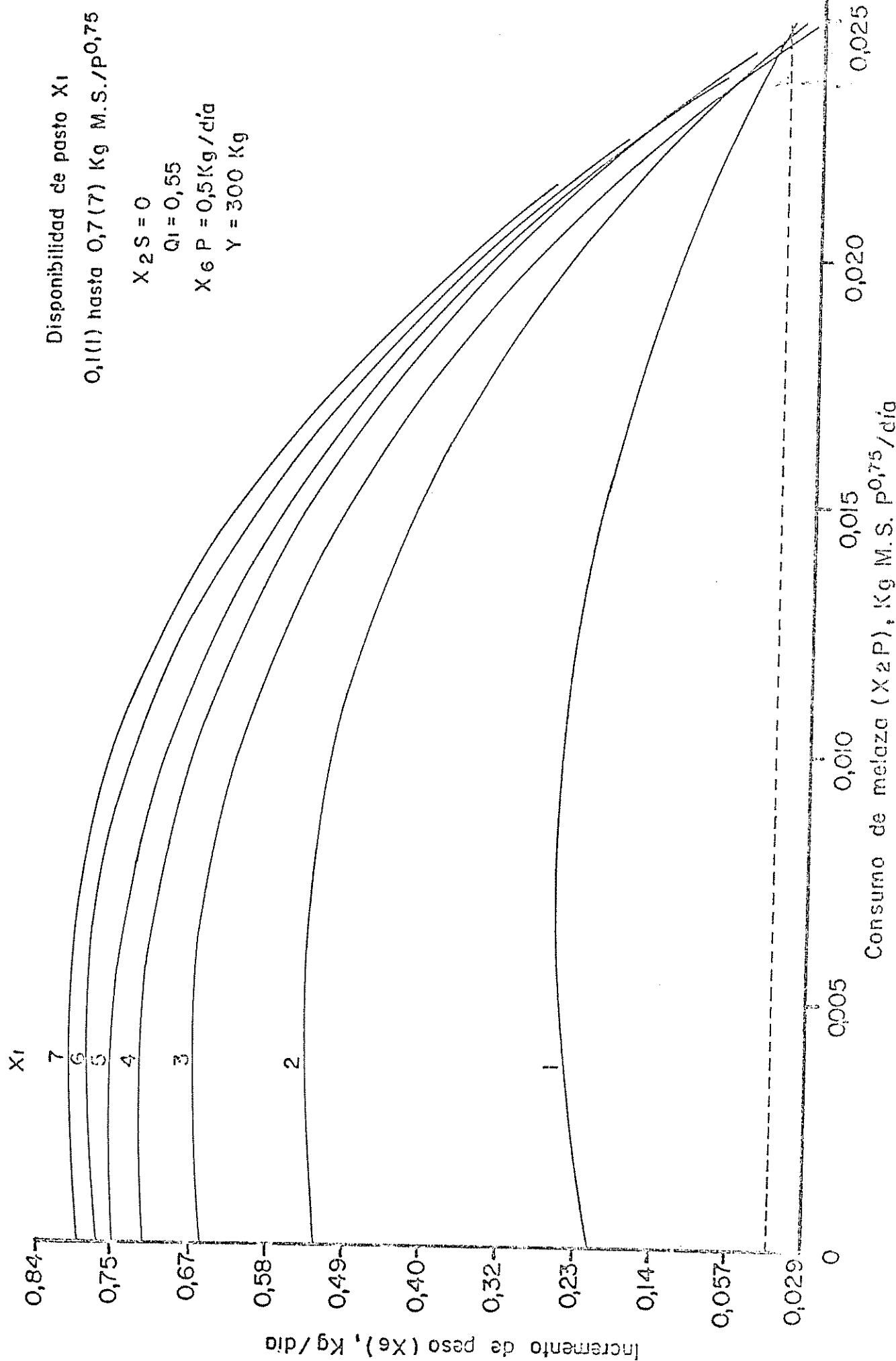


Fig. 4 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con melaza

suficiente pasto y la calidad es buena.

En la Fig. 5 se muestra el incremento de peso obtenido como función del consumo de NNP a diferentes disponibilidades de pasto, con una digestibilidad *in vitro* de 0,35, siendo el consumo de melaza cero. Los incrementos de peso obtenidos con solo pasto de mediocre calidad, cuando la disponibilidad no es limitante, pasan poco los 0,300 kg/día. Nótese que a medida que aumenta el consumo de NNP, hasta un máximo de $0,0015 \text{ kg/P}^{0,75}$, muy cerca del cual ocurre la toxicidad por NNP, el crecimiento disminuye. La disminución del crecimiento es debida principalmente a una disminución en el consumo de forraje a medida que aumenta el consumo de NNP, según se puede apreciar en la ecuación {29} y en la Fig. 6. El mismo patrón se observa con forrajes de buena calidad. La disminución en el consumo de forraje puede ser debida a trastornos del metabolismo ruminal al suplementar NNP sin ninguna fuente de carbohidratos rápidamente fermentables. Cabe también la posibilidad que sea debido al modelo matemático utilizado; posiblemente el efecto del NNP sobre el consumo de forraje debería hacerse proporcional al nivel de nitrógeno del pasto.

La Fig. 7 muestra el incremento de peso obtenido como función del consumo de melaza cuando el consumo de NNP es $0,0015 \text{ kg/P}^{0,75}$ y la digestibilidad *in vitro* es 0,35. A diferencia de los casos anteriores, conforme aumenta el consumo de melaza, los incrementos de peso van aumentando hasta 0,37 kg/día. Según la ecuación {30} esta respuesta positiva se debe en parte al aumento de consumo de forraje causado por la interacción NNP-melaza. Nótese en la Fig. 7 que a un bajo consumo de melaza la disponibilidad de forraje va a influenciar más los incrementos

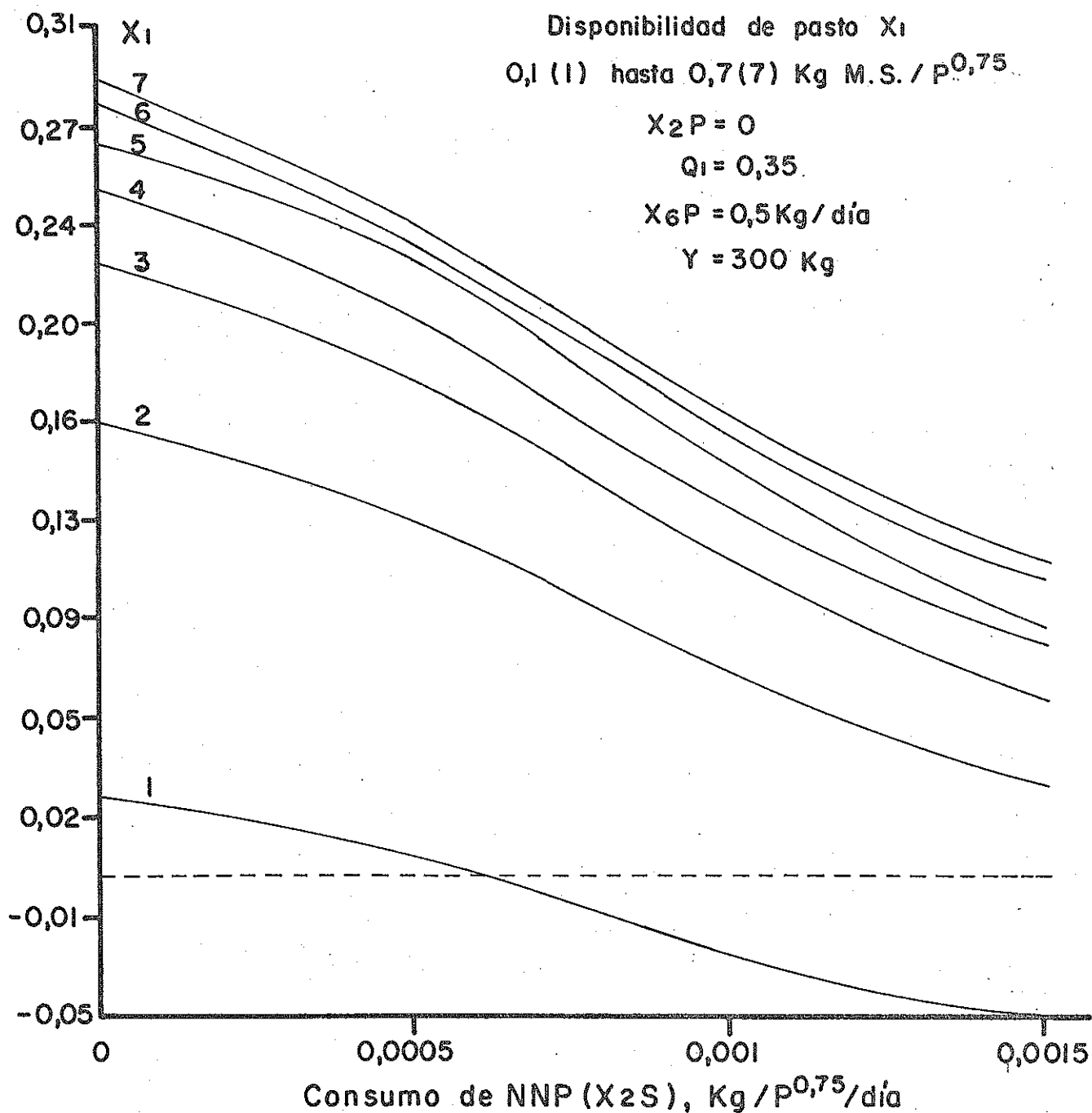


Fig. 5 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con NNP

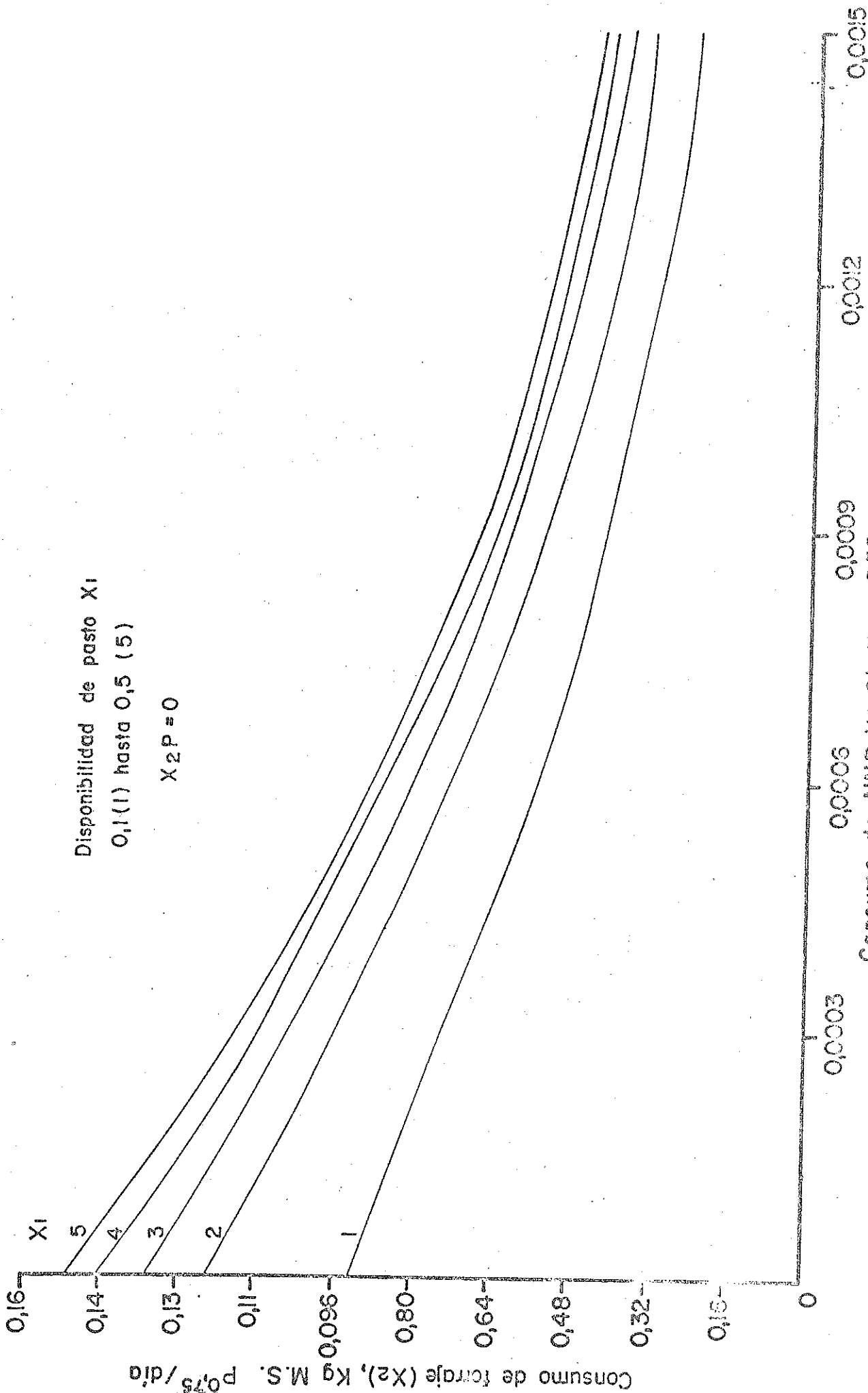


Fig. 6 Consumo de forraje en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con NNF

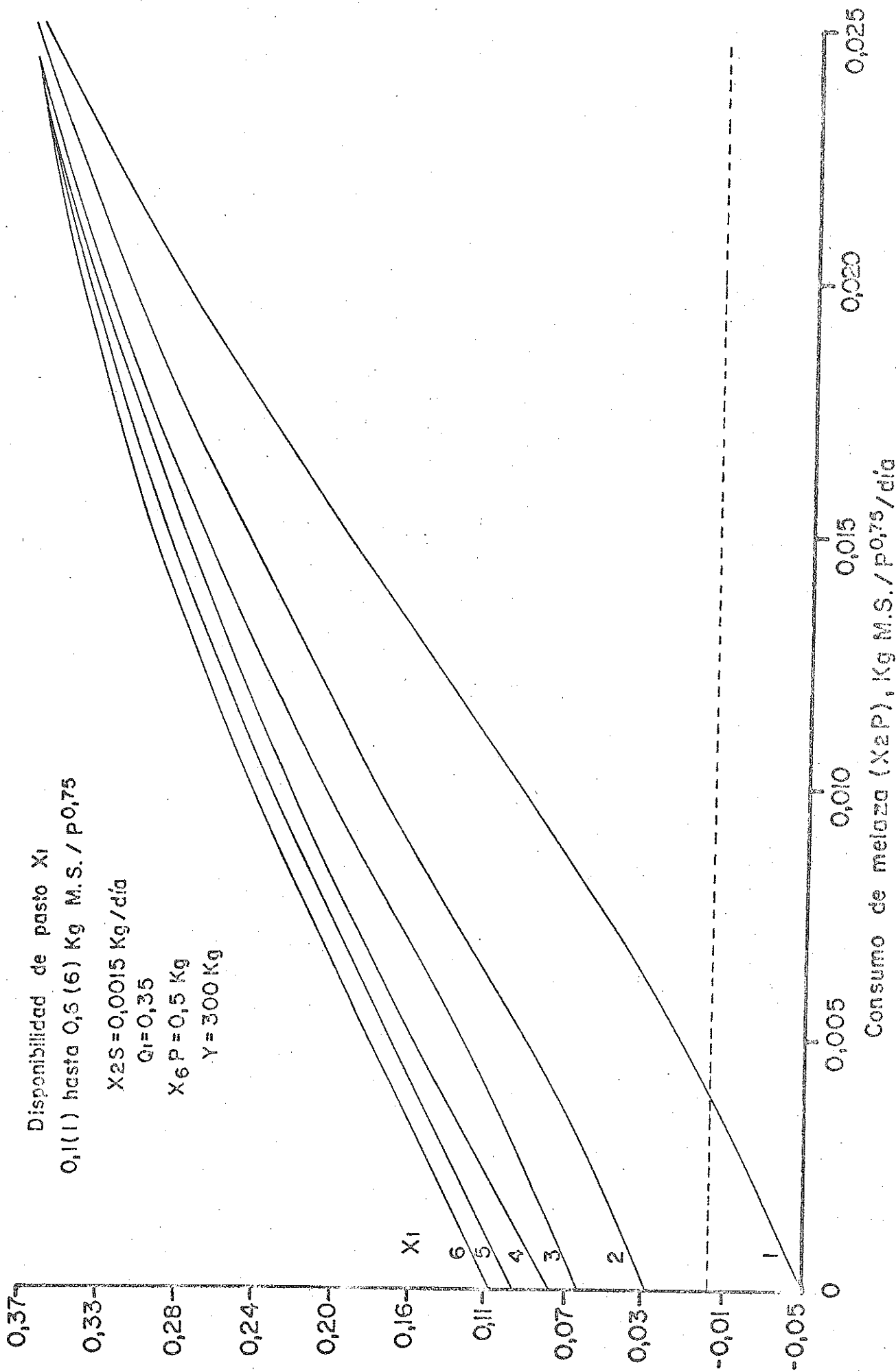


Fig. 7 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto, suplementación con melaza y NNP

de peso obtenidos. A medida que aumenta el consumo de melaza la disponibilidad de forraje pierde importancia debido a un mayor consumo de energía digerible proveniente de la melaza, lo cual puede observarse en la ecuación {17}. Además, se observa en la Fig. 7 que el valor de 0,37 kg/día es un crecimiento algo mayor al obtenido con solo pasto. Lo mismo se puede observar con consumos de NNP variables y niveles de melaza fijos (Fig. 8). Los incrementos de peso aumentan hasta 0,37 kg/día cuando no hay limitaciones de disponibilidad de pasto.

La Fig. 9 muestra una situación similar a la figura anterior, pero la digestibilidad del forraje es 0,55. Nótese que el crecimiento en función al consumo de melaza-NNP a altas disponibilidades de forraje alcanza un máximo con cantidades de melaza de aproximadamente 0,01 kg MS/P^{0,75}/día. A medida que disminuye la disponibilidad de forraje es necesario que los animales consuman mayor cantidad de melaza para alcanzar el valor máximo de incremento de peso. Nótese que con un buen pasto y suplementación con melaza y NNP no se alcanzaron incrementos de peso mayores a 0,55 kg diarios, valor mucho menor a 0,85 kg que se alcanza solo con pasto. Esto se debe a que el efecto sustitutivo de la mezcla miel y NNP resulta ser más intenso que el efecto aditivo. En pastos de mediocre calidad el efecto aditivo es más importante que el efecto sustitutivo. Consecuentemente, la suplementación de melaza y NNP en pastos de buena calidad es contraproducente. Lo mismo se observa fijando el consumo de melaza y variando el consumo de urea (Fig. 10).

Resumiendo, la utilización de mezclas de melaza y NNP para animales en crecimiento, se justifica como un complemento al pasto cuando éste escasea, o como un suplemento a forrajes de mala calidad, pero

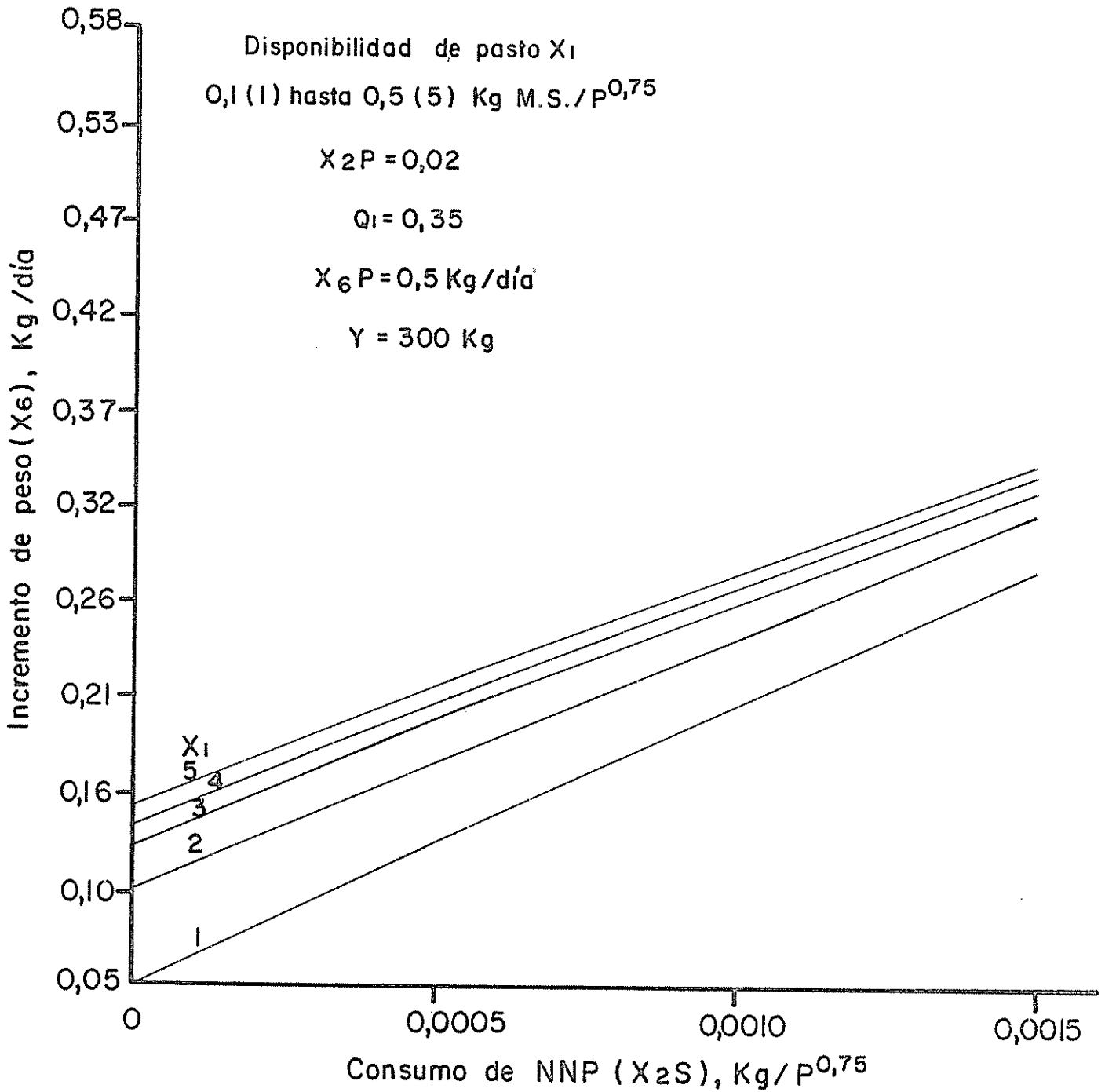


Fig. 8 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con NNP y melaza

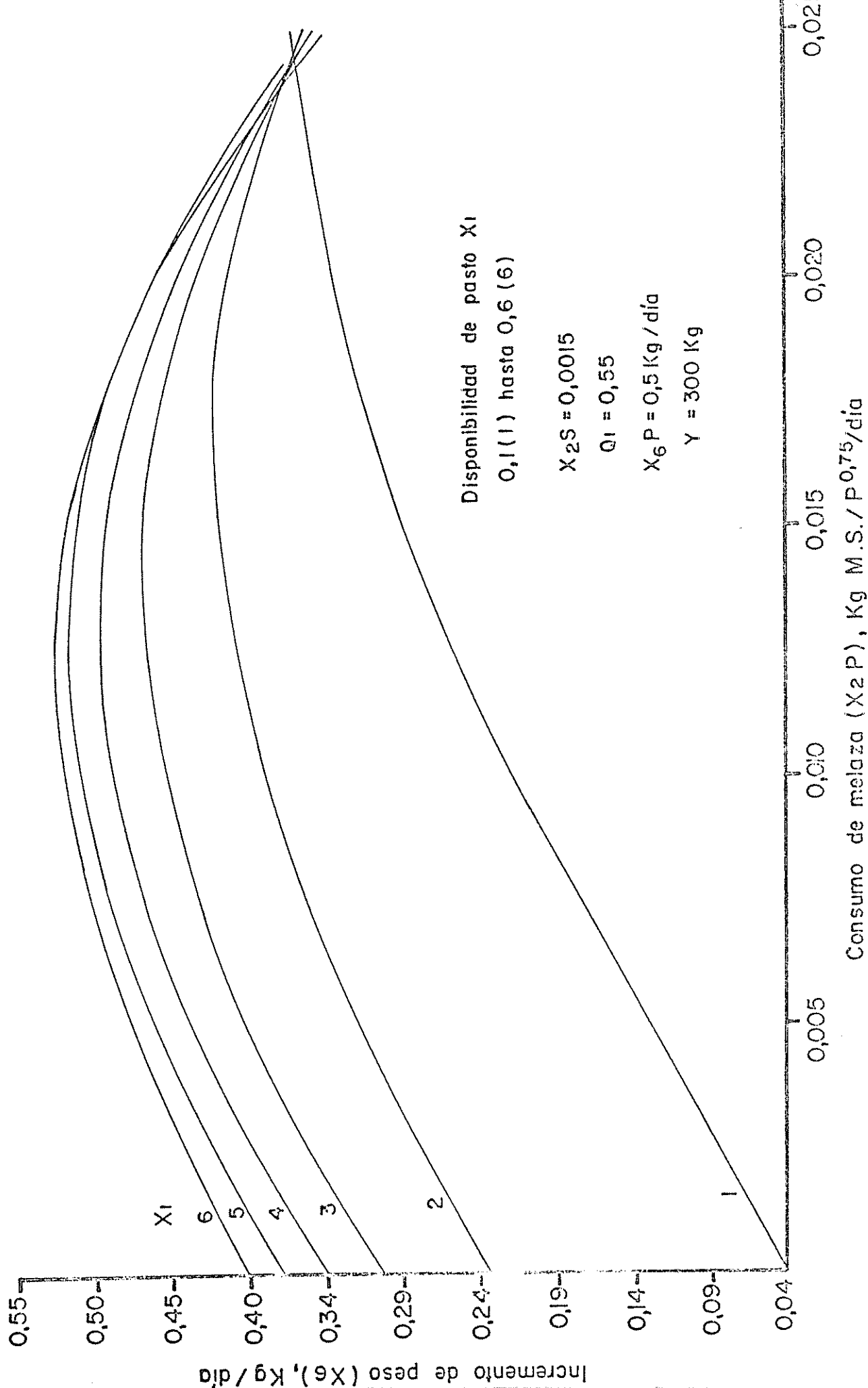


Fig.9 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y la suplementación con melaza y NNP

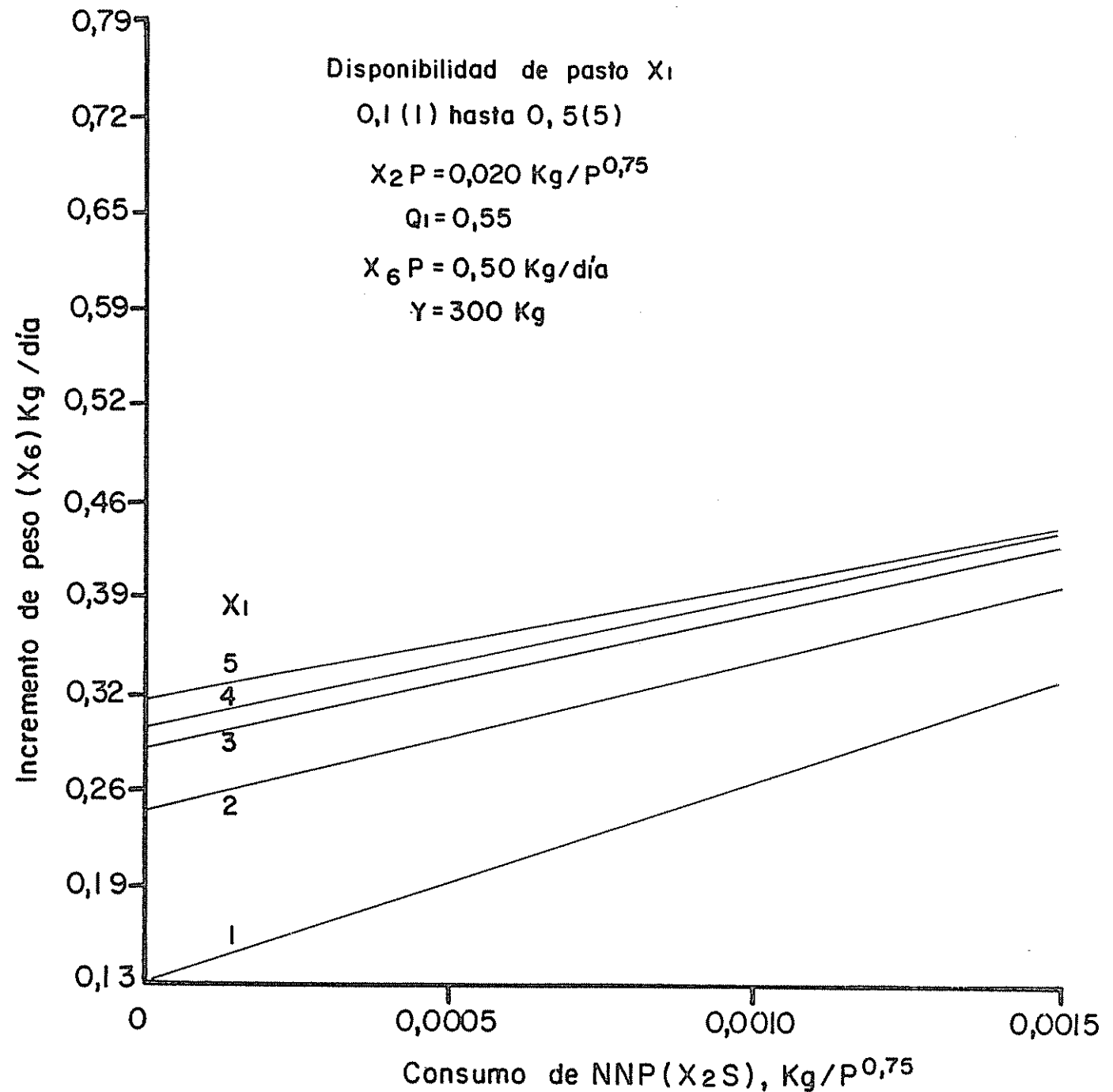


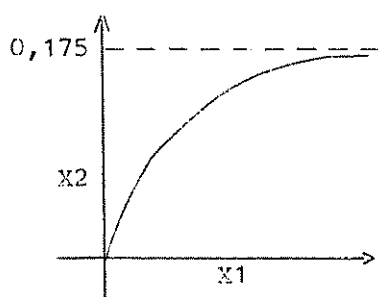
Fig.10 Crecimiento del ganado en función de la disponibilidad de pasto y de la suplementación con NNP y melaza

nunca como un suplemento a pastos de buena calidad.

4.4 Evaluación del modelo

4.4.1 Consumo de forraje

El consumo de forraje (X_2) como función de disponibilidad de pasto (X_1) se describe con la siguiente función:



$$X_2 = \frac{X_1}{1+5,72+0,88 \cdot X_1} \quad \{34\}$$

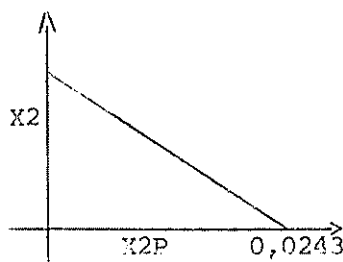
Se observa en la ecuación {34} que a medida que aumenta la disponibilidad de forraje aumenta el consumo de pasto hasta un valor de 0,175 kg MS/P^{0,75} que debido a razones fisiológicas es el máximo consumo que el animal puede hacer. El valor 0,175 equivale a un consumo de 4,2 por ciento para animales de 300 kg. Este valor es bastante alto y no concuerda con otros trabajos realizados con indicadores donde el consumo expresado en porcentaje del peso vivo osciló entre 2,6 y 3,1 por ciento (2).

Esta sobreestimación del consumo puede deberse a una compensación, debida a que los valores de digestibilidad *in vitro* están subestimados.

El coeficiente 5,72 de la ecuación {34} tiene una desviación típica de 0,92 equivalente a una variabilidad del 15 por ciento.

El efecto del consumo de melaza (X_{2P}) sobre el consumo de

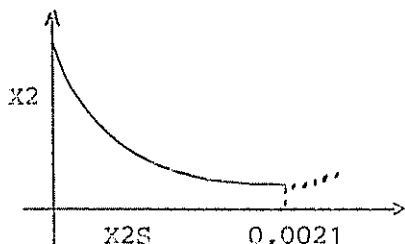
forraje (X2) se muestra en la siguiente ecuación:



$$X2 = \frac{X1 \cdot (1 - 41,11 \pm 5,55 \cdot X2P)}{1 + 5,72 \pm 0,38 \cdot X1} \quad [35]$$

Según la ecuación {35}, cuando aumenta el consumo de melaza el consumo de forraje disminuye. Cuando se consumen 0,0243 kg MS de melaza/P^{0,75} el consumo de forraje se hace cero. Debido a la función lineal utilizada, mayores consumos de melaza producirán consumos de forraje negativos. El valor 0,0243 equivale a un consumo de 1,75 kg de MS de melaza para un animal de 300 kg. Este valor implica un fuerte efecto sustitutivo del pasto por la melaza con una relación mayor a uno por uno. Beaudouin (7), en determinaciones de consumo por el método de nitrógeno indigerible y el método de los cromógenos encontró que para bloquear el consumo de pasto, se requerían consumos de melaza de 0,27 y 0,20 kg MS/P^{0,75} respectivamente. Según Gómez (25), es necesario que los animales consuman hasta 0,16 kg MS/P^{0,75} de melaza para que haya un bloqueo total de consumo de paja de arroz. Estos valores son bastante mayores que el valor 0,0243 kg MS/P^{0,75} encontrado en el presente trabajo. Hay que aclarar, sin embargo, que en los dos casos se administraba la melaza en corral. Por ende, es necesario probar modelos alternos que nos describan mejor esta situación. Como puede observarse en la ecuación {35} el coeficiente 41,11 presenta una desviación típica de 5,55 lo que representa una variabilidad del 13,5 por ciento.

El efecto simple del consumo de NMP (X2S) sobre el consumo de forraje (X2) es:



descrito por la siguiente función:

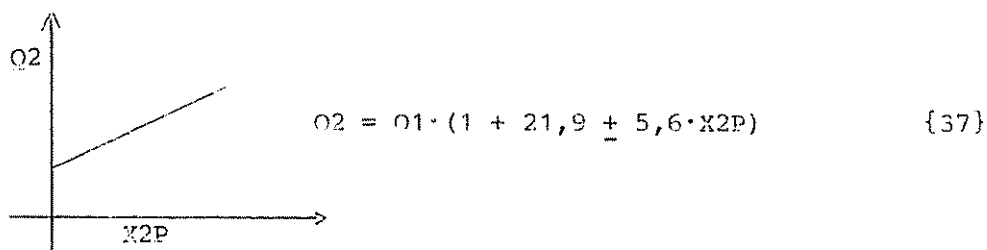
$$X2 = \frac{X1 \cdot (1 - 41,11 + 5,55 \cdot X2P) (1 - 807,14 + 140,87 \cdot X2S + 220065 + 60531 \cdot X2S^2)}{1 + 5,72 + 0,88 \cdot X1} \quad \{36\}$$

Como se indicó anteriormente, el polinomio de aproximación describe bien el efecto del NMP sobre el consumo de forraje. Nótese en la ecuación {36} que el coeficiente 807,14 tiene una desviación típica de 140,87 la cual expresada en variabilidad es 17,4 por ciento. El coeficiente cuadrático 220065 tiene una desviación típica de 60551 representando una variabilidad del 27,5 por ciento. La ecuación {36} describe bien el efecto combinado de la mezcla melaza y NMP. Si bien los efectos lineales simples disminuyen el consumo, al suministrar melaza con urea hay un aumento en el consumo de forraje, lo que está de acuerdo con otros trabajos realizados (51, 52).

4.4.2 Digestibilidad del pasto

El efecto del consumo de melaza (X2P) sobre la digestibilidad del forraje (Q2), estimada por el método *in vitro* (Q1) es descrita por

la siguiente función:



Se observa en la ecuación {37} que al aumentar el consumo de melaza, la digestibilidad *in vitro* aumenta. Este resultado contrasta con los resultados de pruebas *in vivo* pues se ha demostrado que la melaza disminuye la acción celulolítica microbiana (54, 55). Sin embargo, la información utilizada fue la digestibilidad *in vitro* de muestras obtenidas por métodos agronómicos, que no incluye la selección del forraje por el animal. Además, la digestibilidad *in vitro* tiende a subestimar la digestibilidad real. Debido a esto la melaza estaría haciendo una corrección a la metodología para el parámetro *in vitro*. Por consiguiente, en futuros trabajos será necesario incluir en el método de laboratorio muestras de digestibilidad *in vivo* conocidas y corregir los valores *in vitro*. El coeficiente 21,9 tuvo una desviación típica de 5,6 lo cual es equivalente a un 25,6 por ciento de variabilidad.

La energía digestible (Q3) fue estimada por la siguiente función:

$$Q3 = 4,4 \cdot Q2 \quad \{38\}$$

En la ecuación {38} se usó el valor 4,4 como la concentración de energía bruta del pasto. Este valor es bastante aceptable ya que en la literatura se encuentran valores que oscilan entre 4,32 a 4,56 Mcal de energía bruta/kg MS de forraje (3, 5).

4.4.3 Consumo de energía digestible

El consumo de energía digestible (X3S) es la sumatoria del consumo de energía digestible del pasto (X3) y la energía digestible de la melaza (X3P). Por consiguiente,

$$X3 = X2 \cdot 0,3 \quad \{39\}$$

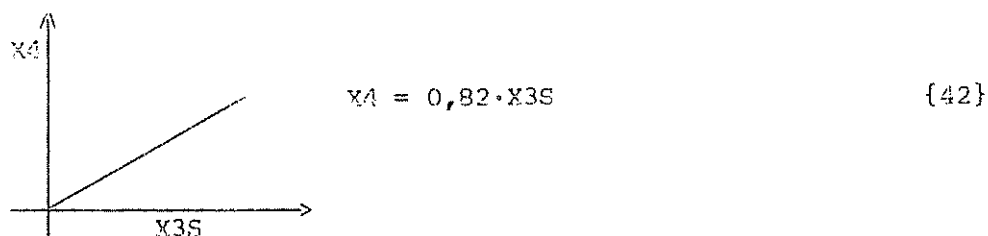
$$X3P = 3,3 \cdot X2P \quad \{40\}$$

$$X3S = X3 + X3P \quad \{41\}$$

En la ecuación {40} se utilizó el valor 3,3 como la concentración de energía digestible de la melaza. El valor 3,3 se obtuvo a partir de la composición química de la melaza, asignándole valores calóricos a los diferentes azúcares (28). Este valor es un promedio para los ingenios de azúcar de Costa Rica. Existe considerable variabilidad entre ingenios.

4.4.4 Consumo de energía metabolizable

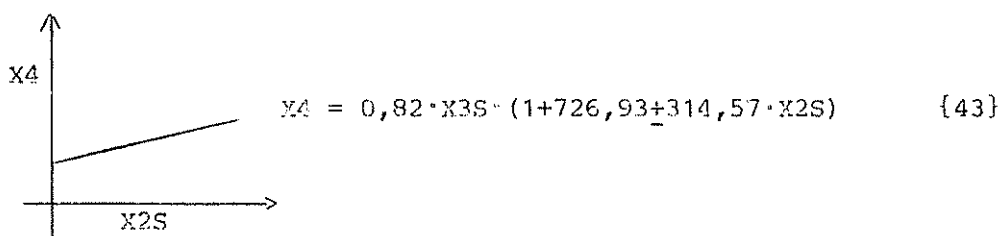
El consumo de energía metabolizable (X4) como función de la energía digestible consumida (X3S) se estimó como sigue:



En la ecuación {42} se tomó 0,82 como la eficiencia de transformación de la energía digestible a metabolizable. Debido a que las pérdidas de energía como orina y metano raramente exceden del 9 al 10 por ciento

respectivamente de la energía bruta del pasto, la energía metabolizable de un forraje a partir de la energía digestible puede ser estimada con poco error por el factor 0,82 (3, 8). Cuando se trató de modificar este factor los coeficientes del resto del modelo aumentaron considerablemente su variabilidad.

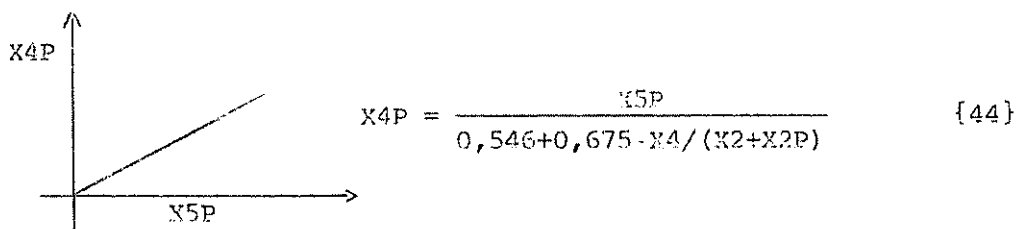
El consumo de NMP (X2S) afectó la transformación de energía digestible (X3S) a metabolizable (X4) así:



La ecuación {43} describe el aumento en eficiencia de transformación de energía digestible a metabolizable. El coeficiente 726,93 tiene una desviación típica de 314,57 lo cual equivale a una variabilidad del 43,2 por ciento que aunque significativa ($P < 0,05$), es bastante grande. Por lo tanto, se recomienda mayor investigación en esta área.

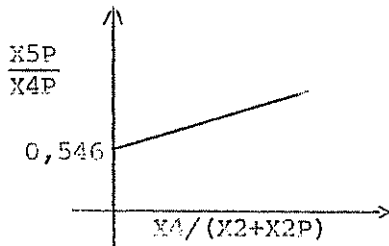
4.4.5 Energía metabolizable para mantenimiento

La ecuación {44} describe la relación entre energía metabolizable para mantenimiento (X4P) y energía neta para mantenimiento (X5P):



La función anterior {44}, se obtuvo de la siguiente ecuación del ARC

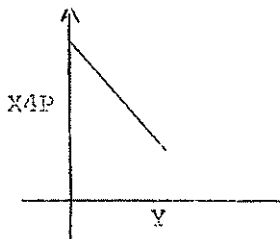
(1):



$$\frac{X5P}{X4P} = 0,546 + 0,675 \cdot X4 / (X2 + X2P) \quad \{45\}$$

La ecuación {45} funciona bien dentro de las concentraciones de 1 a 3,5 Mcal de energía metabolizable. Cuando aumenta la concentración de energía metabolizable del alimento ($X4/X2+X2P$), la eficiencia de transformación de energía metabolizable a neta alcanza valores mayores al 100 por ciento, lo que no es lógico. Además, esta ecuación fue desarrollada para alimentos concentrados, como los granos y no como la melaza, que además de su forma física es completamente fermentable en el rumen, con un patrón característico (56), según se anotó anteriormente. Por ende, es necesario probar modelos alternos con el fin de buscar una mejor descripción del fenómeno biológico.

El peso del animal (Y) afectó la energía metabolizable para mantenimiento ($X4P$) así:



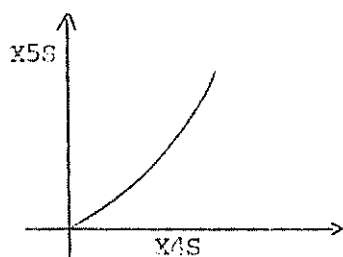
$$X4P = \frac{0,261 \pm 0,031 - 0,000727 \pm 0,0001 \cdot Y}{0,546 + 0,675 \cdot X4 / (X2 + X2P)} \quad \{46\}$$

La ecuación {46} describe el fenómeno biológico en forma aproximada a valores de peso (Y) mayores a 359 kg ; la energía metabolizable para

mantenimiento (X_{4P}) sería negativa, lo cual no es fisiológicamente posible. El cambio en energía metabolizable, como reflejo del metabolismo, por unidad de peso es muy intenso. Aparentemente se sobreestima el metabolismo de animales pequeños y subestima el de los animales grandes. Esta situación se presenta debido a que el modelo confunde en el peso los efectos de edad y actividad física. Los animales más pequeños han realizado progresivamente mayor actividad física, pues tuvieron alimentación progresivamente más restringida. Es necesario que se prueben otras alternativas para separar estos efectos. Esto acarrea, sin embargo, dificultades pues en la información disponible frecuentemente se carece de datos sobre edad de los animales. El coeficiente 0,261 tuvo una desviación típica de 0,031 y el coeficiente 0,000727 una desviación de 0,0001 lo que equivale a una variabilidad del 12 y 14 por ciento respectivamente.

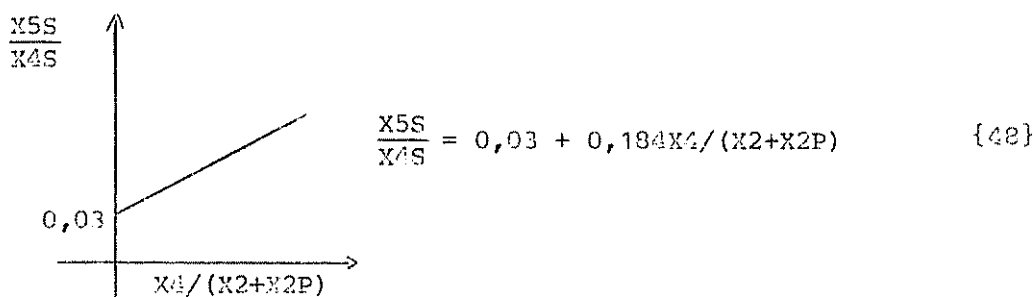
4.4.6 Energía neta para crecimiento

La siguiente relación fue utilizada para la transformación de energía metabolizable (X_{4S}) a energía neta para crecimiento (X_{5S}):



$$X_{5S} = X_{4S} \left[0,03 + 0,184X_4 / (X_2 + X_{2P}) \right] \quad \{47\}$$

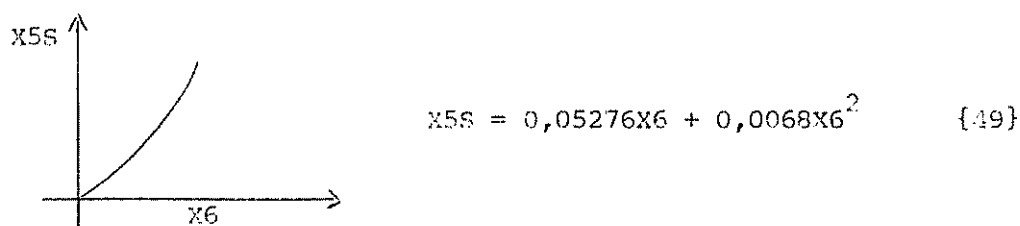
Se asumió que la relación entre X_4 /consumo es semejante a la relación X_{4S} /consumo para incremento de peso. La ecuación {48} fue obtenida a partir de la siguiente relación según el criterio del ARC:



La ecuación {48} corresponde al enfoque del ARC para describir la eficiencia de transformación de energía metabolizable a energía neta para incremento de peso. Esta ecuación, al igual que la {47}, describe bien el fenómeno biológico cuando la concentración de energía metabolizable varía entre una y tres megacalorías. Si se extrapola a concentraciones energéticas mayores, la eficiencia para engorda pasa a ser mayor que la eficiencia para mantenimiento y además alcanza valores mayores al 100 por ciento, lo cual no es lógico. Cabe también la posibilidad de que estas ecuaciones no funcionen bien para la melaza, que no puede ser clasificada ni como forraje ni como concentrado. Lo anterior amerita buscar otras funciones alternas a la utilizada.

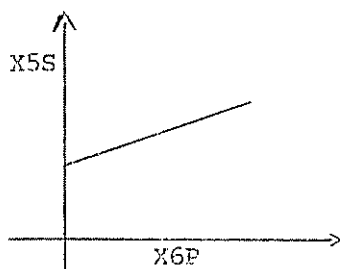
4.4.7 Valor calórico de los incrementos de peso

El valor calórico de los incrementos de peso ($X5S$) se obtuvo según el criterio del NRC:



La ecuación {49} describe bien el efecto de los incrementos de peso (X_6) sobre los valores calóricos (X_{5S}). Conforme aumentan los incrementos de peso, los requerimientos energéticos van aumentando en forma cuadrática, lo cual es atribuible a una mayor síntesis de grasa. Sin embargo, como es un polinomio de segundo grado, al despejar el valor del incremento de peso (X_6), existe el peligro de que aparezcan raíces negativas o imaginarias cuando las necesidades de mantenimiento son mayores al consumo. Este problema se presentó en el presente trabajo, por lo que amerita la utilización de otras funciones donde no sea necesario resolver ecuaciones de segundo grado.

La función para describir el efecto del incremento de peso anterior (X_{6P}) sobre el valor calórico de los aumentos de peso (X_{5S}) es:



$$X_{5S} = (0,05272 \cdot X_6 + 0,00684 \cdot X_6^2) (1 + 2,08 \pm 0,43 \cdot X_{6P}) \quad \{50\}$$

La ecuación {50} incluye una aproximación lineal. Al despejar X_6 se produce una relación parabólica entre los incrementos de peso anteriores y las tasas de crecimiento. Esta relación está sobreestimando el incremento de peso obtenido (X_6) de aquellos animales que tuvieron incrementos de peso previo muy bajos (X_{6P}). La aproximación lineal en la ecuación {50} fue aceptada debido a que el coeficiente 2,08 fue significativo y

tuvo una desviación típica de 0,43 equivalente a una variabilidad del 21 por ciento. Además, no alteró la variabilidad de los coeficientes existentes en el modelo y mejoró el coeficiente de determinación (R^2). Sin embargo, es conveniente probar modelos con otras alternativas no lineales para la relación entre valor calórico de los incrementos de peso e incremento de peso previo.

4.5 Comportamiento del modelo

El modelo presentado en la Fig. 1 permite predecir el crecimiento del ganado en pastoreo, suplementado con melaza y MNP con un valor de $R^2 = 0,74$. La baja desviación de los coeficientes numéricos obtenidos con información procedente de diferentes pastos, animales y ambientes, le dan una amplitud de aplicación no obtenida hasta el momento con los sistemas tradicionales de predicción. Sin embargo, según se ha venido anotando, existen áreas que ameritan mayor investigación numérica. Por consiguiente, existe la perspectiva de mejorar el modelo presente. Desde el punto de vista de aplicación práctica el modelo hace posible la elaboración de tablas de predicción del crecimiento animal tomando en consideración factores que no han sido involucrados en los sistemas de alimentación desarrollados en zonas templadas.

5. CONCLUSIONES

1. Con pastos de mediocre calidad, la mezcla melaza-urea puede ser utilizada como un suplemento o como un sustituto en condiciones de escasez de forraje. La suplementación solo con melaza o con nitrógeno no proteico no es biológicamente beneficiosa.
2. Cuando el pasto es de buena calidad y abundante no tiene sentido suplementar con melaza y urea.
3. La metodología desarrollada en el presente estudio hace posible, utilizando la capacidad predictiva del modelo desarrollado, mejorar o diseñar tecnologías relacionadas con sistemas de alimentación y permite además estructurar lineamientos para futuras investigaciones.
4. Los aspectos que deben enfatizarse en futuras investigaciones numéricas son: consumo de forraje como función de la selectividad; transformaciones de la melaza a nivel de metabolismo intermedio; consumo de forraje en función del consumo de melaza y urea. Algunos de estos aspectos mencionados merecerían también someterse a investigación biológica.

6. RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la División de Procesamiento de Datos del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas y en el Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica, en San José, Costa Rica. Los objetivos fueron estudiar el comportamiento del ganado en pastoreo suplementado con diferentes niveles de melaza y urea; desarrollar una metodología para predecir el crecimiento del ganado, e identificar áreas donde se requiera más investigación.

Se utilizó información producida en el CATIE y en otras estaciones con programas asociados al CATIE y de la literatura. Se evaluó un total de 200 modelos matemáticos para describir el efecto de varios factores sobre el consumo y digestibilidad del forraje, metabolismo y valor calórico de los incrementos de peso. Las entradas al modelo fueron: Disponibilidad de pasto, consumo de melaza y NNP en función del peso metabólico, digestibilidad *in vitro* del forraje, incremento de peso previo y peso del animal. La salida fue crecimiento diario.

Los resultados indican que al suplir solo melaza a los animales, el consumo de forraje disminuye severamente y por ende los incrementos de peso, lo mismo sucede al suplementar solo NNP. La mezcla de melaza-NNP suplementada a forrajes de mala calidad mejora el crecimiento del ganado. La administración de dicha mezcla con pastos de buena calidad disminuye el crecimiento si se lo compara con el obtenido solo con pasto. El modelo matemático para predecir el crecimiento del ganado resultó con un $R^2 = 0,74$. Todas las entradas del modelo resultaron con coeficientes de regresión significativos ($P < 0,05$) para la predicción del crecimiento. La variabilidad de estos coeficientes fue inferior

al 40 por ciento. El modelo puede utilizarse para mejorar o diseñar tecnologías relacionadas con sistemas de alimentación y hace posible la elaboración de tablas de predicción del crecimiento animal tomando en consideración factores que no han sido involucrados en los sistemas de alimentación desarrollados en zonas templadas.

Para mejorar el valor predictivo del modelo, en futuras investigaciones numéricas debe enfatizarse en el estudio del consumo de forraje como función de la selectividad que el ganado hace del pasto según la calidad y según el consumo de melaza y urea; las transformaciones energéticas de la melaza a nivel de metabolismo intermedio, y el efecto del UNP sobre el metabolismo intermedio. Se concluye que en condiciones de escasez de forraje la mezcla melaza-urea puede ser utilizada como un sustituto o como un suplemento cuando el forraje es de mala calidad. Cuando el pasto es abundante y de buena calidad no tiene sentido suplementar.

6a. SUMMARY

The present study was carried out in the Data Processing Division of the Inter-American Institute of Agricultural Sciences and in the Computing Center of the University of Costa Rica at San Jose, Costa Rica. The objectives were to study the responses of growing cattle when supplemented with varying levels of molasses and urea under pasture conditions; to develop methods for predicting cattle growth; and to identify critical areas needing further research. The information utilized were accumulated from the experimental stations in CATIE and cooperation stations as well as from the scientific literature. A total of 200 mathematical methods were evaluated for describing the effect of various factors on the consumption and digestibility of forage, metabolism and caloric energy values of bodyweight changes. The inputs of the model were: Pasture availability, consumption of molasses and urea (as a function of metabolic weight), *in vitro* digestibility of the forage, previous weight change and animal bodyweight. The output variable was daily growth rate.

The results indicated that molasses supplementation severely reduced forage consumption and consequently the growth rate too; a similar response was observed when supplementing only urea. Combining molasses and urea as a supplement to low quality forages, resulted in an increased daily growth. This supplemental mixture when fed with good quality pasture reduced animal daily growth as compared to the growth obtained with pasture alone. The mathematical model for predicting cattle growth resulted with a coefficient of determination (R^2) of

0.74. All the inputs of the model resulted in significant ($P \leq 0.05$) regression coefficients for predicting cattle growth. The variability of these coefficients did not exceed 40 per cent. The model could be used to design or improve technologies related to feeding systems and also allows the elaboration of tables for predicting animal growth, considering previous growth rate. Factors that should be considered in future researches, to improve the predicting value of the model should include: forage consumption as a function of grazing selectivity and foraged quality including relationships with molasses and urea consumption, intermediate metabolism of molasses, and the effect of urea on intermediate metabolism.

It was concluded that under poor quality forage conditions, the mixture of molasses and urea can be used as a substitute or as a supplement to forage. When forage is of good quality and abundant, this supplementation is not needed.

7. LITERATURA CITADA

1. AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. Necesidades nutritivas de los animales domésticos. 2a. ed. Editorial Académica, España, 1968. 372 p.
2. ANRIQUE, R. Consumo de pasto guinea (*Panicum maximum*) y pangola (*Pigitaria decumbens*) por bovinos en pastoreo directo a diferentes edades y pesos corporales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. 54 p.
3. 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 Agricultural Science* 62: 417-424. 1964.
4. BAILE, C. B. y FORBES, M. J. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. *Physiological Reviews* 54(1):160-214. 1974.
5. BATEMAN, J. V. y BLAXTER, K. L. The utilization of the energy of artificially dried lucerne. *Journal Agricultural Science* 63:129-131. 1964.
6. BEARNES, R. M. Bagomolasses as the basis of a fattening ration for cattle. *Queensland Journal of Agricultural Science* 18(3):425-436. 1961.
7. BEAUDOUIN, J. Efectos de la melaza sobre el consumo de pasto en bovinos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1968. 41 p.
8. BLAXTER, K. L. Utilization of the metabolizable energy of grass. *Journal of the British Grassland Society* 19(1): 1964-1971. 1964.
9. _____, WAIMAN, F. W. y WILSON, R. S. The regulation of food intake by sheep. *Animal Production* 3(1):51-61. 1961.
10. BLAYLOCK, L. G., NEAGLE, L. H. y GOIHL, J. H. Dietary protein and urea levels in beef cattle rations. *Journal of Animal Science* 24:874. Abs. 1965.
11. BOHMAN, V. R. et al. The utilization of molasses and urea in the ration of growing dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 37(3):284-293. 1954.

12. BRAY, C. I. et al. Feeding blackstrap molasses to fattening steers. Louisiana Agricultural Experimental Station. Bulletin no. 394. 1945. 43 p.
13. CALVO, H. Determinación de la digestibilidad del heno de pangola y de una mezcla suplementaria con alto contenido de melaza de caña. Tesis Ing. Agr. Universidad de Costa Rica, 1966. 45 p.
14. CHALUPA, W. Metabolic aspects of non protein nitrogen utilization in ruminant animals. Federation Proceedings 31(3): 1152-1154. 1972.
15. CLARK, J., PRESTON, T. R. y ZAMORA, A. Miel final como fuente de energía. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 6(1):19-26. 1972.
16. CUBILLOS, G., VOHNOUT, K. y JIMENEZ, C. Sistemas intensivos de alimentación a pastoreo. In Seminario Agrícola Tropical sobre Potencial para Incrementar la Producción de Carne, Cali, Colombia, 1974. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1974.
17. DAVIS, R. F. et al. Feeding value and digestibility of cane molasses nutrients of dairy heifers. New York Agricultural Experimental Station. Bulletin no. 914. 1955. 27 p.
18. EGAN, A. R. Nutritional status and intake regulation in sheep. II. The influence of sustained duodenal infusion of casein or urea upon voluntary intake of low protein roughage by sheep. Australian Journal of Agricultural Research 16: 451-462. 1965.
19. ELIAS, A. et al. Sub-productos de la caña y producción intensiva de carne. 4. La ceba de toros con miel-urea en sustitución del grano en dietas de poca fibra. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 2(1):59-67. 1968.
20. ERNEST, A., LIMPUES, J. y O'ROURKE, P. R. Effect of supplements of molasses and urea on intake and digestibility of native pasture hay by steers. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 15:451-455. 1975.
21. FERREIRO, H. y PRESTON, T. R. Efecto de diferentes concentraciones de urea en miel final suministrada como suplemento de caña de azúcar para el engorde de ganado bovino. Producción Animal Tropical 1(2):68-73. 1976.
22. FONTENOT, J. P. et al. Effects of protein level of steer fattening rations. I. Feed lot performance, nitrogen metabolism and certain blood constituents. Journal of Animal Science 22(1):248-249. 1963.

23. FOREMAN, C. F. y HERMAN, H. A. Effects of carbohydrate feeding. Missouri Agricultural Experimental Station. Research Bulletin no. 535. 1953. 56 p.
24. GARZA, R. Efecto de diferentes niveles de melaza en la ceba de novillos. Tesis Mag. Agr. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1960. 50 p.
25. GOMEZ, E. Utilización de concentrados líquidos por ganado en pastoreo en el trópico cálido-seco. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. (Datos sin publicar).
26. HELMER, L. y BARTLEY, . Progress in the utilization of urea as a protein replacer for ruminants. A Review. Journal of Dairy Science 54(1):25-51. 1971.
27. HENDERICHS, H. Aspectos cuantitativos del uso del nitrógeno no proteico en la alimentación de los ruminantes. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 10(1):1-19. 1976.
28. HERRERA, E. Análisis químico y físico de la melaza de caña en Costa Rica y predicción de su valor energético. Turrialba, Costa Rica, CTEI, 1974. 20 p.
29. HUNGATE, R. The rumen and its microbes. New York and London Academic Press, 1966.
30. INTERNATIONAL MATHEMATICAL STATISTICAL LIBRARIES, INC. (IMSL). Library Vol. 2, Houston, 1975.
31. KERCHER, C. J. y PAULES, L. H. Conditioning of beef calves. Journal of Animal Science 27:1166. 1968.
32. 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.
33. LEMUS, A. Producción de carne bovina en praderas de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*; *Vanderyst var nlemfuensis*) bajo diferentes presiones de pastoreo y niveles de fertilización nitrogenada. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1977. 104 p.
34. LENG, R. A. Salient features of the digestion of pastures by ruminants and other herbivores. In Chemistry and Biochemistry of Herbage. Ed. by Butler, G. M. y Bailey, R. W. Vol. 3, Academic Press, 1973.
35. _____ y WEST, C. E. Contribution of Acetate, Butyrate, Palmitate, Stearate and Oleate to ketone body synthesis in sheep. Research in Veterinary Science 10(1):57-63. 1969.

36. LOSADA, H. y PRESTON, T. R. Efecto del forraje sobre el comportamiento, contenido del retículo y AGV en rumen y ciego de terneros alimentados con dietas basadas en miel-urea. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 7(2):189-194. 1973.
37. MARTIN, R. J. y WING, J. Effect of molasses level and digestibility of a high concentrate ration and a molar proportions of volaty fatty acids produced in the rumen of dairy steers. *Journal of Dairy Science* 49:846-849. 1966.
38. MARTY, R. J. Manipulación de la fermentación ruminal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 6(2):163-176. 1972.
39. _____., BERNAVIDES, M. y PRESTON, T. R. Fermentación ruminal en toros alimentados con sacarosa como fuente principal de carbohidratos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 8(2): 161-169. 1974.
40. _____., DEMEYER, D. I., VAN NEVEL, C. J. y HENDERICHA, H. R. Producción de gas *in vivo* y patrones de AGV en ovejas alimentadas con miel. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 7(3): 323-331. 1973.
41. _____ y PRESTON, T. R. Molar proportions of the short chain fatty acids (VFA) produced in the rumen cattle given high molasses diets. *Cuban Journal of Agricultural Science* 4(3): 183-186. 1970.
42. MOORE, J. E. Conversión de forrajes a producto animal. *In Conferencia Anual sobre Ganadería y Avicultura en América Latina*, 8o. trabajo. Florida, 1974.
43. _____ y DUNHAM, D. G. Procedure for this two-stage *in vitro* organic matter digestion of forages. University of Florida, 1971.
44. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Necesidades nutritivas de los animales domésticos. 2a. ed. Editorial Académica, España, 1968. 372 p.
45. PEREZ, F. y GARCIA, R. Uso de la caña de azúcar en la alimentación del ganado en época de seca. I. Efecto de la adición de urea en el consumo y producción de vacas lactantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 9(2):109-112. 1975.
46. PERLA, F. Crecimiento de novillos en pastoreo con diferentes disponibilidades de pasto y un concentrado líquido de melaza. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 44 p.

47. PERON, N. Efecto de las dietas basadas en concentrados o miel sobre el crecimiento y fermentación ruminal en terneros lecheros destetados temprano. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 5(2):279-294. 1971.
48. PERRY, T. W., BESSON, W. M. y MOHLER, M. T. A comparison of high urea supplements with natural protein supplements for growing and fattening beef cattle. *Journal of Animal Science* 26:1434. 1967.
49. PEZO, D. y VOHNOUT, K. Uso de la melaza en ganado en pastoreo. II. Novillas lecheras. *In Reunión Latinoamericana de Producción Animal*, 5a., Venezuela, 1975.
50. PRESTON, T. R. Engorde de ganado vacuno con melaza en los trópicos. *Revista Mundial de Zootecnia* No. 1. pp. 24-29. 1972.
51. _____. Intensive beef production. Comisión Nacional de la Industria Azucarera, Humbolt No. 56, México 1, D.F., 1973. 18 p.
52. _____. y WILLIS, M. R. Producción intensiva de carne. Primera edición, Diana, México, 1974. 736 p.
53. _____. , WILLIS, M. R. y ELIAS, A. Subproductos de la caña y producción intensiva de la carne. 1. Efecto de diferentes niveles de urea en la miel final suministrada *ad libitum* a toros en ceba como suplemento del grano. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* (1):33-40. 1967.
54. REYES, Y. Estudios *in vivo* sobre algunos parámetros de fermentación en el rumen y ciego de bovinos alimentados con dietas basadas en forraje y miel. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 7(1):35-44. 1973.
55. _____. Características de la digesta contenida en el tracto gastrointestinal de bovinos alimentados con una dieta basal de forraje suplementada con miel: materia seca y materiales estructurales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 8(1):33-43. 1974.
56. RODRIGUEZ, V. y GEERKEN, C. M. Efecto de la suplementación con miel a vacas en pastoreo libre o restringido en la producción de leche. Congreso Mundial de Alimentación Animal, Madrid, España, 1973.
57. RIVADENEIRA, J. Predicción del crecimiento del ganado en pastoreo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1977. 74 p.

58. 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).
59. RUIZ, M. E. New animal feeding systems based on the intensive use of tropical byproducts. International Symposium "Feed Composition, Animal Nutrient Requirements and Computerization of Diets", Utah State University, Logan, Utah, 1976.
60. _____ y VOHNOUT, K. El uso de subproductos en la alimentación de bovinos en el trópico. Trabajo presentado en exposiciones pecuarias del Istmo Centroamericano del 10 al 17 de marzo de 1974, en Tegucigalpa, Honduras.
61. SILVESTRE, R., MACLEAD, M. A. y PRESTON, T. R. Consumo voluntario y ganancia de peso de ganado bovino alimentado con caña de azúcar picada y soluciones de miel con diferentes concentraciones de urea. *Producción Animal Tropical* 2(1):1-12. 1977.
62. STRUBLE, G. Non linear square curve fitting program. Statistical Laboratory and Computing Center. University of Oregon, Eugene, Oregon State, 1963.
63. 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.
64. WALDO, D. R. Symposium, Nitrogen utilization by the ruminant. Nitrogen metabolism in the ruminant. *Journal of Dairy Science* 51(2):265-271. 1970.
65. 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.