

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

EFFECTO DEL NIVEL DE MELAZA SOBRE EL CONSUMO  
VOLUNTARIO DE PUNTA DE CAÑA Y LA GANANCIA DE PESO  
EN NOVILLOS DE CARNE

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

Magister Scientiae

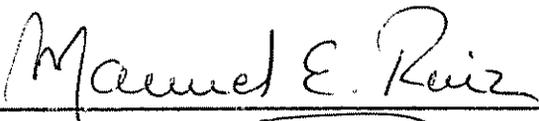
VICTOR RICARDO ARMENDARIZ DEL VALLE

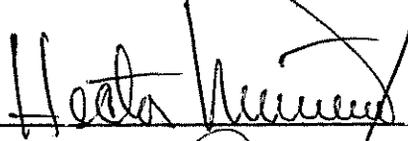
Turrialba, Costa Rica

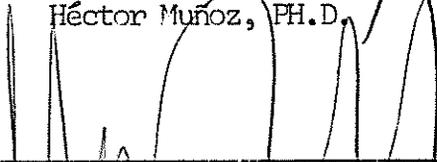
1976

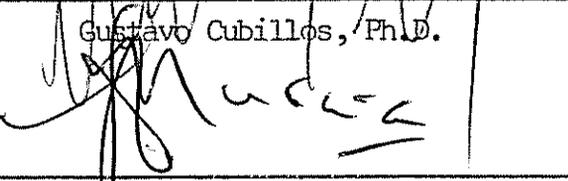
Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE, como requisito parcial para optar al grado de

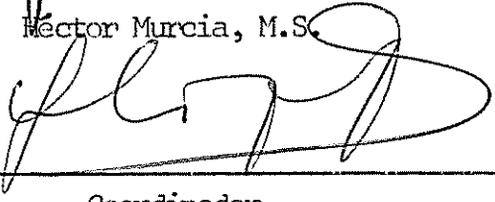
*Magister Scientiae*

JURADO:  Consejero  
Manuel E. Ruiz, Ph.D.

 Comité  
Héctor Muñoz, Ph.D.

 Comité  
Gustavo Cubillos, Ph.D.

 Comité  
Héctor Murcia, M.S.

  
Coordinador  
Sistema de Estudios de Posgrado  
de la Universidad de Costa Rica

DEDICATORIA

A Sussi, con amor

A mis padres, con cariño

A mis hermanos

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento:

- Al Dr. Manuel E. Ruíz, Consejero Principal, por su valiosa colaboración y acertada guía en el desarrollo del presente trabajo. Asimismo, agradece la amistad que le dispensó.
- Al Dr. Héctor Muñoz, Miembro del Comité Consejero, por su orientación y amistad que le brindó.
- Al Dr. Gustavo Cubillos e Ing. Héctor Murcia, por su colaboración y revisión del texto.
- Al Dr. Oliver Deaton, por sus consejos y amistad brindada.
- Al Ing. Orlando Rojas, por proporcionarle las facilidades físicas para realizar este trabajo.
- AL IICA-Zona Norte, y al Gobierno de Holanda, por el apoyo prestado en sus estudios de Posgrado.
- A sus compañeros y amigos por los gratos momentos vividos.
- A todo el personal del Departamento de Ganadería Tropical, por su amistad y ayuda.

## BIOGRAFIA

El autor nació en Chiantla, Departamento de Huehuetenango, Guatemala. Realizó sus estudios primarios en la Escuela "El Futuro", Chiantla y sus estudios secundarios en el Instituto Normal para Varones de Occidente, Quetzaltenango, Guatemala. Ingresó a la Escuela Nacional de Agricultura en 1963 y recibió el título de Perito Agrónomo en 1966. El mismo año ocupó el puesto de Agente de Extensión Agrícola hasta Agosto de 1969.

Los estudios universitarios los realizó en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, N.L., México, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo Zootecnista en 1973. Ese año fue nombrado profesor de tiempo completo en el Instituto Técnico de Agricultura de Guatemala.

En Enero de 1974 ingresó como estudiante graduado al Departamento de Ganadería Tropical del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, en Turrialba, Costa Rica, en donde obtiene el grado de *Magister Scientiae* en Febrero de 1976.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 El uso de subproductos de la caña de azúcar en la alimentación de bovinos.....	3
2.2 Utilización de la punta de caña en la ali- mentación animal.....	6
2.3 Utilización del nitrógeno por el rumiante..	10
3. MATERIALES Y METODOS.....	13
3.1 Localización del estudio.....	13
3.2 Animales y manejo.....	13
3.3 Diseño y tratamientos.....	14
3.4 Recolección de datos.....	15
3.4.1. Consumo de alimento.....	15
3.4.2. Ganancia de peso.....	15
3.4.3. Eficiencia de utilización del alimento..	16
3.4.4. Análisis de los alimentos.....	16
3.4.5. Análisis estadístico.....	17
3.4.6. Análisis económico.....	20
4. RESULTADOS.....	24
4.1 Incrementos de peso por día.....	24
4.2 Consumo de alimento.....	26
4.2.1. Materia seca.....	26

	<u>Página</u>
4.2.2. Punta de caña.....	28
4.2.3. Energía.....	31
4.3 Eficiencia de conversión del alimento.....	31
4.4 Eficiencia de conversión de la energía y proteína total.....	33
4.5 Análisis económico.....	36
5. DISCUSION.....	41
5.1 Relación Insumo - Producto.....	41
5.2 Eficiencia de utilización de los insumos....	48
5.3 Optimización económica de la relación Insumo- Producto.....	52
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
7. RESUMEN.....	58
7a. SUMMARY.....	61
8. LITERATURA CITADA.....	64
9. APENDICE.....	71

## LISTA DE CUADROS

## TEXTO

<u>Cuadro N°.</u>		<u>Página</u>
1	Descripción de los tratamientos.....	15
2	Promedios de ganancia de peso/día.....	24
3	Análisis de variancia para ganancia de peso.....	26
4	Consumo de materia seca, energía y proteína.....	27
5	Eficiencia de conversión de alimento a ganancia de peso.....	33
6	Sistema óptimo de engorda de novillos a base de punta de caña.....	56

## APENDICE

1A	Análisis proximal de los ingredientes utilizados.....	72
2A	Costos variables utilizados para el análisis económico.....	73
3A	Costos fijos utilizados para el análisis económico.....	73
4A	Consumo de energía y proteína.....	74

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura N°</u>		<u>Página</u>
1	Efecto del nivel de melaza sobre la ganancia de peso.....	25
2	Efecto de nivel de melaza sobre el consumo total de materia seca.....	29
3	Efecto del nivel de melaza sobre el consumo de punta de caña.....	30
4	Efecto del nivel de melaza sobre la eficiencia de conversión alimenticia.....	32
5	Efecto del nivel de melaza sobre la eficiencia de utilización de la energía y proteína total.....	35
6	Diagrama representando causas y efectos biológicos y económicos en función del nivel de melaza.....	37
7	Beneficio neto y rentabilidad en función de los niveles de melaza.....	39
8	Modificación propuesta del modelo sobre el consumo de alimento en rumiantes regulado por el llenado del rumen.....	46

## 1. INTRODUCCION

Pese a que los trópicos tienen un gran potencial natural de producción biológica, la escasez de proteína animal para la nutrición humana en estas regiones es un hecho bien conocido. La ganadería en estas zonas depende principalmente del pasto como la base de su alimentación. Sin embargo, existen fluctuaciones climáticas que limitan considerablemente la producción y calidad del forraje durante todo el año y como resultado, la producción de carne o leche también se ven reducidas. Existen varias alternativas para solucionar parcial o totalmente esta situación. La suplementación en pastoreo, la alimentación en corral de una porción del hato y el aprovechamiento del crecimiento compensatorio del animal son tres alternativas que requieren la utilización de recursos alimenticios diferentes al pasto.

La elaboración de sistemas de alimentación para el ganado, a base de los subproductos de la industria azucarera ha sido la preocupación de muchos investigadores durante los últimos años. Resultados halagadores con el uso de la melaza como fuente energética en el engorde de ganado, han contribuido a incrementar su demanda y precio, lo que actualmente limita el uso de ésta en grandes cantidades.

La punta de caña posee un contenido relativamente alto de carbohidratos fácilmente asimilables, por lo que puede constituir un sustituto potencial de la melaza. En la actualidad este material no es utilizado eficientemente, pues permanece en el campo durante las zafas. Si se considera que hay 11'677.000 ha cultivadas de caña de

azúcar en el mundo <sup>a/</sup>, con un rendimiento promedio de 52 T.M./ha y si el 10 por ciento de la planta entera lo constituye la punta de caña, se tiene un total de 15'860.285 T.M. de materia seca, que podrían ser utilizadas en la alimentación animal. Un factor limitante en el empleo de la punta de caña como alimento básico es su bajo contenido en proteína. Sin embargo, gran parte de la suplementación proteica puede hacerse con el uso de la urea aprovechando la capacidad que tienen los microorganismos del rumen para sintetizar proteína, a partir del nitrógeno no proteico.

Con el propósito de desarrollar conocimientos sistemáticos para la utilización de la punta de caña en la alimentación del ganado bovino, se realizó el presente trabajo con los siguientes objetivos:

1. Cuantificar la influencia del consumo de diferentes niveles de melaza sobre el consumo *ad libitum* de punta de caña y ganancia de peso en novillos de carne.
2. Determinar el beneficio económico de la producción de carne a base de punta de caña en función del nivel de suplementación con melaza.

---

<sup>a/</sup> Anuario de producción, FAO. 1974.

## 2. REVISION DE LITERATURA

2.1 El uso de subproductos de la caña de azúcar en la alimentación de bovinos.

El cultivo de la caña de azúcar es uno de los mas importantes en América Tropical cubriendo un área de 212.000 ha sólo en América Central <sup>a/</sup>. Esto significa la producción de grandes cantidades de subproductos y desechos que pueden ser empleados en la producción de carne y leche, ya sea como suplementos del pasto o como bases de la alimentación en ausencia o escasez de este.

Los subproductos mas conocidos de la industria azucarera son la melaza y el bagazo. El uso eficiente de estos materiales no fue posible sino hasta en años recientes en que investigadores de Cuba, Costa Rica y otros mostraron la factibilidad de llevar a cabo sistemas de alimentación fundamentados en estos materiales (9, 18, 19, 21, 39, 43, 45, 49, 55).

La alimentación basada en altos niveles de melaza no es factible si se incluye grano *ad libitum* en el sistema, según Preston et al. (45) quienes encontraron que en estas condiciones el ganado consume melaza en cantidades que no aportan mas del 34 por ciento de la energía metabolizable total. Se obtienen mayores consumos de energía metabolizable aportada por la melaza (hasta 58 por ciento

---

a/ Anuario de producción, FAO. 1974.

del total) en situaciones en que se elimina el grano y se presenta en forma ilimitada tanto la melaza como una fuente de forraje verde (10, 44). Sin embargo, sólo cuando este último se limita, se llegan a obtener altos consumos de melaza. Esta conclusión fue obtenida por Elías et al. (19) al limitar el nivel de forraje a 0,230 kg de M.S./100 kg de peso vivo y encontrar que el consumo de miel llega a 1,7 kg de M.S./100 kg de peso vivo, lo que proveyó entre el 70 y 80 por ciento del total de la energía metabolizable consumida. Por otro lado, Elías et al. (20) encontraron que cuando se aumenta el nivel de forraje hasta 0,690 kg de M.S./100 kg de peso vivo, el consumo de melaza se mantiene constante, lo mismo que la ganancia de peso (0,790 kg/animal/día), prefiriéndose el nivel bajo de forraje dada la mejor eficiencia de utilización de la materia seca total.

Ochoa (39) encontró que cuando el consumo de bagazo es de 100 a 600 g de M.S./100 kg de peso vivo, el nivel de consumo de melaza se mantiene constante (1,95 kg de M.S./100 kg de peso vivo/día). Con niveles de bagazo superiores a 600 g M.S./100 kg de peso vivo, el consumo de melaza se incrementa rápidamente hasta 2,6 kg M.S./100 kg de peso vivo. Estos cambios no afectaron la ganancia de peso la cual se mantuvo en 1,098 kg/animal/día, aunque con niveles de bagazo inferiores a 232 g M.S./100 kg de peso vivo, se presentaron casos de timpanismo. Similares respuestas en ganancia de peso fueron obtenidas por Kirk y colaboradores (31,32) con raciones con 50 por ciento de melaza y 30 por ciento de bagazo y torta de algodón o urea proporcionan-

do el 25 por ciento del nitrógeno total de la dieta o con raciones de 35 por ciento de bagazo y 40 por ciento de grano. Al igual que los resultados de Ochoa (39), estos autores no encontraron influencias significativas del nivel de bagazo sobre la ganancia de peso. Butterworth et al. (7) encontraron que raciones con niveles muy altos de bagazo de caña (55 por ciento) son menos eficientes que raciones con 27,5 y aún 0 por ciento de bagazo.

Ruíz (56) trabajando en las mismas condiciones que Ochoa (39) encontró que cuando la fuente de forraje es una mezcla de malezas verdes existe un fenómeno de sustitución entre el consumo de forraje y el de melaza a niveles superiores a 200 g M.S. de forraje/100 kg de peso vivo, posiblemente debido al aporte energético del forraje succulento, lo que no ocurre con el bagazo.

Considerando los resultados hasta aquí expuestos, pareciera que las necesidades de fibra en el bovino de engorde tienen como límite mínimo 300 g de M.S./100 kg de peso vivo y como máximo 600 g de M.S./100 kg de peso vivo si la fuente es inerte, como el bagazo de caña, según Ochoa (39). Si la fuente es un forraje succulento que provee cantidades importantes de energía entonces, el nivel de forraje no deberá ser muy diferente al nivel mínimo (300 g M.S./100 kg de peso vivo), ya que niveles mayores podrían significar menor eficiencia de utilización del alimento (19,48) o una competencia en el consumo de melaza (56).

Con el uso básico de melaza y bagazo ha sido posible obtener altas ganancias de peso con alta eficiencia de utilización del alimento con-

sumido. Así, Kirk *et al.* (32) observaron ganancias de peso de 1,2 y 1,1 kg/animal/día usando raciones con 30 por ciento de bagazo de caña y 50 por ciento de melaza suplementadas con harinolina de algodón y urea, respectivamente. Ochoa (39) logró ganancias de peso que variaron de 0,959 a 1,186 kg/animal/día con niveles de bagazo de 0 hasta 1000 g M.S./100 kg de peso vivo/día y melaza *ad libitum*. En base a los resultados de este último autor, Villegas y Ruíz (63) encontraron que con 350 g M.S. de bagazo/100 kg de peso vivo/día y melaza *ad libitum* se pueden lograr ganancias de peso de 0,970 a 1,270 kg/animal/día, dependiendo del nivel de urea empleado. Similarmente, Clavo (12) encontró una ganancia promedio de 0,835 kg/animal/día con las mismas especificaciones técnicas usadas por Villegas y Ruíz (63), pero bajo condiciones comerciales.

## 2.2 Utilización de la punta de caña en la alimentación animal.

Los sistemas de alimentación basados en el uso masivo de melaza de caña, se justifican si el precio de la misma es bajo. Sin embargo, actualmente en muchos países, como en el caso de Costa Rica, el uso de grandes cantidades de melaza en la alimentación animal se hace prohibitivo, dado el alto precio que ha llegado a adquirir. Consecuentemente, impera la necesidad de buscar y utilizar nuevas fuentes calóricas de bajo costo y que puedan sustituir biológica y eficientemente a la melaza en un sistema de alimentación animal.

La punta de caña, por su composición, abundancia y costo, puede

constituir el sustituto potencial de la melaza. La posibilidad de su utilización ha sido ignorada y ha motivado que este desecho carezca de valor económico en la actualidad. Dado que la punta de caña representa el 10 por ciento del total de la caña entera (58), Centro América desperdicia anualmente durante las zafras la cantidad de 1'160.000 T.M. de este material verde, lo que justifica la búsqueda de métodos de utilización en producción pecuaria.

Son pocos los trabajos realizados en engorde de ganado con punta de caña. Sin embargo, los resultados obtenidos en los mismos proveen algún indicio del valor alimenticio de la punta de caña en raciones para el rumiante. De acuerdo a los análisis realizados, la composición química de la punta de caña, así como su digestibilidad, es comparable a la mayoría de los pastos tropicales, como el napier, milo y sorgo (1, 26, 58, 62, 65), lo que hace evidente su valor nutritivo potencial como forraje.

O'Donovan (40) suministrando hojas de caña de azúcar picadas, y con un contenido de proteína de 5 a 6 por ciento, encontró, que además de satisfacer las necesidades de mantenimiento del ganado de leche y ganado de carne, se pueden obtener rendimientos de 2 kg de leche/vaca/día y ganancias de peso de 0,250 kg/animal/día, respectivamente. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Colmenares (13), quien obtuvo ganancias de peso de 0,350 kg/animal/día, cuando alimentó novillos de carne con punta de caña únicamente; las ganancias de peso incrementaron a 1,270 kg/animal/día al proveer punta de caña y

7 kg/animal/día de una mezcla balanceada. Sin embargo, el consumo de punta de caña en el segundo caso disminuyó considerablemente (34 por ciento), posiblemente debido al alto nivel de suplementación. Los resultados de estos dos últimos autores, difieren de los obtenidos por Díaz y colaboradores (15), quienes reportan pérdidas de peso en animales alimentados solamente con punta de caña helada o punta de caña verde. Posiblemente, estas pérdidas de peso fueron debidas a una deficiencia en el nivel de proteína aportada por la punta de caña. Esto fue comprobado por los mismos autores cuando adicionaron un suplemento nitrogenado (30 g de urea y 7,5 kg de heno de alfalfa/animal/día), obteniendo ganancias de 0,351 y 0,512 kg/animal/día, para la punta de caña verde y helada, respectivamente.

Frontera et al. (24) trabajando con diferentes fuentes nitrogenadas y punta de caña *ad libitum*, obtuvieron ganancias de peso que variaron de 0,233 a 0,800 kg/animal/día. La mayor ganancia la lograron cuando la fuente nitrogenada la constituyó la urea. En base a este resultado, Frontera y Mascaró (25) evaluaron diferentes niveles de urea (50, 100, 150 y 200 g/animal/día), con una mezcla balanceada y consumo libre de punta de caña. Desafortunadamente estos autores no midieron el consumo de punta de caña, el cual fue visualmente estimado entre 25 y 30 kg/animal/día. La ganancia de peso promedio fue de 0,900 kg/animal/día, la cual es similar a las obtenidas con melaza y concentrado *ad libitum* (45).

La necesidad de suplementar la punta de caña con energía y ni-

trógeno a fin de obtener una alta tasa de ganancia de peso, también ha sido comprobada por Lishman (33) quien encontró que cuando el ganado tenía libre acceso a la punta de caña, 5 kg de melaza y 2 kg de pasta de cacahuete/animal/día, se lograba una ganancia de peso de 0,720 kg/animal/día. Similares ganancias de peso han sido observadas por Champion (9) y Champion y Silvestre (10), cuando se suplementó la punta de caña con una mezcla de melaza y urea al 3 por ciento.

Recientes trabajos realizados por Preston (48), James (30) y Donefer (17), reportan que la inclusión de punta de caña a una ración a base de caña finamente picada o a base de caña descortezada, permite un aumento de 11 por ciento en la producción comparada con la ganancia de peso que se obtiene sin la inclusión de punta de caña. Sin embargo, estos autores no han ofrecido una explicación para esta respuesta estimulada por la presencia de la punta de caña en la ración.

En base a la información presentada, aparentemente es posible utilizar la punta de caña como base en un sistema de alimentación de ganado de carne, siempre y cuando se suplemente adecuadamente con proteína, energía, vitaminas y minerales. Comparando un sistema intensivo de producción de carne a base de melaza (54, 56), con un sistema hipotético elaborado a base de punta de caña, ambos serían altos en carbohidratos solubles, bajos de proteína y dependerían en su mayor parte de la suplementación suministrada. Sin embargo, la punta de caña, a diferencia de la melaza, posee un precio bastante bajo y no estaría sujeto a fuertes cambios en su cotización, dado que no es un material exporta-

ble económicamente ni fácilmente transportable a largas distancias dentro del país. Estos puntos justifican el uso de la punta de caña en la alimentación del ganado en zonas en donde el pasto es limitante o donde el precio de la melaza haya alcanzado un nivel prohibitivo para su empleo en sistemas intensivos de alimentación.

### 2.3 Utilización del nitrógeno por el rumiante.

Se ha comprobado que la suplementación con proteína verdadera en un sistema de alimentación resulta costosa (22, 27, 46, 55). Este problema se agudiza en los países tropicales debido a la escasez y alto costo de la misma en el mercado.

Los cambios en cantidad y calidad de las proteínas presentes en la ración influyen sobre la ganancia de peso, siendo ésta mayor a medida que se mejora la calidad de la misma (34, 35) o su nivel (39). Por ejemplo, Valente (61) encontró que biológicamente la harina de pescado es 7 veces superior a la torta de algodón o a la urea. También Ochoa (39), Flores (23) y Ruíz (56) estudiando diversos niveles de proteína, de alta calidad, observaron que a medida que aumenta el nivel de proteína, aumenta la ganancia de peso. Sin embargo, pasados los 500 g de proteína/100 kg de peso vivo, no se registran incrementos adicionales en la ganancia de peso.

A diferencia de los monogástricos, el rumiante tiene la capacidad de sintetizar proteína a partir del nitrógeno no proteico (NNP), gracias a la actividad microbiana ruminal. Esto permite la sustitución

de parte de la proteína verdadera por NNP, con lo cual se pueden reducir los costos de alimentación (22, 48, 63) dado que el precio del NNP es muy inferior al precio del nitrógeno proteico.

Una revisión realizada por Oltjen (41), establece que en novillos de carne se debe esperar una reducción del 35 por ciento en el crecimiento, eficiencia de utilización del alimento y retención de nitrógeno cuando la sustitución de proteína por urea es total. Similares resultados se encuentran al extrapolar los resultados obtenidos por Villegas y Ruíz (63), quienes reportan disminuciones lineales en la ganancia de peso a medida que el nivel de NNP se incrementa en la ración en sustitución de la proteína. Tendencias semejantes fueron encontradas por Clavo (12) en un experimento en que se usó la urea para lograr niveles de 0 hasta 72 por ciento del nitrógeno total en forma de NNP. La ganancia de peso promedio fue de 0,835 kg/animal/día, la cual fue inferior en un 12,5 por ciento a la respuesta obtenida por Villegas y Ruíz (63).

En consideración de las ganancias de peso posibles de obtener aún cuando se usen altos niveles de urea, pareciera que el efecto negativo de la urea sobre el consumo, observado por varios autores (21, 22, 47, 50, 52) no tuvo mucha influencia en los trabajos de Ruíz et al. (53) y Clavo (12). Es probable que tanto el efecto negativo de la urea sobre el consumo como su efecto tóxico se hayan reducido a un mínimo por el método de adaptación empleado por estos autores.

Debido a la rápida formación de  $\text{NH}_3$  procedente de la urea, es necesario utilizar una fuente de carbohidratos fácilmente fermentable (21, 41, 51) ya que la habilidad de los microorganismos del rumen para sintetizar proteína depende de la disponibilidad simultánea de energía y nitrógeno (21, 50). Aparentemente, la cantidad de proteína microbiana sintetizada no es suficiente para llenar completamente los requisitos de animales en producción intensiva (51), por lo que sería necesario adicionar una pequeña proporción de proteína de alto valor biológico. Sin embargo, Burroughs et al. (6) señalan que la urea es más eficientemente utilizada cuando el nivel de proteína natural es menos de 13 a 14,5 por ciento del NDT requerido. Estas proporciones son básicamente iguales a las calculadas en base a los requisitos recomendados por el NRC (38).

Por lo expuesto anteriormente, se deduce la importancia que tiene la urea como fuente de NNP en los sistemas de alimentación. Considerando el costo muy inferior del N de la urea en relación al N proteico, la importancia de la urea radicaría en dos aspectos fundamentales: a) su bajo costo y fácil consecución en el mercado, y b) aún y cuando se obtiene una reducción en la ganancia de peso, en relación a la obtenida con proteína verdadera, esta se vería altamente compensada con un aumento en el beneficio económico.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización del estudio.

El presente trabajo se realizó en la Finca Oriente, propiedad del señor Carlos Manuel Rojas, la cual se encuentra ubicada en Atirro de Turrialba, Costa Rica. Atirro está localizado en una zona tropical húmeda (29), con una altura de 600 m sobre el nivel del mar. La temperatura promedio anual es de 22°C, la precipitación pluvial de 3.000 mm por año y la humedad relativa promedio es de 90 por ciento.

#### 3.2 Animales y manejo.

Se utilizaron 49 novillos encastados Brahman, de una edad promedio inicial de 2 años y un peso de 300 kg. Los novillos fueron confinados en cinco corrales con piso de concreto y cercas de madera. El espacio por animal fue de 10 m<sup>2</sup>. Excepto el tratamiento con el mas bajo nivel de melaza, que contó con 9 animales, los restantes tratamientos tenían 10 animales cada uno. La alimentación fue diaria y por grupo y en proporción al peso vivo, de acuerdo a los tratamientos a que se sometieron.

La adaptación de los animales al consumo libre de punta de caña y a los niveles de melaza se realizó gradualmente durante un período de solo 10 días, dado que los animales estaban adaptados al consumo de melaza y urea. En los dos tratamientos con los mas bajos niveles de melaza, el suministro de la punta de caña picada y la mezcla de melaza

con harina de carne y hueso, y urea, fue en forma conjunta, con el fin de evitar problemas de intoxicación a causa de la alta concentración de urea en la mezcla en estos tratamientos.

Todos los animales fueron inicialmente desparasitados internamente con Ripercol <sup>a/</sup>. Se aplicó intramuscularmente 4 cc por animal de un complejo vitamínico <sup>b/</sup>. Además, todos los animales fueron implantados con el anabólico Ralgro <sup>c/</sup>. El programa de sanidad consistió únicamente en la aplicación de una vacuna para inmunizar a los animales contra el Antrax.

El trabajo tuvo una duración de 94 días, siendo 10 días para la adaptación y manejo, y 84 días de fase experimental.

### 3.3 Diseño y tratamientos.

Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar con cinco tratamientos los que se presentan en el Cuadro 1. Las raciones empleadas fueron isonitrogenadas, proporcionando 350 g de proteína cruda/100 kg de peso vivo. Esta cantidad de proteína fue proveída parcialmente por la punta de caña y melaza, siendo el resto suministrada por un suplemento a base de harina de carne y hueso, y urea, a razón de 33 y 67 por ciento del nitrógeno suplementario, respectivamente.

---

a/ Producto Bayer.

b/ Cada cc = 500.000 U.I. vit. A; 75.000 U.I. vit. D<sub>3</sub> y 50.000 U.I. vit. E.

c/ Producto de CSC-Intercontinental.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.

Trata- miento <u>a/</u>	Alimentos, kg de MS/100 kg de peso vivo.			Niveles energéticos <u>b/</u>	Nivel pro- teico apro- ximado <u>c/</u>
	Punta de caña	Harina de carne y hueso	Urea		
0,097	<i>ad libitum</i>	0,167	0,052	0,738	0,350
0,286	" "	0,170	0,050	1,366	0,350
0,545	" "	0,154	0,048	2,190	0,350
0,907	" "	0,174	0,053	3,418	0,350
1,388	" "	0,182	0,056	5,059	0,350

a/ Niveles de melaza, kg de MS/100 kg de peso vivo.

b/ Energía proveniente de la melaza y harina de carne y hueso, Mcal de E.M./100 kg de peso vivo.

c/ Se consideran los aportes de N de la melaza, harina de carne y hueso, punta de caña y urea, kg de P.C./100 kg de peso vivo.

### 3.4 Recolección de datos.

3.4.1. Consumo de alimento. Todas las cantidades indicadas en el Cuadro 1, fueron ofrecidas para ser consumidas totalmente en cada tratamiento. En el caso de la punta de caña, el consumo fue medido diariamente, mediante la diferencia entre lo ofrecido y rechazado, en base seca.

3.4.2. Ganancia de peso. Los animales fueron pesados al inicio de la fase experimental y luego cada 14 días durante todo el período experimental. Los pesos obtenidos se utilizaron para estimar la ganancia

diaria por regresión lineal simple sobre los días transcurridos en el experimento. Además, los pesos obtenidos cada 14 días se utilizaron para realizar los ajustes necesarios en cuanto a las cantidades de los componentes de la ración a alimentar en cada tratamiento, por cada 100 kg de peso vivo. Para este efecto, se tomaba el último peso y se añadía la ganancia de peso esperada hasta la mitad del período de alimentación. Este peso promedio resultante se tomaba como base para el cálculo de las cantidades de alimentos.

3.4.3. Eficiencia de utilización del alimento. La eficiencia de conversión del alimento (E.C.) a ganancia de peso, se estimó mediante la relación de los kg de materia seca consumidos y los kg de peso ganados durante el período experimental por cada tratamiento:

$$E.C. = \frac{\text{kg de M.S. consumidos}}{\text{kg de peso ganados}}$$

3.4.4. Análisis de los alimentos. Se efectuaron análisis proximales para la punta de caña, siguiendo el método Weende, con el fin de detectar los cambios en materia seca y proteína cruda provocados por la edad de corte y variedad de la caña de azúcar utilizada. Estos análisis se realizaron cada 14 días durante todo el período experimental. También se analizaron los demás ingredientes en muestras compuestas. Los resultados se muestran en el Cuadro 1A (Apéndice).

3.4.5. Análisis estadístico. El análisis de variancia para la ganancia de peso se realizó de acuerdo al siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1,2,3,4,5. \\ j = 1,2,\dots,49. \end{array}$$

donde:  $Y_{ij}$  = ganancia de peso, kg/animal/día.

$\mu$  = media general.

$\tau_i$  = efecto de los niveles de melaza.

$\epsilon_{ij}$  = error experimental.

Además se realizaron estudios de relación entre los niveles de melaza y (1) la ganancia de peso; (2) el consumo total de materia seca; (3) el consumo de punta de caña ; (4) la eficiencia de utilización del alimento y (5) la eficiencia de utilización de la energía y proteína total, según las siguientes funciones:

(1) Para la relación entre consumo de melaza y la ganancia de peso:

$$Y_1 = a - be^{-cX}$$

donde:  $Y_1$  = ganancia de peso, kg/animal/día

$X$  = consumo de melaza, kg M.S./animal/día.

$a$  = ganancia de peso máxima cuando  $X \longrightarrow \infty$ .

$b$  = diferencia entre la ganancia de peso máxima y la intersección, cuando  $X = 0$ .

$c$  = coeficiente de regresión.

- (2) Para la relación entre el consumo de melaza y consumo de materia seca total:

$$Y_2 = a - b_1X + b_2X^2$$

donde:  $Y_2$  = consumo total de M.S., kg/animal/día.

$X$  = consumo de melaza, kg M.S./animal/día.

$a$  = consumo de materia seca, cuando  $X = 0$ .

$b_1$  y  $b_2$  = coeficientes de regresión.

- (3) Para la relación entre consumo de melaza y consumo de punta de caña:

$$Y_3 = a - be^{-c/X}$$

donde:  $Y_3$  = consumo de punta de caña, kg M.S./animal/día.

$X$  = consumo de melaza, kg M.S./animal/día.

$a$  = consumo de punta de caña, cuando  $X = 0$ .

$b$  = diferencia entre el consumo de punta de caña cuando  $X \rightarrow \infty$  y el valor de  $a$ .

$c$  = coeficiente de regresión.

- (4) Para la relación entre consumo de melaza y eficiencia de utilización del alimento, se dividió la función  $Y_2$

entre la función  $Y_1$ :

$$Y_4 = \frac{a - b_1X + b_2X^2}{a - be^{-cX}}$$

donde:  $Y_4$  = conversión del alimento, kg M.S. consumido/kg de ganancia de peso.

$Y_1$  = función de ganancia de peso, kg/animal/día.

$Y_2$  = función de consumo de alimento, kg/animal/día.

(5) Para la relación entre consumo de melaza y eficiencia de utilización de la energía y proteína total, se emplearon las siguientes funciones:

$$Y_5 = a - b_1X + b_2X^2$$

donde:  $Y_5$  = eficiencia de conversión energética, Mcal E.M./kg de ganancia de peso.

$X$  = consumo de melaza, kg M.S./animal/día.

$a$  = valor de  $Y_5$ , cuando  $X = 0$ .

$b_1$  y  $b_2$  = coeficientes de regresión.

Para la eficiencia de utilización de la proteína cruda en función del consumo de melaza, se utilizó la siguiente función:

$$Y_6 = a - be^{-c/X}$$

donde:  $Y_6$  = eficiencia de conversión proteica, kg de P.C./kg de ganancia de peso.

$X$  = consumo de melaza, kg M.S./animal/día.

$a$  = máximo valor de  $Y_6$ , cuando  $X = 0$ .

$a-b$  = mínimo valor de  $Y_6$  con altos niveles de melaza.

$c$  = coeficiente de regresión.

3.4.6. Análisis económico. Los costos diarios se calcularon de acuerdo a los insumos por animal por día para cada tratamiento. Para ello se registraron los costos variables representados por los consumos de punta de caña, melaza, urea y harina de carne y hueso (Cuadro 2A). No obstante que el rubro de medicinas, veterinario y mano de obra también son costos variables, en el experimento no ocurrieron diferencias entre tratamientos y para los efectos de cálculo en el presente trabajo este rubro se consideró como parte de los costos fijos (Cuadro 3A), juntamente con los costos de alquiler, administración y otros.

El beneficio neto obtenido se determinó mediante la siguiente ecuación general:

$$\text{B.N.} = \text{Ingresos} - \text{Costos fijos} - \text{Costos variables}$$

Debido a que los ingresos y costos variables dependen del nivel de melaza, la fórmula también se puede expresar como sigue:

$$\text{B.N.} = K_1 Y_1 - K_0 - (K_2 Y_2 + K_3 Y_3 + K_4 Y_4 + K_5 Y_5)$$

donde:  $Y_1$  = ganancia de peso, kg/animal/día en función del nivel de melaza/100 kg de peso vivo.

$Y_2$  = consumo de melaza, kg M.S./animal/día, en función del nivel de melaza/100 kg de peso vivo.

$Y_3$  = consumo de punta de caña, kg M.S./animal/día, en función del nivel de melaza/100 kg de peso vivo.

$Y_4$  = consumo de harina de carne y hueso, kg M.S./animal/día, en función del nivel de melaza/100 kg de peso vivo.

$Y_5$  = consumo de urea, kg M.S./animal/día, en función del nivel de melaza/100 kg de peso vivo.

$K_0$  = costos fijos, U.S. \$/animal/día.

$K_1$  = precio de venta del ganado, U.S.\$/kg en pie.

$K_2$  = precio de la melaza, U.S.\$/kg de M.S.

$K_3$  = precio de la punta de caña, U.S.\$/kg de M.S.

$K_4$  = precio de la harina de carne y hueso, U.S.\$/kg de M.S.

$K_5$  = precio de la urea, U.S.\$/kg de M.S.

Aunque las relaciones  $Y_1$  y  $Y_3$  fueron de tipo exponencial, estas ecuaciones no permiten una solución matemática de la derivativa de B.N., igualada a cero, a fin de obtener el valor del nivel de melaza que permita el máximo B.N. Por lo tanto, las funciones  $Y_1$ ,  $Y_2$  y  $Y_3$  se obtuvieron usando modelos lineales de primer y segundo grado. Las ecuaciones  $Y_4$  y  $Y_5$  no dependieron perceptiblemente del nivel de melaza y se consideraron como constantes. La función de B.N. específicamente empleada en este estudio fue:

$$\begin{aligned} \text{B.N.} = & K_1(a_1 + b_1X - b_{11}X^2) - K_0 - K_2(a_2 + b_2X) - K_3(a_3 - \\ & b_3X + b_{33}X^2) - K_4a_4 - K_5a_5 \end{aligned}$$

donde:  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$  y  $K_5$  tienen las mismas definiciones esta-

blecidas arriba.

$$a_1 + b_1X - b_{11}X^2 = Y_1$$

$$a_2 + b_2X = Y_2$$

$$a_3 - b_3X + b_{33}X^2 = Y_3$$

$$a_4 = Y_4$$

$$a_5 = Y_5$$

Y en las que:  $a_1 \dots a_5 =$  constantes.

$b_1, b_{11}, b_2, b_{22}, b_3,$  y  $b_{33} =$  coeficientes de regresión.

$X =$  nivel de melaza, kg M.S./100 kg de peso vivo.

La derivativa se igualó a cero y se despejó  $X$  a fin de obtener el valor en el cual el beneficio neto se maximiza, quedando la expresión:

$$X = \frac{K_1b_1 - K_2b_2 + K_3b_3}{2(K_1b_{11} + K_3b_{33})}$$

En estas funciones ya se ha considerado el signo de los coeficientes de regresión.

Finalmente, el valor de  $X$  resultante se sustituyó en la función del beneficio neto a fin de cuantificar el máximo beneficio. También se obtuvo la relación  $\frac{\text{Beneficio neto}}{\text{Inversión total}} \times 100$ , con el objeto de detectar la máxima eficiencia.

La inversión total incluye los costos fijos y variables. Los costos fijos en estos estudios económicos no incluye el interés sobre el capital invertido, evitándose así el tener que decidir sobre una tasa específica de interés sobre el capital para propósitos del análisis

económico. Este procedimiento, que excluye el interés sobre el capital, permite la comparación directa de la eficiencia económica contra cualquier otra alternativa de inversión.

## 4. RESULTADOS

## 4.1 Incrementos de peso por día.

Los promedios de ganancia de peso/día para los diferentes niveles de melaza se presentan en el Cuadro 2. La ganancia de peso promedio general fue de 0,903 kg/animal/día, siendo el rango de 0,681 a 1,119 kg/animal/día.

Cuadro 2. Promedios de ganancia de peso por día

Tratamientos <u>a/</u>	Consumo de melaza, kg MS/animal/día	Número de animales	Incremento de peso, kg/animal/día
0,097	0,358	9	0,681
0,286	0,952	10	0,729
0,545	1,860	10	0,912
0,907	3,290	10	1,075
1,388	4,998	10	1,119
			$\bar{Y} = 0,903$

a/ Niveles de melaza, kg H.S./100 kg de peso vivo.

Observando los promedios de ganancia de peso por tratamiento, se nota que a medida que el nivel de melaza aumenta, los incrementos de peso son mayores. El efecto del nivel de melaza sobre la ganancia de peso se ilustra en la Figura 1 y se determinó por la siguiente ecuación:

$$Y_1 = 1,24 - 0,67e^{-0,37X}, R^2 = 0,97 (P \leq 0,05)$$

donde:  $Y_1$  = ganancia de peso, kg/animal/día.

$X$  = consumo de melaza, kg/animal/día.

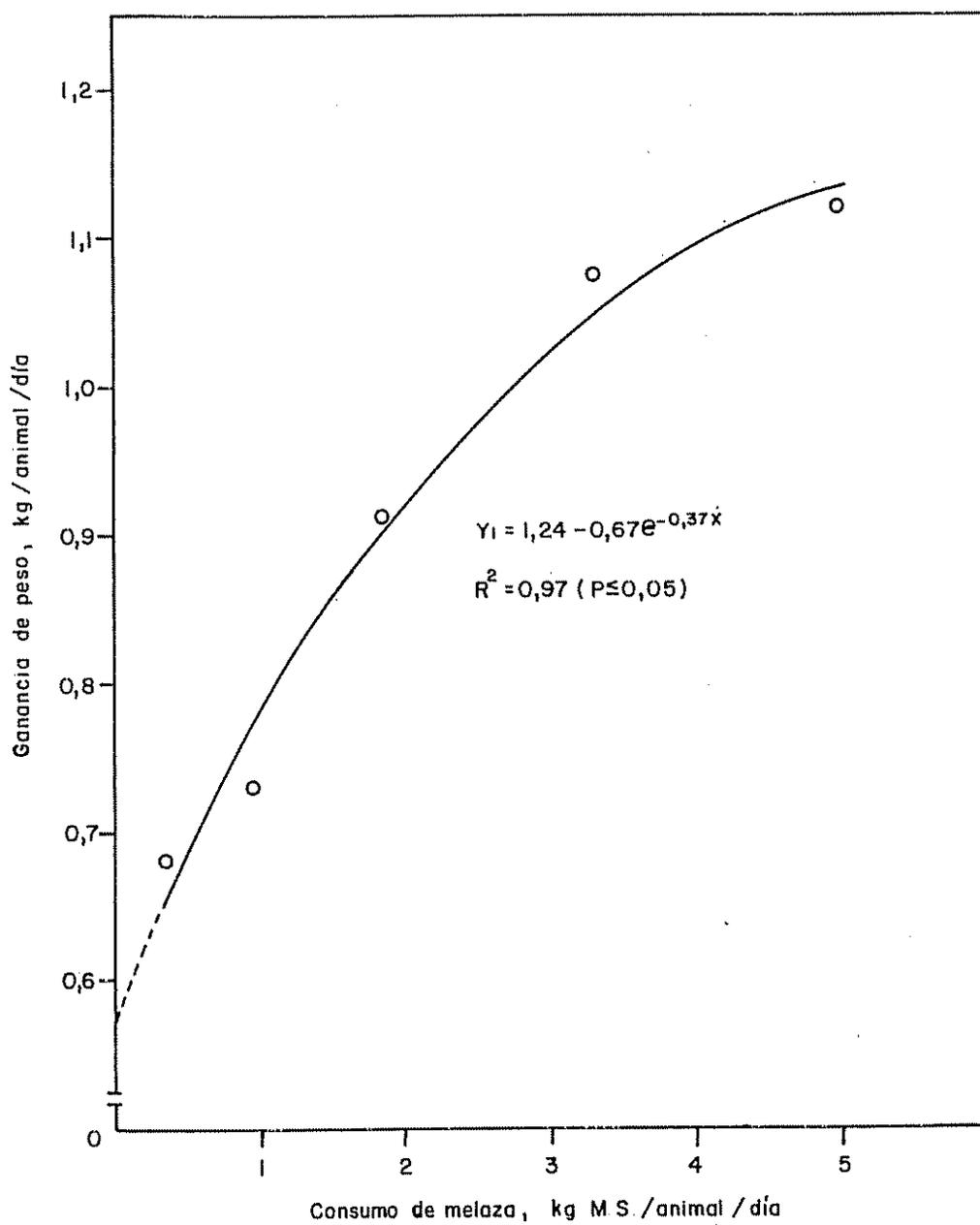


Fig.1 Efecto del nivel de melaza (X) sobre la ganancia de peso (Y1)

El análisis de variancia (Cuadro 3) para los incrementos de peso mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Este análisis se calculó utilizando el método descrito por Steel y Torrie (57) para tratamientos con desigual número de observaciones.

Cuadro 3. Análisis de variancia para ganancia de peso

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio <sup>a/</sup>
Tratamientos	4	0,377**
Regresión exponencial	2	0,732**
Desviación del modelo	2	0,0225
Error experimental	44	0,037

<sup>a/</sup> Debido a que la desviación del modelo no fue significativa, "Regresión Exponencial" se probó contra la combinación de Desviación del Modelo + Error Experimental (Cuadrado medio = 0,0361)

\*\* Altamente significativo (  $P \leq 0,01$  )

#### 4.2 Consumo de alimento.

4.2.1. Materia seca. El consumo total de materia seca guardó una relación curvilínea con los niveles de melaza. El consumo disminuyó con incrementos en el nivel de melaza desde 0.35 hasta 1.65 kg de M.S. de melaza y luego aumentó con niveles mayores de melaza (Cuadro 4).

Cuadro 4. Consumo de materia seca, energía y proteína

Trata- miento <sup>a/</sup>	Consumo de M.S. kg/animal/día			Urea	Total	Consumo de	
	Melaza de caña	Purita de caña	Harina de carne			energía <sup>b/</sup> Mcal E.M./ animal/día	proteína <sup>c/</sup> cruda, kg/ animal/día
0,097	0,658	7,310	0,682	0,227	8,577	17,01	1,315
0,285	0,952	6,670	0,603	0,202	8,432	17,54	1,190
0,545	1,860	5,430	0,634	0,211	8,135	18,22	1,207
0,907	3,290	4,630	0,678	0,225	8,883	21,62	1,278
1,388	4,998	4,660	0,634	0,211	10,503	27,00	1,265

<sup>a/</sup> Niveles de melaza, kg M.S./100 kg de peso vivo/día.

<sup>b/</sup> Se incluye la energía proveniente de la harina de carne, punta de caña y melaza.

<sup>c/</sup> Se incluye la P.C. proveniente de la harina de carne, punta de caña, urea y melaza.

La función que describe el efecto del nivel de melaza sobre el consumo de materia seca total (Figura 2) es la siguiente:

$$Y_2 = 8,80 - 0,665X + 0,202X^2 ; R^2 = 0,99 \quad (P \leq 0,01)$$

donde:  $Y_2$  = consumo de M.S. total, kg/animal/día

$X$  = consumo de melaza, kg M.S./animal/día

Nótese que la variable  $X$  está expresada en proporción al animal/día y no por cada 100 kg de peso vivo/día. Por lo tanto, la respuesta  $Y_2$  se expresa por animal/día. El objeto de esta modificación es el permitir la obtención directa de la curva de eficiencia de conversión a presentarse mas adelante.

4.2.2. Punta de caña. El aumento en consumo de materia seca total fue debido al aumento en el consumo de melaza únicamente, dado que el consumo de punta de caña disminuyó con aumentos en el nivel de melaza. Además, no existió necesidad de alterar significativamente los niveles de harina de carne y urea, ya que los aportes proteicos conjuntos de la melaza y de la punta de caña se mantuvieron mas o menos constantes. La función  $Y_3$  cuantifica la relación entre el consumo de melaza y el de punta de caña:

$$Y_3 = 7,472 - 3,925e^{-1,3/X}$$

donde:  $Y_3$  = consumo de punta de caña, kg MS/animal/día

$X$  = niveles de melaza, kg MS/animal/día

Esta función se grafica en la Figura 3.

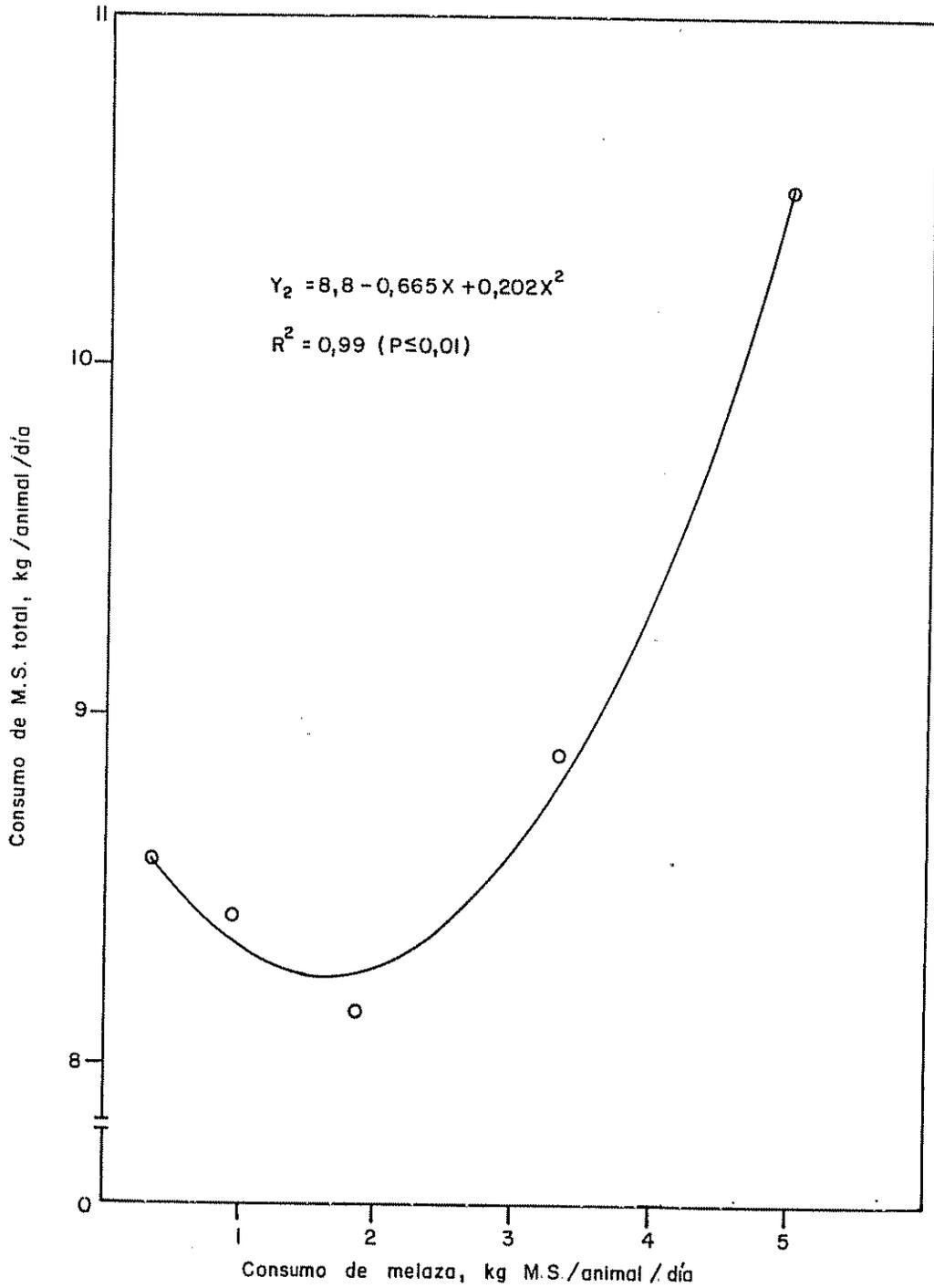


Fig.2 Efecto del nivel de melaza(X) sobre el consumo total de materia seca (Y<sub>2</sub>)

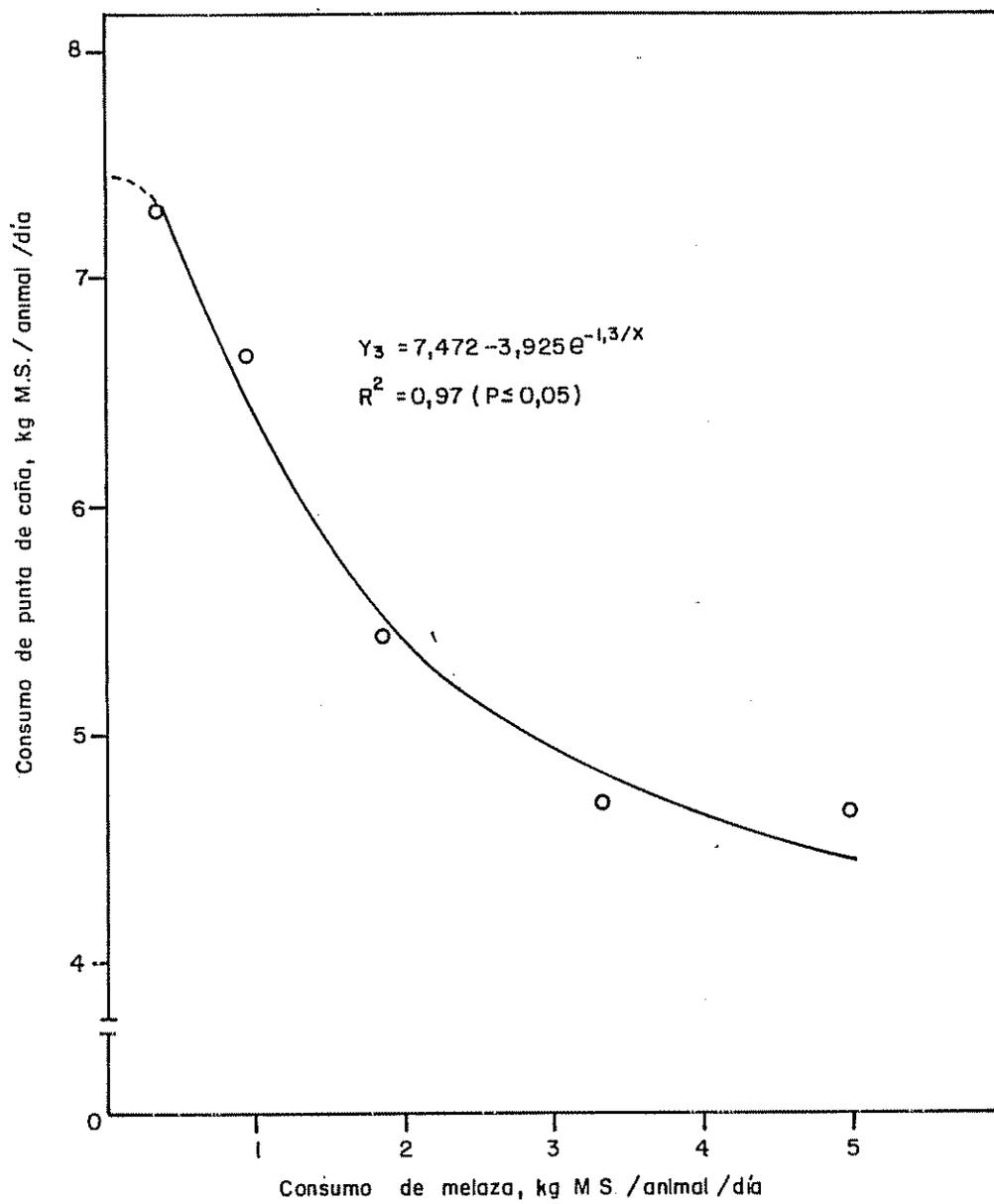


Fig. 3 Efecto del nivel de melaza (X) sobre el consumo de punta de caña (Y3)

4.2.3. Energía. Como resultado del efecto de la melaza sobre el consumo total y en particular sobre el consumo de punta de caña, a medida que la energía proveniente de la melaza aumentaba, la energía proveniente de la punta de caña disminuía. Estas observaciones se han tabulado en el Cuadro 4A, donde se nota que el incremento energético de la melaza de 0,32 a 4,6 Mcal de E.M./100 kg de peso vivo, corresponde a disminuciones energéticas de la punta de caña de 3,8 a 2,5 Mcal de E.M./100 kg de peso vivo. Dado que estas relaciones no fueron equitativas, el consumo total de energía metabolizable aumentó con incrementos en el nivel de melaza (Cuadro 4).

#### 4.3 Eficiencia de conversión del alimento.

La relación entre el consumo de M.S. total y la ganancia de peso, se obtuvo mediante la proporción:

$$Y_4 = \frac{Y_2}{Y_1} = \frac{8,80 - 0,665X + 0,202X^2}{1,24 - 0,67e^{-0,37X}}$$

donde:  $Y_4$  = conversión del alimento, kg de alimento/kg de ganancia de peso,

$Y_2$  = función de consumo de M.S. total.

$Y_1$  = función de ganancia de peso.

$X$  = niveles de melaza, kg M.S./animal/día.

La función  $Y_4$  se ilustra en la Figura 4, donde se observa que

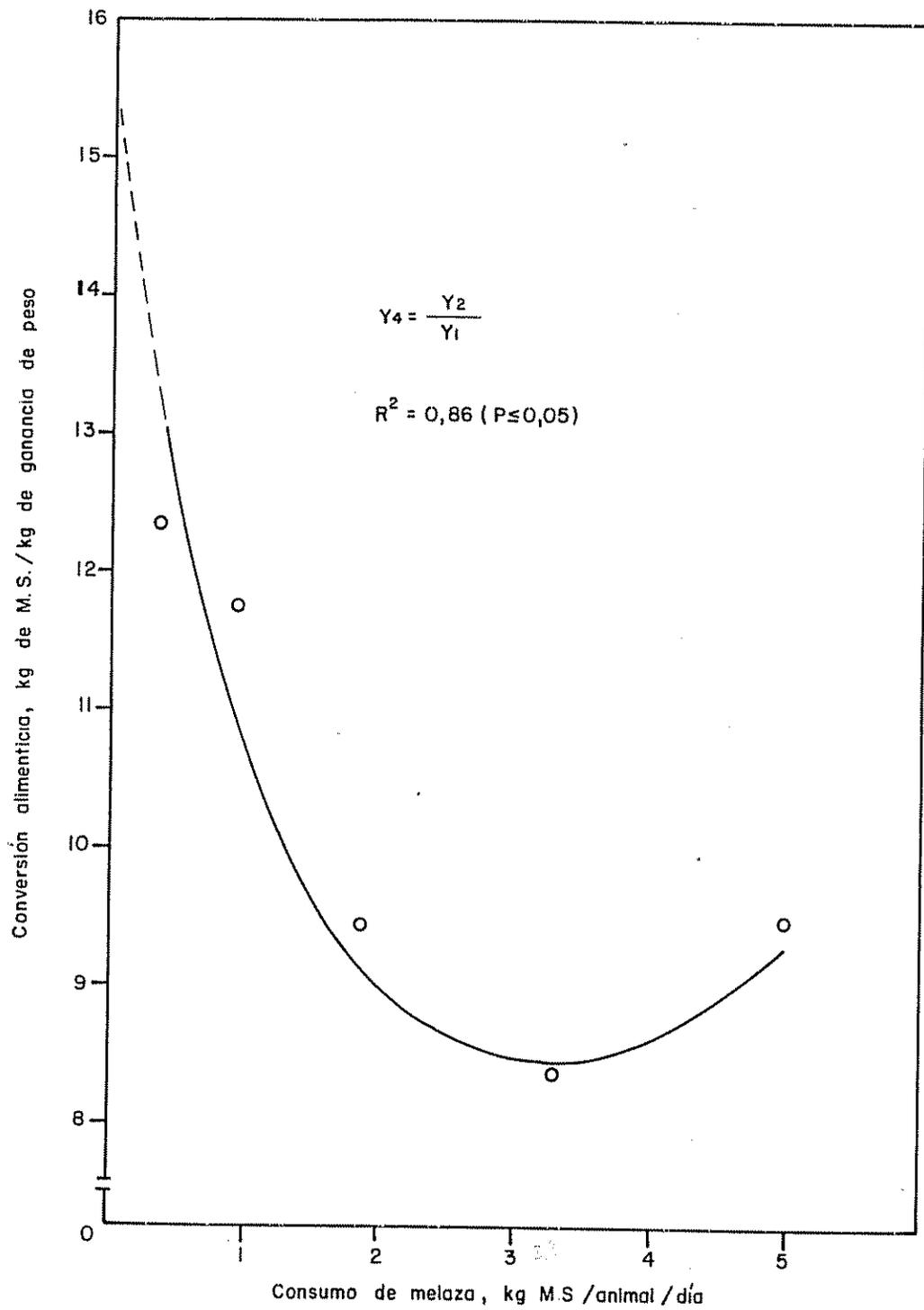


Fig. 4 Efecto del nivel de melaza (X) sobre la eficiencia de conversión alimenticia (Y4)

con un consumo de melaza de 3,3 kg de M.S./animal/día se obtiene la mejor conversión del alimento. Niveles mayores o menores a este valor disminuyen la eficiencia de conversión.

#### 4.4 Eficiencia de conversión de la energía y proteína total.

El efecto del nivel de melaza sobre la eficiencia de utilización de la energía (Figura 5A) remeda lo observado en la Figura 4 que relaciona la eficiencia de conversión de la M.S. total a ganancia de peso. Esto es debido a que, en general, el consumo de energía y el consumo de M.S. total aumentaron a medida que aumentaban los niveles de melaza (Cuadro 4). Por lo tanto, los valores de conversión también siguen tendencias similares (Cuadro 5).

Cuadro 5. Eficiencia de conversión de alimento a ganancia de peso.

Trata- miento <u>a/</u>	Conversión de M.S. total kg/kg	Conversión energética <u>b/</u> Mcal EM/kg	Conversión proteica <u>c/</u> kg/kg
0,097	12,32	25,0	1,89
0,286	11,75	24,1	1,67
0,545	9,43	20,0	1,40
0,907	8,36	20,1	1,20
1,388	9,48	24,2	1,14

a/ Niveles de melaza, kg M.S./100 kg de peso vivo/día.

b/ Mcal E.M./kg de ganancia de peso.

c/ Kg de P.C./kg de ganancia de peso.

La pequeña discordancia que existe entre el punto en que se obtiene la mejor eficiencia energética (2,84 kg de M.S. de melaza/animal/día) en comparación con el punto en que se optimiza la eficiencia de conversión de la M.S. total, es debida a que los cambios en consumo de M.S. y de energía no son exactamente paralelos. La función que describe la eficiencia de conversión energética es:

$$Y_5 = 27,276 - 5,306X + 0,938X^2$$

donde:  $Y_5$  = eficiencia de conversión energética:

$$\frac{\text{Consumo de energía, Mcal E.M./animal/día}}{\text{Ganancia de peso, kg/animal/día}}$$

$X$  = nivel del consumo de melaza, kg M.S./animal/día.

En contraste, la curva que ilustra los cambios en la eficiencia de utilización de la proteína cruda (Figura 5B) tiende a alcanzar un valor asintótico. La explicación reside en el hecho que el consumo de proteína cruda se mantuvo relativamente constante a través de los tratamientos (Cuadro 4A) ya que la ganancia de peso (Figura 1) también tiende a alcanzar un valor asintótico. El nivel de melaza en el cual se obtiene un valor cercano al máximo de eficiencia proteica fue de 4,5 kg de M.S./animal/día, en el cual se necesitaría 1,12 kg de P.C./animal/día para producir un kg de ganancia diaria de peso.

La relación entre consumo de melaza y eficiencia de conversión de proteína consumida a ganancia de peso, se expresa mediante la siguiente función:

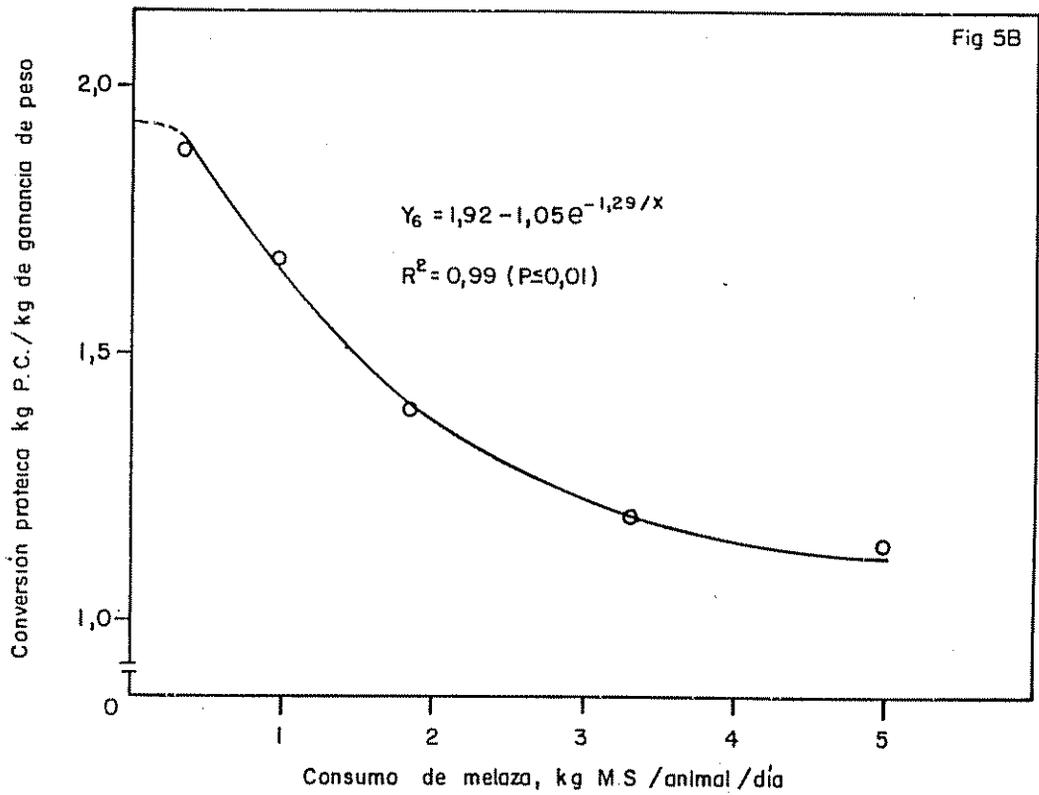
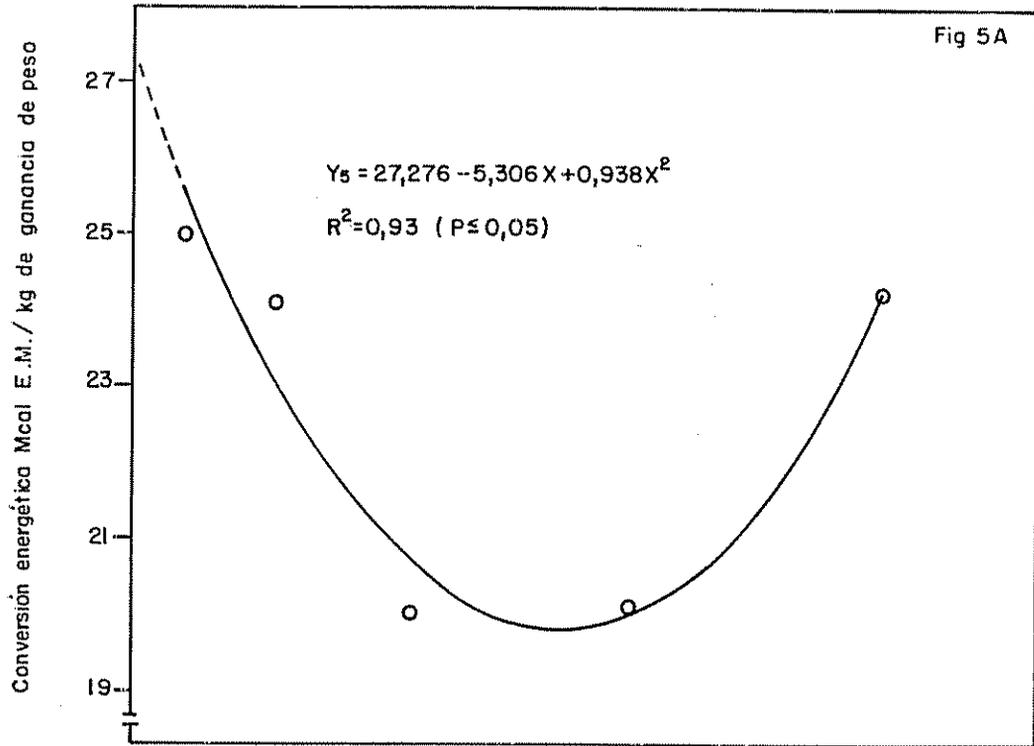


Fig. 5 Efecto del nivel de melaza (X) sobre la eficiencia de utilización de la energía ( $Y_5$ ) y proteína total ( $Y_6$ )

$$Y_3 = 1,29 - 1,05e^{-1,29/X}$$

donde:  $Y_6$  = eficiencia de conversión proteica:

Consumo de P.C., kg/animal/día

Ganancia de peso, kg/animal/día

X = nivel del consumo de melaza, kg M.S./animal/día

#### 4.5 Análisis económico.

Con el fin de realizar los cálculos para el análisis económico, se tomaron en cuenta las cantidades reales del alimento consumido, kg/animal/día y por tratamiento (Cuadro 4), además del precio por kg de M.S. de cada uno de los insumos utilizados (Cuadro 2A).

Las cantidades consumidas de cada ingrediente se relacionaron matemáticamente con el nivel de consumo de melaza, mediante funciones relativamente sencillas según se explicó en la sección "Materiales y Métodos".

Cada función de consumo fue multiplicada por el precio del ingrediente respectivo. La suma de estas funciones de costo fue añadida al costo fijo y restadas de la función de ingreso (ganancia de peso multiplicada por el valor de un kg en pie: U.S. \$0,61). Este procedimiento se ilustra en la Figura 6. La función de beneficio neto resultante se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{B.N.} = & K_1 (0,58 + 0,75X - 0,26X^2) - K_0 - K_2 (-0,034 + 3,62X) \\ & - K_3 (7,95 - 5,82X + 2,48X^2) - K_4 (0,647) - K_5 (0,215) \end{aligned}$$

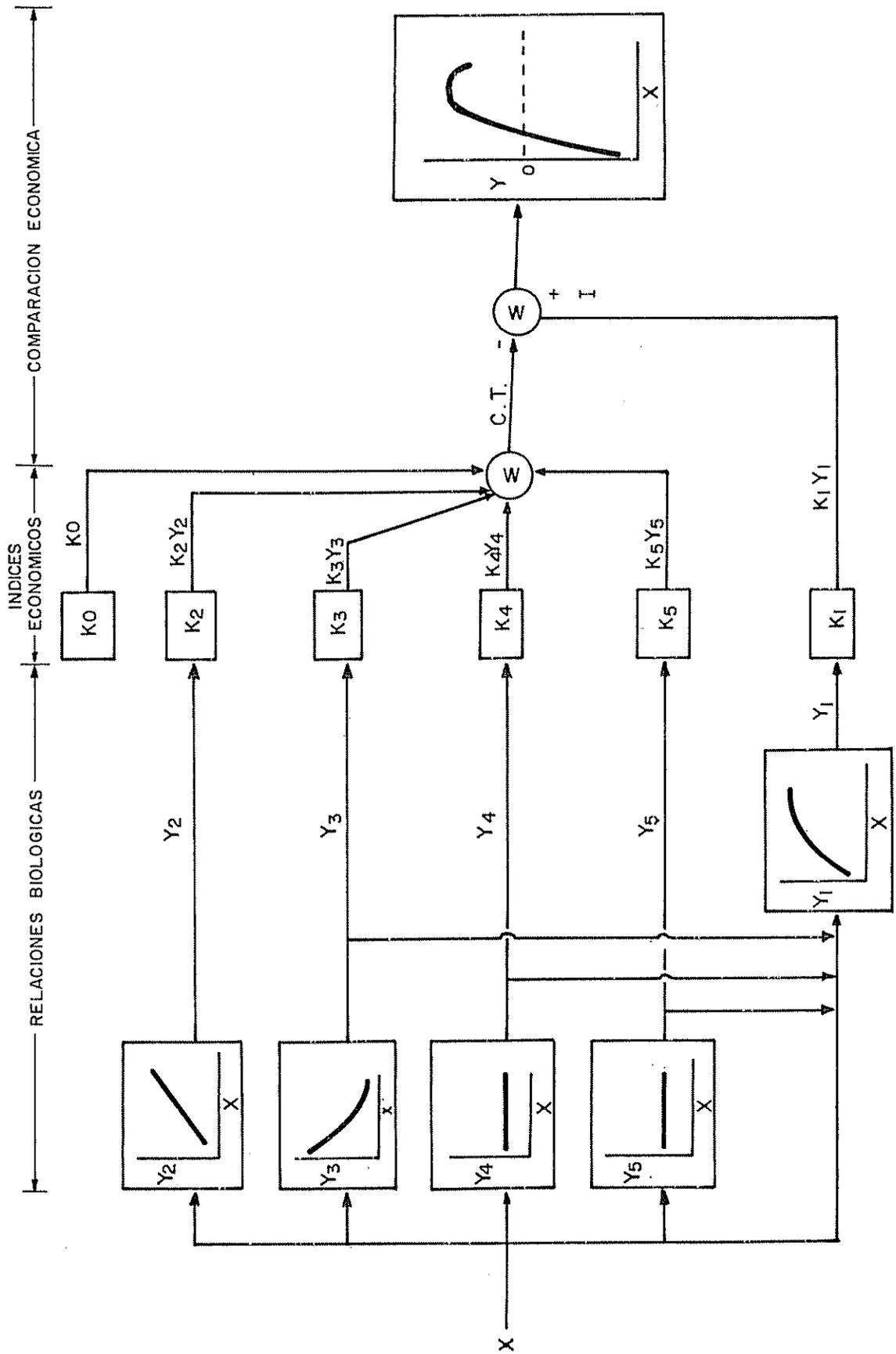


Fig. 6 Diagrama representando las causas y efectos biológicos y económicos en un sistema de alimentación dependiente del nivel de melaza en condiciones de consumo *ad libitum* de punta de caña

Donde, en las condiciones actuales de Costa Rica, los valores de las K's (U.S.\$/kg) serían:

$$\begin{array}{lll} K_0 = 0,06 & K_2 = 0,044 & K_4 = 0,22 \\ K_1 = 0,61 & K_3 = 0,025 & K_5 = 0,22 \end{array}$$

Esta función predice que con los índices económicos usados, el máximo beneficio neto se obtiene cuando:

$$X = \frac{K_1(0,75) - K_2(3,62) + K_3(5,82)}{2(K_1 0,26 + K_3 2,48)} = 1,016 \text{ kg de melaza base seca/100 kg de peso vivo/día}$$

Esta expresión permite calcular el óptimo beneficio neto en cualquier momento en que cambien los índices económicos (valores de las K's).

Las definiciones de los símbolos empleados aparecen en la sección de "Materiales y Métodos", con excepción de los siguientes:

C.T. = costos totales, U.S.\$/animal/día.

I = ingresos, U.S.\$/animal/día.

Y = beneficio neto, U.S.\$/animal/día.

La Figura 7 ilustra los cambios que ocurren en el beneficio neto en función del nivel de melaza consumido/100 kg de peso vivo/día.

Además de mostrar el punto en donde ocurre la optimización, 1,016 kg de melaza en base seca/100 kg de peso vivo/día (equivalente aproximadamente a 3,5 kg de melaza en base seca/animal/día), también es importante notar que los puntos en que los costos totales son iguales al ingreso bruto (B.N. = 0) ocurren cuando el nivel de melaza es de 0,226 ó 1,780 kg de M.S./100 kg de peso vivo/día.

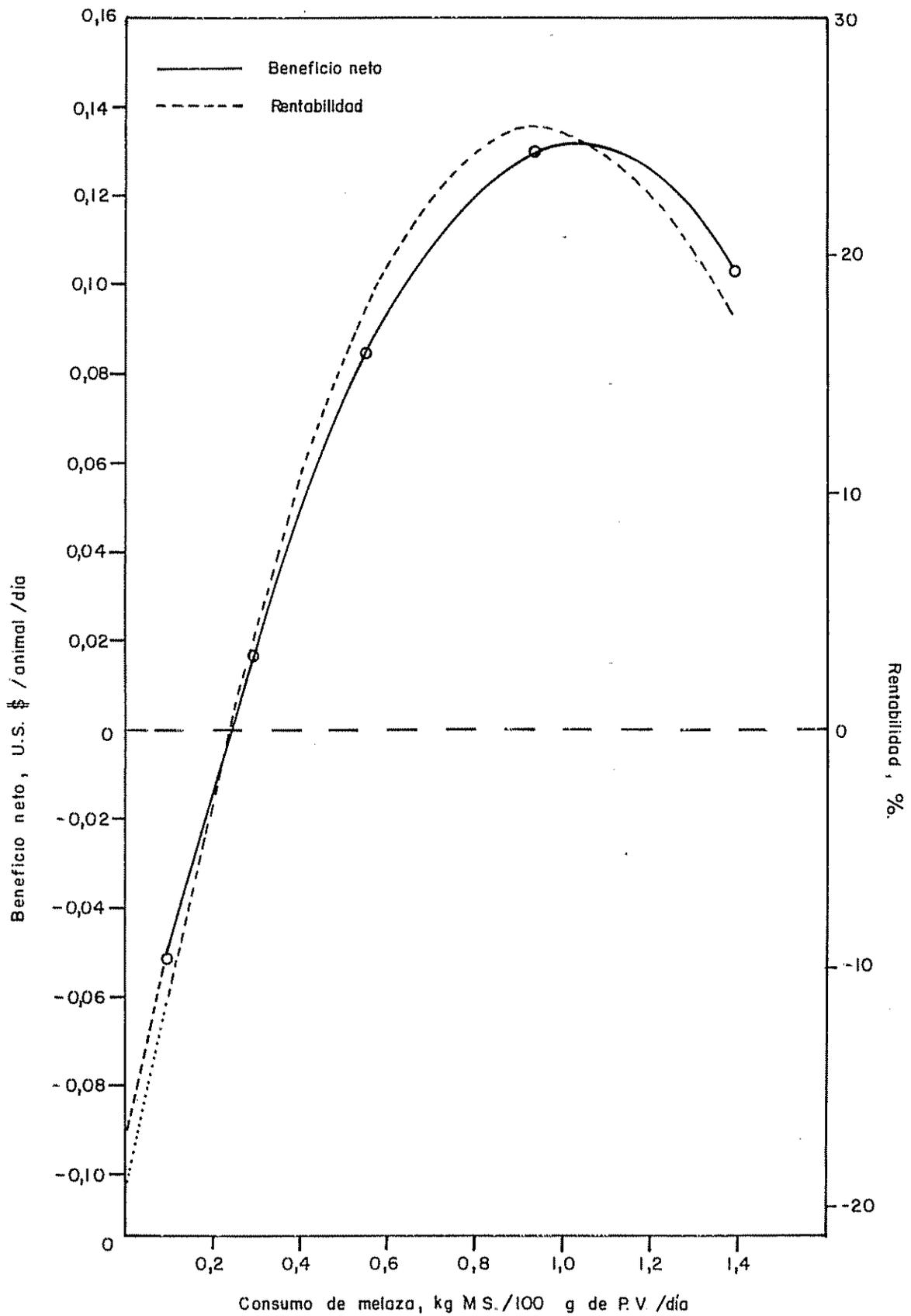


Fig.7 Beneficio neto/animal/día y rentabilidad en función de los niveles de melaza

En la Figura 7 también se ha graficado la curva de rentabilidad obtenida mediante la proporción  $\frac{\text{Beneficio neto}}{\text{Costos totales}} \times 100$ . Comparada con la curva de beneficio neto, la curva de rentabilidad predice maximización cuando el nivel de melaza es de 0,960 kg de M.S./100 kg de peso vivo/día.

## 5. DISCUSION

### 5.1 Relación Insumo - Producto.

En la relación entre el consumo de melaza y el consumo de M.S. total resaltan dos aspectos que son claramente discernibles: el primero es que con los incrementos iniciales en el nivel de melaza, el consumo de M.S. total disminuye, y el segundo aspecto, consiste en un rápido aumento en el consumo de M.S. total en respuesta a aumentos en el nivel de consumo de melaza (Figura 2).

Desde el punto de vista general, el primer caso es explicable en parte por una disminución en el consumo de punta de caña a medida que ocurrían aumentos en el consumo de melaza. Este fenómeno también ha sido observado por otros autores (55, 56) y se conoce como efecto sustitutivo (3). Sin embargo, la reducción en el consumo de punta de caña fue mayor que lo esperado por una simple sustitución por el consumo de melaza. Es posible que el fenómeno de sustitución de M.S. no tiene que ser exactamente lineal pero también es posible que otros factores hayan influido en este caso. Como consecuencia de la sustitución, el consumo de energía tiende a ser constante con los niveles bajos de melaza (Cuadro 4).

En el segundo caso, el consumo de M.S. total aumenta rápidamente con incrementos en el nivel de melaza. Esto ocurre a pesar que el consumo de punta de caña continúa disminuyendo, aunque con menor rapidez que en el primer caso, y tiende a alcanzar un valor asintó-

tico (Figura 3). Como resultado de este efecto, el consumo de energía también aumenta rápidamente (Cuadro 4). Varios investigadores (2, 14, 16, 37, 64), han encontrado una relación lineal entre los consumos de energía y de M.S. con el valor nutritivo del alimento, hasta cierto punto después del cual el consumo de energía tiende a mantenerse constante y por lo tanto el consumo de M.S. debe disminuir con incrementos en el valor nutritivo de la ración. En el presente trabajo el valor nutritivo del alimento total se asume que fue aumentando a medida que se aumentaba el nivel de melaza, dado que este ingrediente es totalmente fermentable. Según Montgomery y Baumgardt (37), la relación directa entre el consumo, tanto de energía como de M.S., y el valor nutritivo del alimento estaría regulado por la capacidad de llenado del rumen, el cual a su vez es función de la velocidad de paso de la digesta. La tendencia a mantener el consumo de energía constante, después de cierto nivel nutritivo del alimento, obedecen a regulaciones químico y termostáticas. Se ha calculado que este nivel crítico está alrededor de 70 por ciento de digestibilidad del alimento (37).

Según la explicación ofrecida en el párrafo anterior, el esquema de regulación del consumo de M.S. y energía falla en explicar el primer aspecto descrito al inicio de esta sección, o sea, la disminución del consumo a pesar de aumentos en la digestibilidad total de la ración impartida por la melaza. Es de hacer notar, sin embargo, que en el presente trabajo la punta de caña fue dada *ad libitum* permitiendo selectividad cuantitativa por parte del animal. Revisando los tra-

bajos previamente mencionados (14, 16, 37, 64), se encuentra que el factor selectividad no formó parte de las condiciones experimentales; es decir, que las raciones que se ofrecieron a los animales fueron mezclas completas difiriendo únicamente en su valor nutritivo. Con esta diferencia ya establecida, se puede argumentar que tal como se indicó anteriormente, con los niveles iniciales de melaza ocurrió un fenómeno predominantemente de sustitución del consumo de la punta de caña. Sin embargo, la reducción en el consumo de punta de caña es más pronunciada que lo que dicta una sustitución simple e implicaría que la capacidad de llenado del rumen se reduce con los primeros incrementos de melaza. Es así, como la curva del consumo de M.S. total (Figura 2) muestra un descenso inicial.

Una explicación lógica de una reducción en la capacidad de consumo sería una disminución en la digestibilidad del alimento total, tal como lo indica Blaxter (4). Si la digestibilidad de la ración total disminuyó, esta debe haber sido causada por una importante disminución en la digestibilidad de la punta de caña, la cual a su vez sería causada por la presencia de la melaza. Esta posibilidad se ve reforzada por otras investigaciones en las que se ha detectado una disminución en la digestibilidad de la fibra cuando el animal consume un alimento rico en almidones (28) o en azúcares (22, 51). Algunos (5, 59) han propuesto que esta disminución en digestibilidad de la fibra es debida a una modificación

en la composición microbiana ruminal, haciéndola menos efectiva en su actividad celulolítica. Como consecuencia de la disminución de la digestibilidad de la punta de caña, la velocidad de paso de esta a través del rumen disminuiría, y por lo tanto, la capacidad de consumo de punta de caña también disminuiría (4, 11).

La disminución en la digestibilidad y del consumo de punta de caña necesariamente causaría una disminución en la cantidad de energía derivada de este material. Sin embargo, la magnitud del aporte energético de la melaza contrarresta la disminución en la energía proveniente de la punta de caña. Es mas, se obtiene, aparentemente, un beneficio neto, dado que también ocurre un aumento en la ganancia de peso (Figura 1) durante la fase referida.

La explicación previamente ofrecida modificaría en cierto grado el modelo propuesto por Montgomery y Baumgardt (37) y tendría la ventaja adicional, de considerar efectos interactivos entre alimentos de naturaleza diferente.

La interacción de la melaza con la utilización de la punta de caña tendería a desaparecer con mayores niveles de melaza. Es así que la curva de consumo de punta de caña tiende a alcanzar un valor asintótico. En esta situación se esperaría que la digestibilidad de la punta de caña también tendería a un valor constante. Consecuentemente, el valor nutritivo de la ración total sería directamente proporcional al nivel de melaza suministrado y aumentaría la velocidad

de paso de la ración a través del rumen. Por lo tanto, el aumento en el consumo total de M.S. que se ilustra en la Figura 2, es completamente lógico. Obviamente, el consumo de energía también se incrementa (Cuadro 4). Como resultado de los incrementos en el consumo de energía, la ganancia de peso (Figura 1) continúa aumentando correspondientemente.

El esquema delineado en la Figura 8 se basa en las relaciones biológicas encontradas en el presente trabajo y en una curva teórica de digestibilidad de la punta de caña, basada en resultados de otros investigadores ya señalados. La Figura 8 representa una modificación del modelo de Montgomery y Baumgardt (37) para la fase del consumo voluntario regulado por la distensión del rumen.

Finalmente, es necesario indicar que los consumos de M.S. fueron adecuados para condiciones de confinamiento y variaron desde 2,3 hasta 2,9 kg de M.S./100 kg de peso vivo. Al igual que otros investigadores (13, 15, 24, 60), se observó que el animal acepta la punta de caña como alimento básico, aunque aún resta por delucidar en qué formas físicas se puede suministrar este material sin que se causen reducciones en el consumo.

Las ganancias de peso se consideran relativamente altas, especialmente si se comparan con ganancias de peso comúnmente obtenidas en sistemas de engorda con altos niveles de melaza. Por ejemplo, trabajos en el que el nivel de pasto verde es restringido

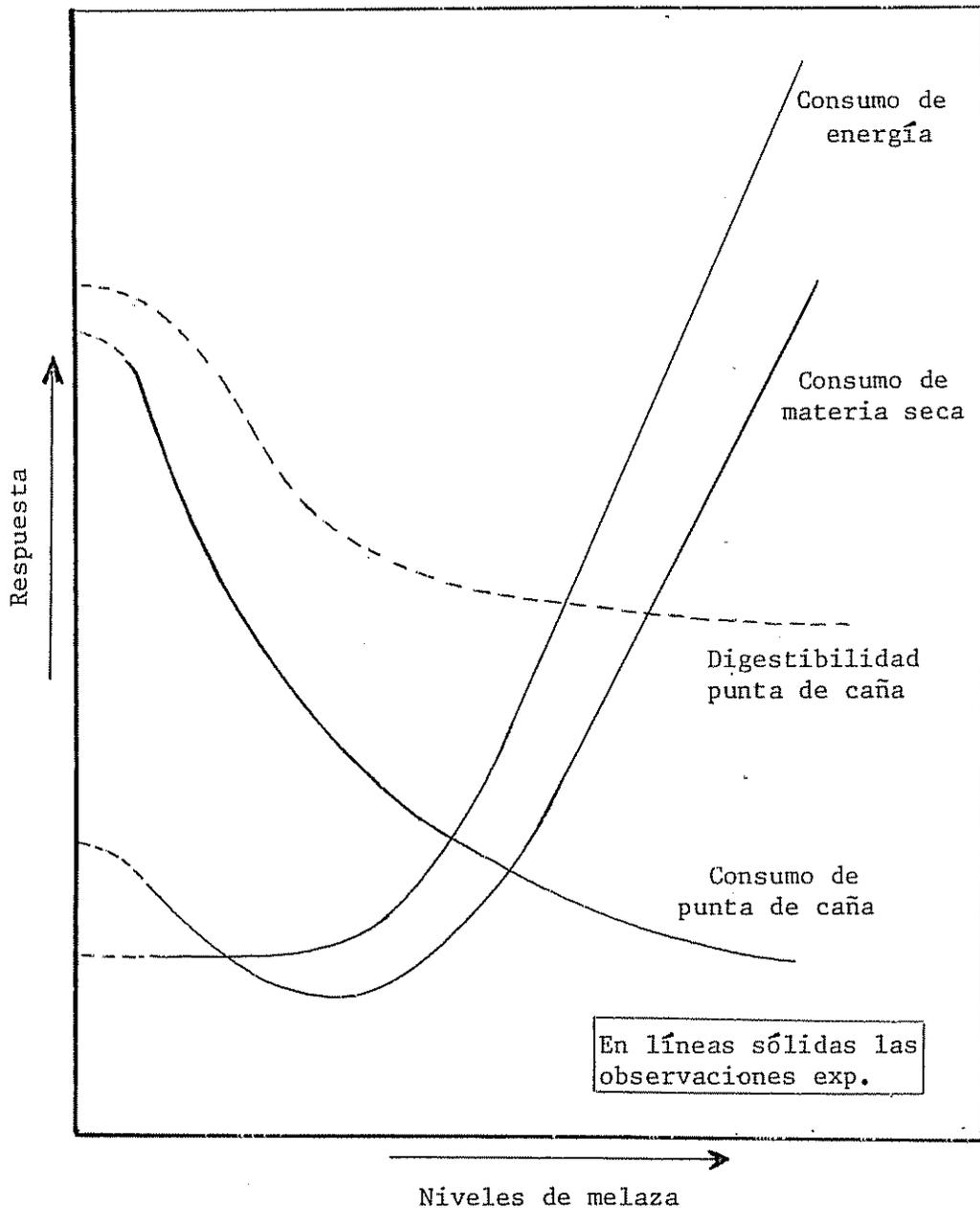


Fig. 8 Modificación propuesta del modelo sobre el consumo de alimento en rumiantes regulado por el llenado del rumen.

(9, 19, 20) las ganancias de peso han sido de 0,720 a 0,830 kg/animal/día. En el trabajo de Clavo (12), el cual se realizó bajo las mismas condiciones físicas y de manejo que el presente trabajo, se obtuvo una ganancia de peso promedio de 0,835 kg/animal/día, con una alimentación alta en melaza y nivel restringido de bagazo. Basado en estas observaciones, es aparente que la utilización de la punta de caña con una adecuada suplementación energética y proteica permite alcanzar un alto nivel de producción animal.

Considerando que la punta de caña y la melaza tienen niveles similares de proteína, la variación en el nivel de melaza no ocasionó variaciones importantes en el nivel de proteína suplementaria. El consumo de proteína cruda/100 kg de peso vivo/día, se mantuvo a un nivel de 355 g con un rango de variación de 351 a 360 g. Estos niveles son superiores en un 16 por ciento a los recomendados por el NRC (38). Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que una alta proporción de la proteína suplementaria estaba dada por la urea, cuyo valor biológico es muy inferior a cualquier fuente de proteína verdadera. Las recomendaciones del NRC (38) están probablemente basadas en raciones cuyo contenido de NNP aportado por la urea no excedió el 30 por ciento del N total, mientras que en las raciones experimentales la urea proveyó el 60 por ciento del N total.

Para efectos del análisis de la conversión de la proteína total a ganancia de peso (Sección 4.4) se utilizaron los consumos que apa-

recen en el Cuadro 4, mientras que para el análisis económico (Sección 4.5), se utilizó el promedio simple de los consumos de harina de carne y de urea, dada la mínima variabilidad observada en los consumos de cada uno de estos ingredientes.

## 5.2 Eficiencia de utilización de los insumos.

Considerando la alta aceptación que tuvo el ganado para la punta de caña, los valores de eficiencia de conversión de M.S. total a ganancia de peso, son similares a resultados obtenidos con raciones altas o medianamente altas en forraje. Por ejemplo, Oltjen et al. (42) con raciones de 98 por ciento de heno de alfalfa y raciones de 91 por ciento de heno de gramínea, observaron valores de 10,1 y 12,7 kg de M.S./kg de aumento, respectivamente. En contraste, estos mismos autores encontraron que con raciones altas en grano la eficiencia de conversión es de 5,7. Preston y Willis (44) han hecho una extensa revisión sobre los efectos del nivel de forraje y concentrado sobre la eficiencia de utilización de la M.S. En general, los valores revisados demuestran que con raciones en las que el forraje forma más del 50 por ciento de la ración, la eficiencia promedio de conversión es de 8,0 kg de M.S./kg de ganancia de peso. Por otro lado, raciones altas en maíz el promedio de conversión es de 6,3 kg de M.S./kg de ganancia de peso.

La eficiencia de utilización de raciones basadas en melaza son similares a aquellas basadas en cereales. Así, Ochoa (39) encontró

un valor de conversión de 7,3 kg de M.S. por cada kg de ganancia de peso, y Clavo (12) encontró un valor de 6,5 kg de M.S./kg de ganancia de peso.

Los resultados que se ilustran en la Figura 3, indican que la eficiencia de utilización de la M.S. mejora con incrementos en el nivel de melaza, hasta alcanzar un valor de 8,45 kg de M.S./kg de ganancia de peso. Este valor óptimo se obtuvo con un nivel de melaza de 3,3 kg de M.S./animal/día. Con este consumo de melaza, la proporción de forraje a melaza fue de 59:41, o sea en proporciones que quedan dentro del rango revisado por Preston y Willis (44). Nótese que los respectivos valores de conversión son similares.

Con niveles de melaza mayores que 3,3 kg de M.S./animal/día, la eficiencia de conversión tiende a disminuir rápidamente debido a una disminución en la tasa de ganancia de peso, a pesar de un continuado aumento en el consumo total.

La curva de eficiencia de utilización del alimento, es semejante a la curva de eficiencia energética y por lo tanto, el punto en el cual se obtiene la mejor eficiencia energética (2,84 kg de melaza en base seca/animal/día) es similar al punto en el cual se obtiene la mejor eficiencia de conversión de la M.S. total. Según la Figura 5A, el animal requiere 19,77 Mcal de E.M. para realizar una ganancia de 1 kg diario en la forma mas eficiente. Este valor guarda gran similitud con el NRC (38) de 19,75 Mcal E.M./kg de ganancia

cia de peso para novillos de 2 años en fase de terminación, de 350 a 400 kg de peso. Ochoa (39) encontró también un valor óptimo de eficiencia energética de 21,5 Mcal E.M./kg de ganancia, con una ración alta en melaza y bagazo restringido. Martin et al. (36) obtuvo un valor de 20,6 Mcal de E.M./kg de ganancia, cuando restringió el nivel de forraje de maíz a 1,5 kg/100 de peso vivo. Cuando el forraje fue suministrado *ad libitum*, la eficiencia energética disminuyó a 32,8 Mcal E.M./kg de ganancia de peso. Estas fueron las condiciones que también existieron en el presente experimento, es decir, que la punta de caña fue suministrada *ad libitum*. La diferencia entre este último valor y el valor obtenido en el presente trabajo, indicaría que la energía de la punta de caña es más eficientemente utilizada por el novillo en engorda, que la energía de otros forrajes. Aparentemente, la eficiencia energética de la punta de caña es similar a la eficiencia con que se utiliza la energía de la melaza.

La curva de eficiencia proteica (Figura 5B), tiene una forma semejante a la curva de consumo de punta de caña. Esto podría indicar que la proteína contenida en la punta de caña no es tan disponible para el animal como lo es la proteína contenida en la melaza. Es decir, pareciera que la eficiencia de conversión de la proteína a ganancia de peso se mejora mientras menos punta de caña consume el animal. El 41 por ciento de la proteína total de la punta de caña está presente en la pared celular y de esta cantidad, el 27,6 por ciento

está íntimamente ligado a la celulosa y hemicelulosa <sup>a/</sup>. Si se considera a la melaza como contenido celular, todo el N de la melaza sería de naturaleza soluble y por lo tanto completamente disponible para el metabolismo microbiano. De esta comparación entre el N de la punta de caña y el de la melaza se desprende que, en teoría, el aporte proteico de la melaza sería de mayor efectividad que el de la punta de caña. Sin embargo, es de hacer notar que los valores de digestibilidad del N de la melaza comunmente reportados (38) son relativamente bajos.

La menor cantidad de proteína cruda total requerida por kg de ganancia de peso fue de 1,12 kg, con los niveles altos de melaza. Prácticamente, cuando el nivel de melaza es de 4,5 kg de materia seca/animal/día, se llega a obtener un valor casi asintótico de la eficiencia proteica. En este punto, la cantidad de proteína requerida por kg de ganancia de peso es 37 por ciento mayor que lo predecido por el NRC (38), lo cual es probablemente debido a la alta proporción de urea que se empleó en el presente trabajo. Esta posibilidad se ve reforzada por los resultados de Ochoa (39) quien empleó harina de pescado y de soya en raciones altas en melaza y obtuvo una eficiencia de conversión de 0,83 kg de peso vivo/día. Este valor es similar al predecido por el NRC que es de 0,85 kg de P.C./kg de ganancia de peso.

Villegas y Ruíz (63) encontraron que la eficiencia de utilización del N total de la ración disminuía a medida que el porcentaje

---

<sup>a/</sup> M.E. Ruíz. Comunicación personal. 1976.

de urea aumentaba en reemplazo del N proteico. Estos investigadores mantuvieron el nivel de proteína constante en 360 g/100 kg de peso vivo/día. Sin embargo, a pesar de la disminución en eficiencia proteica, debida a aumentos en la proporción de urea, es evidente que ésta debe emplearse en los máximos niveles posibles, ya que su costo es inferior ante los suplementos proteicos y se lograría utilizar al máximo la habilidad de los microorganismos ruminales para realizar síntesis proteica. Hasta qué punto pueda ser práctico, dependerá de investigaciones en las que se logre cuantificar la máxima capacidad sintética de los microorganismos del rumen. Según cálculos teóricos, de Ramírez y Kowalczyk (50) la cantidad de N microbiano sintetizado en el rumen de animales alimentados con raciones altas en miel y urea, es de 2,5 g/100 g de carbohidratos fácilmente fermentables. Además, la eficiencia de utilización de la urea probablemente sea afectada por varios factores, entre los cuales se puede citar el nivel de almidón (28). Desde el punto de vista práctico, el nivel adecuado de urea estaría dictado por la eficiencia económica.

### 5.3 Optimización económica de la relación insumo - producto.

El análisis económico demostró una alta sensibilidad a los niveles de melaza (Figura 6). Sin embargo, desde el punto de vista práctico, podrían ocurrir fluctuaciones en el nivel de melaza entre 0,8 y 1,27 kg de M.S./100 kg de peso vivo/día, sin alterar el beneficio neto máximo mas allá de U.S.\$0,01/animal/día. Es decir que dentro

de este rango, el beneficio neto se puede mantener entre U.S.\$0,12 y 0,13/animal/día. Desde el punto de vista de la rentabilidad, el rango práctico de fluctuación en el nivel de melaza podría ser entre 0,6 y 1,3 kg de M.S./100 kg de peso vivo/día, dentro del cual la Figura 6 predice una rentabilidad entre 20 y 25,5 por ciento. Estos rangos en el nivel de melaza han sido escogidos arbitrariamente por el autor. La decisión sobre la adopción o no de un sistema de engorda basado en estos resultados, dependerá naturalmente de las ventajas o desventajas que puedan encontrarse entre valores de rentabilidad de la Figura 6 y la rentabilidad esperada en otras operaciones de inversión.

Comparado con inversiones en bonos (12 por ciento) u otras alternativas de inversión a plazo fijo en Costa Rica (rentabilidades hasta 18 por ciento) <sup>a/</sup>, es aparente la gran ventaja que posee la engorda de ganado a base de punta de caña. La ventaja es aún mas significativa si se compara contra la rentabilidad actual de una operación de engorda a base de altos niveles de melaza y bagazo, el cual, bajo las condiciones actuales de Costa Rica solo produce entre seis y ocho por ciento de rentabilidad, cuando los costos no incluyen el interés sobre el capital invertido, tal como se hizo con el análisis económico en el presente trabajo.

---

<sup>a/</sup> H.H. Murcia. Comunicación Personal, 1976.

Comparado con cualquier sistema de engorde a base de melaza, un sistema que utilice altas cantidades de punta de caña y reducidas cantidades de melaza, estaría sujeto a menores alteraciones económicas por efecto de cambios en los precios de los alimentos. Esta aseveración se hace tomando en cuenta que la punta de caña no es un alimento que es fácilmente procesado y comercializado, como es el caso de la melaza, y no se esperaría que adquiriera un alto costo. Otra ventaja de un sistema de alimentación a base de punta de caña, sería su disponibilidad al nivel del mediano y pequeño productor, lo cual no es necesariamente cierto en el caso de la melaza, la cual es comercializada directamente por los ingenios.

Finalmente, otro aspecto favorable del empleo de la punta de caña en la alimentación del ganado, es la coincidencia de su producción con la época de menor disponibilidad del pasto.

Las desventajas que presenta la utilización de la punta de caña son los procesos de recolección, transporte, preparación y distribución al ganado. Todos estos factores fueron tomados en cuenta en el análisis económico resultando un costo de adquisición de US\$5,85/T.M. En base a los resultados biológicos de esta investigación, es evidente que el costo de adquisición de la punta de caña es altamente favorable.

Otra limitación en el uso de la punta de caña se refiere al mantenimiento de la misma por períodos largos una vez cortada. En el

presente trabajo, la punta de caña fue ofrecida a los animales dentro de un período que no excedió los dos días. Es probable que con un mayor tiempo de exposición, el valor nutritivo de la punta de caña se vea seriamente afectado. En la zona cálida de Argentina, se ha encontrado que el ganado reduce su aceptación de la punta de caña después de 24 horas de cortada (8). El investigador que realizó este estudio argumentó que este rechazo se debía a la fermentación de la punta de caña, la cual a su vez es debida a su contenido de azúcares.

Partiendo del valor de 0,91 kg de M.S. de melaza/100 kg de peso vivo/día en el cual se obtiene la máxima rentabilidad, y tomando en cuenta las relaciones biológicas encontradas en el presente estudio, el sistema de alimentación óptimo, derivado de este estudio, para la engorda de novillos de 300 hasta 320 kg de peso vivo, sería el siguiente:

Cuadro 6. Sistema óptimo de engorda de novillos a/ a base de punta de caña

Ingredientes	kg/animal/día	
	base seca	al natural <u>b/</u>
Molaza	3,280	4,370
Punta de caña	4,830	20,130
Harina de carne y hueso	0,647	0,710
Urea	0,215	0,215
Sal común	0,029	0,029
Vitaminas y minerales	Según recomendaciones del NRC (38)	

a/ Peso inicial: 300 kg. Peso Final: 420 kg. Edad aproximada: 2 años.

b/ Suponiendo los siguientes valores de M.S.: Melaza, 75%; punta de caña, 24%; harina de carne y hueso, 91%.

Ganancia diaria esperada: 1,041 kg/animal/día.

Eficiencia de conversión esperada: 8,65 kg M.S./kg de ganancia de peso.

Rentabilidad esperada: 25,5% (según índices económicos indicados en los Cuadros 2A y 3A).

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en que se realizó este trabajo y de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que:

1. Los novillos muestran una alta predilección por la punta de caña cuyo consumo está dictado por la capacidad digestiva del animal o por un fenómeno de sustitución por otros alimentos como la melaza.
2. La utilización de la punta de caña con una suplementación energética y proteica adecuada, permite alcanzar un alto nivel de producción animal.
3. La eficiencia de utilización de la ración se maximiza cuando la proporción de punta de caña a melaza es de 59:41, e influye directamente sobre la eficiencia de utilización de la energía total. En contraste, la eficiencia de utilización de la proteína está relacionada inversamente con el consumo de punta de caña.
4. La engorda de novillos con punta de caña *ad libitum* y niveles moderados de melaza es económicamente rentable y superior a otras alternativas de inversión a corto plazo en Costa Rica.
5. Se recomienda realizar estudios de digestibilidad de la punta de caña, con el fin de precisar los factores que controlan su consumo y utilización.

## 7. RESUMEN

Se realizó un estudio con el objeto de establecer relaciones funcionales entre niveles variables de melaza de caña y el consumo *ad libitum* de punta de caña, la ganancia de peso y beneficio económico en novillos de engorda.

Se utilizaron 49 novillos encastados Brahman, de una edad promedio de 2 años y un peso de 300 kg. Los novillos fueron confinados en cinco corrales, con un espacio de 10 m<sup>2</sup>/animal. Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar con cinco niveles de melaza: 0,097, 0,286, 0,545, 0,907 y 1,388 kg de M.S./100 kg de peso vivo/día. Las raciones fueron suplementadas con harina de carne y urea para proporcionar 350 g de P.C./100 kg de peso vivo/día.

El promedio general de ganancia de peso fue de 0,903 kg/animal/día. Se observó un efecto altamente significativo ( $P \leq 0,01$ ) debido a tratamientos. A medida que el nivel de consumo de melaza aumentaba, la ganancia de peso también se incrementaba aunque tendiendo a alcanzar un valor asintótico. La función  $Y_1 = 1,24 - 0,67e^{-0,37X}$  ( $R^2 = 0,97$ ) describe esta relación, en que  $Y_1$  = ganancia de peso, kg/animal/día y  $X$  = consumo de melaza, kg de M.S./animal/día.

El consumo total de M.S. guardó una relación cuadrática con el consumo de melaza, debido a que el consumo de punta de caña disminuyó con aumentos en el consumo de melaza. Se encontró que la función si-

guiente describe adecuadamente el consumo voluntario de punta de caña:  $Y_3 = 7,47 - 3,92e^{-1,3/X}$  ( $R^2 = 0,97$ ) en que  $Y_3$  = consumo de punta de caña, kg de M.S./animal/día y  $X$  = consumo de melaza, kg de M.S./animal/día. La mejor eficiencia de conversión del alimento a ganancia de peso, se obtuvo a un nivel de melaza de 3,3 kg de M.S./animal/día. Con niveles de melaza mayores o menores a este valor, la eficiencia de conversión disminuye.

En cuanto a la eficiencia de conversión de la energía, esta sigue una tendencia similar a la eficiencia de conversión del alimento, debido a que tanto el consumo de energía como el consumo de M.S. total aumentaron en forma similar, a medida que aumentaron los niveles de melaza. Por el contrario la eficiencia de conversión de la proteína tiende a alcanzar un valor asintótico al igual que el consumo de punta de caña, con aumentos en el nivel de melaza.

De acuerdo al análisis económico, el máximo beneficio neto obtenido fue de U.S.\$0,13/animal/día, con una rentabilidad de 24,6 por ciento (en este cálculo no se incluyó el interés sobre el capital invertido). El punto en donde ocurre la optimización fue de 1,016 kg de melaza en base seca/100 kg de peso vivo, equivalente aproximadamente a 3,3 kg de melaza en base seca/animal/día. Los puntos en los cuales los costos totales son iguales al ingreso bruto ocurren cuando el nivel de melaza es de 0,226 ó 1,780 kg de M.S./100 kg de peso vivo/día.

De acuerdo a los resultados obtenidos y bajo las condiciones en

que se llevó a cabo el presente trabajo, se puede concluir que: a) los novillos muestran una alta predilección por la punta de caña cuyo consumo está dictado por la capacidad digestiva del animal y por un fenómeno de sustitución por otros alimentos como la melaza; b) la utilización de la punta de caña con una suplementación energética y proteica adecuada, permite alcanzar un alto nivel de producción animal; c) la eficiencia de utilización de la ración se maximiza cuando la proporción de punta de caña a melaza es de 59:41 e influye directamente sobre la eficiencia de utilización de la energía total, en contraste, la eficiencia de utilización de la proteína está relacionada inversamente con el consumo de punta de caña; y d) la engorda de novillos con punta de caña *ad libitum* y niveles moderados de melaza es económicamente rentable y superior a otras alternativas de inversión a corto plazo en Costa Rica.

## 7a. SUMMARY

A study was conducted in order to establish functional relationships between varying levels of sugar cane molasses and the *ad libitum* intake of cane tops, weight gains and economic benefits in fattening steers.

Forty-nine Brahman-upgraded steers were used. The initial age and weight were, on the average, two years and 300 kg, respectively. The animals were confined to 5 corrals allowing 10 m<sup>2</sup>/animal. A completely randomized design was used with five levels of molasses: 0.097, 0.286, 0.545, 0.907 and 1.388 kg D.M./100 kg liveweight/day. The rations were supplemented with meat and bone meal and urea to provide a total of 350 g C.P./100 kg liveweight/day.

The average daily gain was 0.903 kg/animal. A highly significant treatment effect ( $P \leq 0.01$ ) was observed. As the level of molasses increased weight gains also increased approaching an asymptotic value. At the highest level of molasses. This effect is described by the function  $Y_1 = 1.24 - 0.67e^{-0.37X}$  ( $R^2 = 0.97$ ), where  $Y_1$  = weight gain, kg/head/day and  $X$  = molasses intake, kg D.M./head/day.

The total dry matter consumption was quadratically related to molasses intake due to a non-linear reduction in the consumption of sugar cane tops as the level of molasses increased. The voluntary intake of the cane tops is described by the function  $Y_3 = 7.47 - 3.92e^{-1.3/X}$  ( $R^2 = 0.97$ ) where  $Y_3$  = sugar cane tops

intake, kg D.M./head/day and  $X$  = molasses intake, kg D.M./head/day. The highest efficiency in feed conversion to weight gain was found at a level of 3,3 kg D.M. of molasses/head/day. Deviations from this point caused reductions in feed efficiency.

Feed energy utilization followed a trend similar to that observed for feed conversion due to the general similarity between the dry matter and energy intake curves. In contrast, protein utilization decreased as the level of molasses increased, with a tendency to reach an asymptotic value. This relationship was similar to that described by the function  $Y_3$ .

According to the economic analysis, the maximum net benefit obtained was U.S.\$0.13/head/day, a return of 24.6 per cent (in these calculations, the interest on the total investment was not included). The point at which the optimum net benefit was obtained corresponded to a level of 1.016 kg molasses (D.M.)/100 kg liveweight, or 3,3 kg/head/day. The gross income and total costs were equal when molasses intake was either 0.226 or 1.780 kg D.M./100 kg liveweight/day.

In the light of the results obtained and under the conditions of the experiment, it may be concluded that: a) fattening steers show a high affinity for sugar cane tops, the intake of which is governed by rumen fill and by substitution effects caused by other feeds such as molasses; b) when sugar cane tops are adequately

supplemented with protein and energy, it is possible to reach high levels of animal production; c) the efficiency of feed utilization is maximum when the ratio cane tops ; molasses is 59:41 and exerts a direct influence on energy utilization; in contrast, protein utilization is inversely related with the intake of sugar cane tops; and d) fattening steers with sugar cane tops *ad libitum* and moderate levels of molasses is a profitable operation and exceeds other short-term investment alternatives in Costa Rica.

## 8. LITERATURA CITADA

1. ARGUDIN, O. y ALMAZAN, O. La caña de azúcar como base de la producción intensiva de carne en los trópicos. Cuba Azúcar Oct/dic.:59-73. 1974.
2. BALCH, C.C. y CAMPLING, R.C. Regulation of voluntary food intake in ruminants. Nutrition Abstracts and Reviews 32(3):669-684. 1962.
3. BISSCHOFF, W.V.A., QUINN, E.L., MOTT, G.O. y DA ROCHA, G.L. Supplemental feeding of steers on pasture with protein-energy supplements. New York. IRI Research Institute, 1971. 47 p. (IRI Research Institute no. 35).
4. BLAXIER, K.L. The energy metabolism of ruminants. Hutchinson, London. 1962. 329 p.
5. BOELCKE, C., TORRES, F., CHIFFLET DE VERDE, S. y OVEJERO, F. Suplementación de gramíneas con grano. 2. Sustitución heno-grano y consumo total. 5a. Reunión ALPA (Maracay, Venezuela) 1975. Compendio R-8.
6. BORROUGHS, W., NELSON, D.K. y MERTENS, D.R. Protein physiology and its application in the lactating cow: The metabolizable protein feeding standard. Journal of Animal Science 41(3):933-944. 1975.
7. BUTTERWORTH, H.H., AGUIRRE, E.L. y RIVAS, C.J. Bajacillo de caña de azúcar en engorde de novillos. Memoria ALPA (México) 3:167-168. 1968.
8. CALLIERI, D.A. Contenido proteico del despunte de caña de azúcar. Influencia del calor y el molido sobre la digestibilidad de la proteína. Archivo de Bioquímica, Química y Farmacia. Tucumán, Argentina. pp. 113-121. 1969.
9. CAMPION, E.J. El uso de altos niveles de melaza con tres diferentes proteínas para el crecimiento de toros. Primera parte. AGROS (República Dominicana) 1(10):14-19. 1973.
10. CAMPION, E.J. y SILVESTRE, R. Melaza o Pasto?. AGROS (República Dominicana) 3(21):8,39. 1974.

11. CAMPLING, R.C., FREER, M. y BALCH, C.C. Factors affecting the voluntary intake of cows. 2: The relationship between the voluntary intake of roughages, the amount of digesta in the reticulo-rumen and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract. *British Journal of Nutrition* 15(4):531-540. 1961.
12. CLAVO, N. Respuesta a diferentes niveles de urea por novillos alimentados con melaza y bagazo de caña de azúcar. Tesis Mag. Sci. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. 1974. 45 p.
- 13. COLMENARES, S. Ceba intensiva de novillos con cogollo de caña y concentrados. *Acta Agronómica (Colombia)* 10(2):153-168. 1960.
14. CONRAD, H.R. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: Physiological and physical factors limiting feed intake. *Journal of Animal Science* 25(1):227-235. 1966.
- 15. DIAZ, H.B., LAGOMARSINO, D., PRETTE, I.R. y GRANEROS, I.E. Ensayo de alimentación de novillos para engorde a base de caña de azúcar, heno de alfalfa y urea. *Revista Agronómica, N.O. (Argentina)* 8(3-4):295-315. 1971.
16. DINIUS, D.A. y BAUMGARDT, B.R. Regulation of food intake in ruminants. 6. Influence of caloric density of pelleted rations. *Journal of Dairy Science* 53(3):311-316. 1970.
17. DONEFER, E. Comfith as an animal feed. Documento, Canadian International Development Agency (CIDA), Seminar on sugar cane as Livestock Feed, Barbados. January 1973. 6 p.
- 18. EL USO de los derivados de la caña de azúcar para alimento de ganado. *AGROS (República Dominicana)* 3(17):7-10. 1974.
- 19. ELIAS, A., PRESTON, T.R., WILLIS, M.B. y SUTHERLAND, T.M. Subproductos 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. ELIAS, A., PRESTON, T.R., y WILLIS, M.B. Subproductos de la caña y producción intensiva de carne. 8. El efecto de la inoculación ruminal y de distintas cantidades de forraje sobre el comportamiento de toros cebú cebados con altos niveles de miel/urea. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 3(1):19-23. 1969.
21. ELIAS, A. Mejora de la nutrición animal en el trópico. II. Utilización de los subproductos de la caña de azúcar en alimentación animal: Melaza de caña para la producción de carne de res. Revista Protinal (Venezuela) 20(4): 142-152. 1974.
- ✓ 22. ELIAS, A. Utilización de los subproductos de la caña de azúcar en la alimentación animal. Instituto de Ciencia Animal. Universidad de la Habana, Cuba. 1974. 30 p.
23. FLORES, F. Respuesta bio-económica de novillos de engorda alimentados con diferentes niveles de pulpa de café ensilada y proteína. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1973. 61 p.
- 24. FRONTERA, A.R., VIÑAS, R.C. y MASCARO, P.M. Alimentación de novillos con despunte de caña de azúcar. 1. Comparación de distintas suplementaciones nitrogenadas. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia (Argentina) 43:1-10. 1971.
25. FRONTERA, A.R. y MASCARO, P.M. Alimentación de novillos con despunte de caña de azúcar. II. Comparación de distintos niveles de urea. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia (Argentina) 46:1-10. 1972.
- 26. GARCIA, I. y MATHISON, L.E. Cogollo de caña (*Saccharum officinarum*) digestibilidad y cálculo de nutrientes digestibles totales en ovinos. Centro de Investigaciones Veterinarias, Universidad Centro Occidental (Venezuela) pp. 1-8. 1973.
27. HAVANA UNIVERSITY. Institute of Animal Science Report 1967-1970. La Habana, s.f. 115 p.
- 28. HERRERA, E.E. Engorda de vacas de desecho con subproductos de la caña y diversos niveles de almidón de banano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 46 p.

29. HOLDRIDGE, L.R. Life Zone Ecology. Edición revisada. San José, Costa Rica. Tropical Science Center. pp. 13-17. 1967.
30. JAMES, L.A. Comfith in rations for livestock. Documento, Canadian International Development Agency (CIDA), Seminar on sugarcane as Livestock Feed, Barbados. January 1973. 29 p.
31. KIRK, W.G., PEACOCK, F.M., HODGES, E.M. y McCALEB, J.E. Sugarcane bagasse in fattening rations. Florida Agricultural Experiment Station. Animal Report. 1961. pp. 344-345.
32. KIRK, W.G., PEACOCK, F.M. y DAVIS, G.K. Utilizing bagasse in cattle fattening rations. University of Florida. Agricultural Experiment Station. Bulletin No. 641. 1962. 16 p.
33. LISHMAN, A.W. Puntas de caña de azúcar para el ganado en Natal. Agricultura de las Américas 14(5):47-48, 54-55, 62. 1965.
34. LITTLE, C.O., MITCHELL, Jr., G.E. y POTTER, G.D. Nitrogen in the abomasum of wethers feed different protein sources. Journal of Animal Science 27(6):1722-1725. 1968.
35. LITTLE, C.O. Digestive tract nitrogen and feedlot performance of steers feed soybean meal or urea. Journal of Animal Science 27:1169. 1968. (Compendio).
36. MARTIN, J.L., PRESTON, T.R. y WILLIS, M.B. Intensive beef production from sugar cane. 6. Napier or maize as forage sources at two levels in diets based on molasses/urea. Revista Cubana de Ciencia Agrícola (Eng. ed.) 2(2):175-181. 1968.
37. MONTGOMERY, M.J. y BAUMGARDT, B.R. Regulation of food intake in ruminants. 1: Pelleted rations varying in energy concentration. Journal of Dairy Science 48(5):569-574. 1965.
38. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requeriment of beef cattle. Washington, D.C., National Academy of Science, 1970. 55 p.

39. OCHOA, O.C. Efecto del nivel de proteína y bagazo de caña sobre el crecimiento de toretos alimentados con melaza. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, IICA. 1973. 46 p.
40. O'DONOVAN, P.B. Posibilidades para la alimentación del ganado con subproductos en zonas tropicales. Revista Mundial de Zootecnia 13:32-37. 1975.
41. OLIVJEN, R. Effects of feeding ruminant non-protein nitrogen as the only nitrogen source. Journal of Animal Science 28(5):673-682. 1969.
42. OLIVJEN, R.R., RUMSEY, T.S. y PUTNAM, P.A. All-forage diets for finishing beef cattle. Journal of Animal Science 32(2):327-333. 1971.
43. PETERSSON, G.R. Mejora de la nutrición animal en el trópico. III. Nutrición animal y desarrollo ganadero. Revista Protinal (Venezuela) 21(2):44-53. 1974.
44. PRESTON, T.R. y WILLIS, M.B. Producción intensiva de carne. Primera edición. México, D.F., Diana. 1974. 736 p.
45. PRESTON, T.R., WILLIS, M.B. y ELIAS, A. Subproductos de la caña y producción intensiva de 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(1):33-40. 1967.
46. PRESTON, T.R., WILLIS, M.B. y ELIAS, A. Subproductos de la caña y producción intensiva de la carne. 2. Comparación entre la miel final y la miel rica como suplementos de forraje o concentrados. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 1(1):41-48. 1967.
47. PRESTON, T.R., ELIAS, A. y WILLIS, M.B. Subproductos de caña y producción intensiva de carne. 7. El comportamiento de toros alimentados con altos niveles de miel/urea a distintas concentraciones. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 2(3):263-268. 1968.
48. PRESTON, T.R. Recientes avances en el uso de la caña de azúcar como alimento para ruminantes. AGROS (República Dominicana) 3(23):25-37. 1974.
49. PRODUCCION INTENSIVA de carne a base de melaza y bagazo de caña. Actividades en Turrialba 1(5):3-4. 1973.

50. RAMIREZ, A. y KONALCZYK, J. Síntesis de proteína microbiana en toros jóvenes alimentados con dietas basadas en miel/urea libre de proteína verdadera. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 5(1):21-26. 1971.
51. RAMIREZ, A. La urea y su utilización por los rumiantes. *Revista Popular de Divulgación Agropecuaria, Ministerio de Agricultura (La Habana, Cuba)* 1(3):17-24. 1971.
52. RAMIREZ, A. y SUTHERLAND, T.M. Efecto de la concentración de urea en la miel sobre el consumo alimenticio y metabolismo de N en ganado alimentado con dietas basadas en grano o forraje. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 5(2):181-190. 1971.
53. RUIZ, M.E., OCHOA, C. y VILLEGAS, L.A. Utilización de subproductos en la engorda de ganado de corral. 1. Subproductos de la caña de azúcar. *In. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Séptimo día de Campo Ganadero. Turrialba, Costa Rica, 1973. 20 p.*
54. RUIZ, M.E. Sistemas de alimentación intensiva en corrales de engorda a base de subproductos del trópico. Departamento de Ganadería Tropical. CATIE. 1974. 12 p. (mimeo).
55. RUIZ, E.M. y VOHNOUT, K. El uso de subproductos en la alimentación de bovinos en el trópico. Departamento de Ganadería Tropical. CATIE. 1974. 23 p. (mimeo).
56. RUIZ, M.E. Desarrollo de sistemas intensivos de producción de carne en confinamiento para el trópico. *In. Curso intensivo de Producción Animal con Énfasis en Bovinos. Departamento de Ganadería Tropical. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 1974. 62 p. (mimeo).*
57. STEEL, R.G.D. y TORRIE, J.H. Principle and procedures of statistics. McGraw-Hill. Toronto, London. 1960.
58. TEUNISSEN, H. y VILLARREAL, O. Algunos aspectos de la punta de caña de azúcar como forraje para el ganado. *Técnica Pecuaria en México* 8:53-55. 1966.
59. TORRES, F., BOELCKE, C., OVEJERO, F. y CHIFFLET DE VERDE, S. Suplementación de gramíneas con grano. 1. Digestibilidad de la materia seca y de la pared celular. 5a. Reunión de ALPA (Maracay, Venezuela). 1975. Compendio R-7.

60. TUNDISI, A.G.A., LIMA, F.P. y ROVERSO, E. Ensaio do emprego da ponta de cana como volumoso na engorda de bovinos em confinamiento. Boletim de Industria Animal 25(sin número):33-37. 1968.
61. VALENTE, C.S. Efeito de tres fontes nitrogenadas no crescimento e engorda de bovinos de corte a base de malago. Tese Mag. Sci., Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. 1972. 52 p.
62. VIDAL, H. y LOPEZ, F. Digestibilidad de cogollo de caña fresco, ensilado normal y ensilado enriquecido. Investigaciones Agropecuarias (Lima, Perú) 2(1):41-45. 1971.
63. VILLEGAS, L.A. y RUIZ, M.E. Engorda de ganado con subproductos de caña de azúcar. 2. Sustitución de proteína por urea. 5a. Reunión ALPA (Maracay, Venezuela), 1975. Compendio R-46.
64. WALDO, D.R. Factors that influence roughage intake. Food-stuffs 1967:26. 1967.
65. WORK, S.H. Digestible nutrient content of some Hawaiian feeds and forages. Hawaii Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin No. 4. 1946. 22 p.

A P E N D I C E

Cuadro 1A. Resultados del análisis proximal de los ingredientes alimenticios utilizados (base seca al vacío)

Ingrediente	Periodos a/											
	1		2		3		4		5		6	
	MS	PC	MS	PC	MS	PC	MS	PC	MS	PC	MS	PC
Punta de caña	24	4,26	23	4,22	23	4,0	23	4,42	20	5,0	22	5,30
Harina de carne y hueso	91	47,6										
Urea	100	287										
Melaza	65	3,0										

M.S. = materia seca.

P.C. = proteína cruda.

a/ Cada período es de 14 días.

Cuadro 2A. Costos de alimentación (costos variables) utilizados para el análisis económico, y precio/kg en pie.

Ingrediente	Valor US\$.
Punta de caña	0,025/kilo <sup>a/</sup>
Melaza	0,044/kilo
Urea	0,22/kilo
Harina de carne y hueso	0,22/kilo
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>	
Venta de ganado	0,61/kilo en pie

<sup>a/</sup> En base seca.

Cuadro 3A. Costos fijos utilizados para el análisis económico en base a un centro de engorda para 200 animales.

Administración	2.342,00 US\$./año
Mano de obra	702,57 US\$./año
Alquileres	702,57 US\$./año
Muertes de animales 1%	527,00 US\$./año
Veterinario y medicinas	234,00 US\$./año
Otros	117,00 US\$./año
<hr/>	
Total	4.625,14 US\$./año
Costo fijo/animal/día	0,06 US\$

Cuadro 4A. Consumo de energía y proteína

Trata- mientos <u>a/</u>	Consumo de E.M./100 kg P.V.		Consumo de P.C./100 kg P.V.			
	Punta de caña	Melaza	Total <u>b/</u>	Punta de caña	Melaza	Total <u>c/</u>
0,097	3,80	0,32	4,61	0,090	0,003	0,356
0,286	3,90	0,94	5,26	0,091	0,009	0,360
0,545	3,10	1,80	5,34	0,072	0,016	0,354
0,907	2,50	3,00	5,95	0,059	0,027	0,352
1,388	2,50	4,60	7,51	0,059	0,042	0,351

a/ Niveles de melaza, kg de M.S./100 kg de peso vivo.

b/ Se incluye la energía proveniente de la harina de carne y hueso.

c/ Se incluye la P.C. proveniente de la harina de carne y hueso y urea.