

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACION DE BOVINOS CON BANANO
VERDE SOBRE LA DINAMICA DE SU FERMENTACION RUMINAL**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

Magister Scientiae

por

EDWIN PEREZ GUTIERREZ

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
Departamento de Producción Animal
Turrialba, Costa Rica
1983

DEDICATORIA

A mi esposa Olga por su constante estímulo hacia mi superación profesional.
A Eduardo mi hijo, con el anhelo de que lo aquí descrito contribuya un "poquito" a que pueda disfrutar un mundo mejor.

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su más sincero agradecimiento:

Al Dr. Manuel Ruiz Consejero Principal, por su amistad, acertada dirección en el desarrollo de este trabajo y guía durante mis estudios de posgrado.

Al Ing. Danilo Pezo, por su activa participación en la orientación del presente trabajo, así como por su decisiva influencia en mi formación en el CATIE.

A los Dres. Carlos Chaves y Medardo Lasso por sus valiosas contribuciones y correcciones al presente texto.

Al personal docente del CATIE por sus valiosas enseñanzas.

Al Gobierno de Holanda por el apoyo económico brindado para realizar los estudios de posgrado.

Al Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) por el financiamiento de la fase de investigación.

A mis compañeros de estudios Luis Carlos Galaviz, Oscar Villalobos, Claudio Quirós, François Delinois, Roberto Noguera y muy especialmente a Gonzalo Roldán por haber compartido conmigo parte del trabajo experimental y a Rolando Piskulich por su ayuda en el análisis estadístico de la información.

A Luis Carlos Saborío, asistente de campo, y Alexis Pérez, laboratorista, por su desinteresada colaboración.

A Norma Cascante y Lorena Pereira por el apoyo mecanográfico.

BIOGRAFIA

El autor nació en Heredia, Costa Rica. Culminó sus estudios primarios en 1967 en el Colegio Javier (Panamá) y los secundarios en 1972 en el Colegio Hispanoamericano (Bogotá, Colombia).

En 1976 egresó de la Escuela de Zootecnia, Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica, graduándose como Ingeniero Agrónomo en julio de 1978.

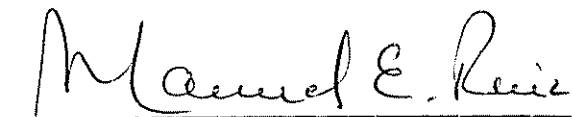
En 1977 se incorporó al cuerpo docente de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como parte del personal adscrito a la Estación Experimental de Ganado Lechero, continuando en el cargo hasta agosto de 1982. Actualmente trabaja como Zootecnista Asistente en el Proyecto CATIE-CIID del Departamento de Producción Animal del CATIE, en Turrialba, Costa Rica.

En marzo de 1979 ingresó como estudiante graduado al Programa de Producción Animal del Sistema de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto Universidad de Costa Rica - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), egresando en marzo de 1981 y obteniendo el grado de Magister Scientiae en agosto de 1983.\

Esta tesis ha sido aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito parcial para optar el grado de

Magister Scientiae

JURADO:



Profesor Consejero

Manuel E. Ruiz, Ph.D.



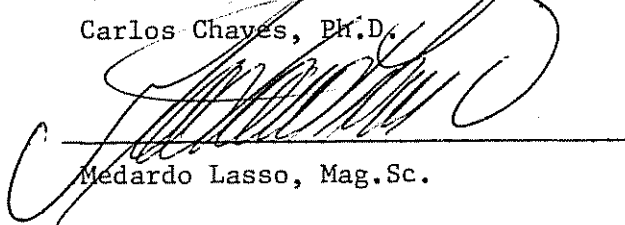
Miembro del Comité

Danilo Pezo, Mag.Sc.



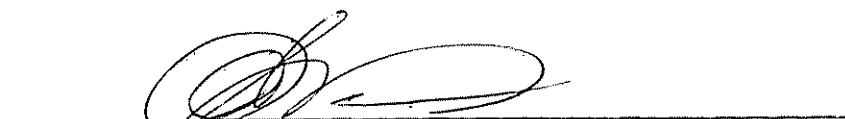
Miembro del Comité

Carlos Chaves, Ph.D.




Miembro del Tribunal

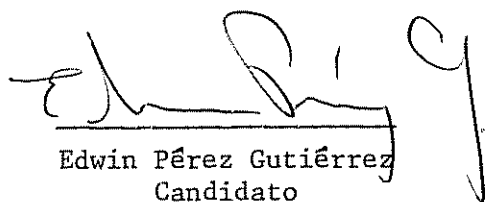
Medardo Lasso, Mag.Sc.



Director, Programa de Estudios de Posgrado en
Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales (UCR-CATIE)



Decano, Sistema de Estudios de Posgrado de la
Universidad de Costa Rica



Edwin Pérez Gutiérrez
Candidato

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN	ix
SUMMARY	xi
LISTA DE CUADROS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Disponibilidad y valor nutritivo de banano verde	3
2.2 Digestión ruminal de banano	4
2.3 Parámetros de fermentación ruminal: Factores que los afectan	5
2.4 Tasa de flujo del líquido ruminal: Factores que la afectan	7
3. MATERIALES Y METODOS	8
3.1 Ubicación del experimento	8
3.2 Animales y su manejo	8
3.3 Tratamientos	10
3.4 Determinación de la degradación <u>in situ</u> del banano	10
3.5 Determinación de parámetros de fermentación ruminal ...	12
3.5.1 pH	12
3.5.2 Concentración de los ácidos grasos volátiles (AGV)	13
3.5.3 Fracciones molares de los ácidos grasos volátiles	13

3.6	Determinación de las tasas de flujo del líquido ruminal	13
3.7	Análisis de la información	14
3.7.1	Digestibilidad y parámetros de digestión	14
3.7.2	Parámetros de fermentación ruminal	16
3.7.3	Tasas de flujo del líquido ruminal	16
4.	RESULTADOS	19
4.1	Digestibilidad de la materia seca de banano	19
4.1.1	Digestibilidad acumulativa de la materia seca de banano (DMS)	19
4.1.2	Tiempo de la digestión media de la materia seca de banano	19
4.1.3	Tasas de digestión de la materia seca de banano	23
4.2	Parámetros de fermentación ruminal	23
4.2.1	pH ruminal	23
4.2.2	Concentración de los ácidos grasos volátiles ...	26
4.2.3	Proporciones molares de los ácidos grasos volátiles.	26
4.3	Tasas de flujo del líquido ruminal	30
5.	DISCUSION	34
5.1	Degradación ruminal de banano verde	34
5.2	Tasas de flujo de líquido ruminal: Efecto del consumo de niveles crecientes de banano verde	38
5.3	Parámetros ruminales: Efecto del consumo de niveles crecientes de banano verde	41
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
6.1	Conclusiones	45

	<u>Página</u>
6.2 Recomendaciones	46
7. LITERATURA CITADA	47
8. APENDICE	54

RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objetivo de medir el efecto de la suplementación con niveles crecientes de banano verde sobre: cambios en digestibilidad y tasas de degradación de materia seca (MS) de banano, pH y tasa de flujo del líquido ruminal, así como producción y fracciones molares de los ácidos grasos volátiles (AGV).

Se utilizaron 6 novillos con fístula ruminal permanente con peso y edad promedio de 325 kg y 27 meses, respectivamente, los cuales se asignaron al azar a seis tratamientos que consistían en diferentes niveles de banano verde (0,0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 y 2,0 kg MS/100 kg PV/día) como suplemento de una ración basal compuesta por punta de caña ad libitum y un suplemento proteico (harina de carne y urea). Todas las raciones fueron iso-proteicas (325 g de PC /100 kg PV/día).

La técnica empleada para la determinación de la degradación acumulativa de la MS de banano en cada nivel de suplementación, fue la de la digestión en el rumen usando bolsas de dacrón. Las muestras de banano fresco se incubaron durante ocho diferentes períodos (2, 4, 6, 8, 12, 19, 24 y 48 horas).

La digestibilidad de la MS de banano (Y_1) en función del tiempo (t), para cada nivel de banano suplementario, estuvo definida por la función

$$Y_1 = \frac{1}{A + Be^{-c_1 t}}$$

Los tiempos de digestión media del banano (Y_2) y sus tasas de digestión

(Y_3), en función de su nivel de consumo (X_1) estuvieron definidas por las funciones $Y_2 = 17,1 - 0,2X_1 + 0,0045X_1^2$ ($R^2 = 0,98$) y $Y_3 = 0,15 - 0,0058X_1 + 0,043X_1^{0,5}$ ($R^2 = 0,93$), respectivamente, donde X_1 = consumo de banano, % del consumo total. El análisis conjunto de estos resultados indica que niveles de suplementación de banano de alrededor del 20% de la dieta total provocan una más rápida degradación ruminal de su materia seca, que a niveles superiores o inferiores.

El pH ruminal (Y_4) descendió linealmente al incrementarse los consumos de banano (X_2), comportamiento que se definió por la función $Y_4 = 6,6 - 0,37X_2$ ($R^2 = 0,70$) donde X_2 = consumo de banano, kg MS/100 kg PV/día. El total de AGV presentes en el licor ruminal no varió por efecto de la suplementación, pero la concentración de ácido butírico se incrementó mientras que la del ácido acético disminuyó. El ácido propiónico mantuvo niveles altos y constantes para todos los niveles de suplementación ($34,6 \pm 3,0\%$).

La tasa de flujo del líquido ruminal (Y_8) se incrementó al elevarse el consumo de banano verde. La función que mejor describió la tendencia fue $Y_8 = 24,9 + e^{0,062 X_1}$ ($R^2 = 0,85$). Sin embargo, las estimaciones de flujo ruminal son inusualmente altas y deben tomarse como flujos aparentes ya que el indicador soluble utilizado (Polietilen glicol) es precipitable en presencia de taninos, compuestos que se encuentran en niveles importantes en el fruto de banano verde.

SUMMARY

The study reported herein was conducted with the objectives of evaluating the effects of feeding different levels of green banana fruits upon a) changes in digestibility, digestion rate and half-time digestion of green bananas dry matter (DM), b) ruminal pH and liquid flow rate, and c) total production and molar proportions of the volatile fatty acids (VFA).

Six rumen-fistulated steers averaging 325 kg and 27 months of age, were fed with sugar cane tops (ad libitum) and six different levels of green bananas: 0.0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2.0 kg dry matter per 100 kg LW per day. Furthermore all rations were made iso-nitrogenous by the use of a supplement containing meat and bone meal and urea providing 325 g of CP/100 kg LW/day.

In order to determine the accumulative degradability of the green banana DM the dacron bag technique was used. Fresh green banana samples were incubated for eight different fermentation times (2, 4, 6, 8, 12, 19, 24 y 48 hours).

The DM digestibility of bananas (Y_1) as a function of time (t) for each level of supplementary bananas, was described by the formula:
$$Y_1 = \frac{1}{A_1 + B_1 e^{-c_1 t}}$$

Half time digestion values (Y_2) and DM digestion rates (Y_3), as a function of supplementary green bananas were defined by the following relationships:

$Y_2 = 17,1 - 0,2x_1 + 0,0045 x_1^2$ ($R^2 = 0,98$) and $Y_3 = 0,15 - 0,0058 x_1 + 0,043 x_1^{0,5}$ ($R^2 = 0,93$) where x_1 = banana DM intake as % of total intake. The integration of

these results indicates that supplementing green bananas at a level of 20% of

the daily dry matter intake promotes a faster degradation rate of its dry matter than does feeding higher or lower proportions.

The ruminal pH (Y_4) decreased linearly as the banana fruit intake increased. The function that describes this behavior was $Y_4 = 6,6 - 0.37x_2$ ($R^2 = 0.70$) where $X_2 = \text{kg banana DM}/100 \text{ kg LW/day}$. The total VFA concentration in the ruminal fluid was not affected by the diets although there was a trend for increasing concentrations of butyric acid and decreasing concentrations of acetic acid as the green banana intake increased. The propionic acid concentration was high and nearly constant ($34,6 \pm 3,0\%$) among rations.

The rumen liquid flow rate (Y_8) was increased as the bananas intake increased. The function that defined the trend was $Y_8 = 24,9 + e^{0,062 x_1}$ ($R^2 = 0,85$). However, the estimates of flow rates are unusually high and should be regarded as apparent flow rates since the water soluble marker used (polyethylene glycol) is precipitable by tannins, compounds that are found in significant levels in green banana fruits.

LISTA DE CUADROS

		<u>Página</u>
<u>En el texto</u>		
<u>Cuadro No.</u>		
1	Composición nutritiva de los ingredientes utilizados en las raciones ,.....	9
2	Digestibilidad potencial del banano verde, según el nivel de banano suplementario	22
3	Parámetros de fermentación ruminal en función del nivel de banano suplementario	25
4	Parámetros de fermentación ruminal en función del tiempo transcurrido luego de la suplementación	25
5	Coefficientes de variación de los parámetros de fermentación ruminal en función del nivel de banano y del tiempo transcurrido luego de la suplementación, %	28
6	Volumen del líquido ruminal y sus tasas de flujo en función del nivel de banano suplementario	30
7	Tiempos de digestión media de varias fuentes de almidón de origen tropical	36
8	Tiempos de digestión media de banano verde fresco en función del nivel de banano suplementario	37
9	Tiempos de digestión media, digestibilidad potencial y tasas de digestión de banano verde y punta de caña obtenidos por la técnica de digestibilidad <u>in situ</u>	40
<u>En el Apéndice</u>		
1A	Consumo de materia seca, proteína cruda y energía metabolizable provenientes de los diferentes componentes de las dietas experimentales durante la prueba de digestibilidad de banano verde	55

2A	Consumo de materia seca, proteína cruda y energía metabolizable provenientes de los diferentes componentes de las dietas experimentales durante la prueba de determinación de parámetros ruminales	56
3A	Consumo de materia seca, proteína cruda y energía metabolizable provenientes de los diferentes componentes de las dietas experimentales durante la prueba de medición de tasas de flujo del líquido ruminal	57
4A	Consumo de materia seca, materia seca de banano, proteína cruda y energía metabolizable en función del peso vivo y peso metabólico durante la prueba de digestibilidad	58
5A	Consumo de materia seca, materia seca de banano, proteína cruda y energía metabolizable en función del peso vivo y peso metabólico durante la prueba de determinación de parámetros ruminales	59
6A	Consumo de materia seca, materia seca de banano, proteína cruda y energía metabolizable en función del peso vivo y peso metabólico durante la prueba de determinación de tasas de flujo del líquido ruminal .	60
7A	Parámetros, sus desviaciones y r^2 de la función que definió la digestibilidad de la materia seca de banano en función del tiempo, para los diferentes niveles de banano suplementario	61

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura No.</u>		<u>Página</u>
1	Digestibilidad acumulada de la materia seca de banano en función del período de fermentación ruminal según el nivel de banano suplementario	20
2	Tiempo de digestión media de la materia seca de banano en función de la proporción de banano verde consumido	21
3	Tasas de digestión de banano verde (MS) en función de la proporción de banano verde consumido	24
4	pH del líquido ruminal en función del consumo de banano verde	27
5	Concentración del indicador soluble PEG, en función de las horas de muestreo post-infusión	29
6	Logaritmo natural de la concentración del indicador soluble PEG en función de las horas de muestreo post-infusión	31
7	Tasas de flujo del líquido ruminal en función de la proporción de banano verde consumido	32

1. INTRODUCCION

El hombre ha mantenido desde épocas pre-históricas una estrecha relación con los rumiantes, obteniendo de ellos alimentos, transporte, tracción, abrigo (pieles, lana), y muchos otros productos. La principal razón del éxito de esta "simbiosis" es el hecho de que los rumiantes consumen alimentos no aprovechables directamente por el hombre, por lo que no existe entre ellos competencia por fuentes de alimentación. Esto ocurre debido a que son capaces de aprovechar polisacáridos y otros constituyentes de la pared celular de plantas (compuestos resistentes a las enzimas digestivas secretadas por mamíferos), gracias a la fermentación pregástrica que ocurre en el retículo-rumen. Esta degradación de carbohidratos estructurales de plantas se da por acción de la micropoblación del rumen, y el bovino aprovecha los productos de este proceso haciendo un uso indirecto de materiales que por sí mismo no puede procesar.

La producción bovina en los países tropicales, basada en gramíneas forrajeras como principal fuente de alimentación, es relativamente baja debido al escaso aporte de nutrientes que las gramíneas hacen tanto al animal en sí, como a la micropoblación ruminal que con él convive. Por ello se ha recurrido a la suplementación tanto proteica como energética con fuentes cuya disponibilidad y costo hagan factible su suministro a bovinos, y que mejoran la nutrición de la micropoblación ruminal y/o del animal en sí.

Entre los suplementos disponibles en el medio tropical para alimentación animal, el banano verde de desecho presenta un gran potencial, no sólo por su valor energético sino por su amplia disponibilidad a través de todo el año. A pesar de ser el banano un material de uso potencial directo por el hombre,

en los países productores la cantidad desechada por no cumplir con los requisitos para exportación es tal que satura el mercado interno para consumo humano, existiendo un remanente que puede utilizarse en alimentación animal.

Existe un vacío de información en cuanto al aprovechamiento que el bovino hace del banano que consume y a los cambios que ese banano provoca a nivel ruminal, por lo que se diseñó el presente trabajo^{a/} cuyos objetivos son los siguientes:

General:

Producir información nutricional complementaria a la ya existente que permita incorporar de manera eficiente el banano como suplemento en sistemas de alimentación de bovinos.

Específico:

Evaluar el efecto de la suplementación con diferentes niveles de banano verde sobre la digestibilidad y tasas de degradación de materia seca de banano, así como detectar su influencia sobre la tasa de recambio del fluido ruminal, la producción total de ácidos grasos volátiles, el patrón de fermentación ruminal y sobre el pH del rumen.

^{a/} Experimento PA-CIID 8010, Proyecto "Sistemas de producción de leche y carne para pequeños productores usando residuos de cosecha" (CATIE-CIID).

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Disponibilidad y valor nutritivo de banano verde

El banano verde de rechazo (Musa acuminata cv. Cavendish) es un material cuya disponibilidad en Costa Rica para alimentación animal se estima en alrededor de 200000 TM por año (56) que representan de 15 a 20 por ciento de la producción total del país (3).

Su composición química lo clasifica como una fuente de energía, con un contenido de almidón que oscila entre 66 y 72 por ciento de la materia seca total (5, 28, 29, 75), siendo la proporción de amilosa/amilopectina de 43 y 57 por ciento del total de almidón respectivamente (23). El contenido de materia seca del banano verde es de $21,6 \pm 0,7$ por ciento (29). Presenta además contenidos de proteína cruda que varían de 5,1 a 6,4 por ciento y de fibra cruda de 2,8 a 3,7 por ciento (5, 8, 23, 28, 29).

La evaluación del banano de desecho como alimento para rumiantes ha incluido pruebas de consumo (56), producción de leche (4, 74) y carne (1, 23, 26) y estudios respecto a su efecto sobre la degradación ruminal de diversos forrajes (34, 53, 60). Las respuestas en producción de leche y carne han sido más evidentes sólo a niveles bajos de suplementación, lo cual puede ser explicado en parte debido a que el banano causa disminuciones en la digestibilidad y la tasa de digestión de la mayoría de los forrajes tropicales fibrosos (34, 60), además del efecto sustitutivo que ejerce sobre el consumo de este tipo de forrajes (60). Este efecto depresor sobre los parámetros digestivos aparentemente no ocurre con forrajes proteicos (53).

El consumo de banano verde por bovinos ha alcanzado valores máximos de hasta 4,2 kg de materia seca por cada 100 kg de peso vivo bajo confinamiento (26), sin grandes variaciones debidas a diferencias en cantidad de forraje y proteína suplementaria ofrecidos. Sin embargo, en otros trabajos los valores más altos de consumo de banano han sido del orden de los 2,0 a 2,5 kg de materia seca por 100 kg de peso vivo por día (34, 53, 60). Bajo pastoreo, el consumo de banano se reduce a valores de alrededor de 1 kg de materia seca por cada 100 kg de peso vivo, manteniéndose el nivel de consumo de banano con cargas animales variables entre 2 y 10 animales por hectárea (75).

2.2 Digestión ruminal de banano

El proceso digestivo a nivel ruminal es un sistema dinámico que incluye tres eventos: el ingreso del alimento consumido y productos reciclados de saliva y pared ruminal; la degradación microbial que se da sobre una porción de lo que ingresa y la salida de las fracciones del alimento no digeridas, de cuerpos microbiales y metabolitos productos de esa digestión (53, 73). Por ello, el grado de degradación de un alimento específico dependerá del efecto combinado de su tasa de digestión, de la tasa de recambio ruminal y de la interacción de este alimento con otros componentes de la ración (2).

El almidón, componente más importante del banano verde (70% de su materia seca), es uno de los nutrientes con mayor contenido de energía (14, 36, 39). Todos los mamíferos poseen mecanismos enzimáticos para digerirlo (14, 36, 59, 73, 77) y además puede ser degradado por fermentación microbial en el retículo-rumen y/o intestino grueso, dependiendo de las diferencias anatomo-fisiológicas entre especies (73, 77). Sin embargo, la suplementación de bovinos con niveles

elevados de almidón provoca una disminución en la digestión ruminal de materia seca debido ya sea a un incremento en la tasa de pasaje, o a un ambiente retículo ruminal desfavorable para fermentación de almidón y fibra o a una combinación de ambos factores (78, 79).

Las diversas fuentes de almidón utilizadas en alimentación de rumiantes presentan diferencias en cuanto a sus propiedades físicas y químicas como son: solubilidad, cristalización, tamaño de los gránulos, estructura de sus cadenas y ramificación (14). Estas diferencias afectan el grado de fermentación a nivel ruminal (40, 41, 69, 77). Waldo (77), en un trabajo de revisión sobre digestión ruminal de almidón de cereales resume valores para cebada de 94% \pm 2,4, maíz 78% \pm 12,5 y sorgo 76% \pm 22,4. El procesamiento también afecta la degradación ruminal de almidón de granos (19), así como del banano^{a/}.

Otro factor que afecta la degradación ruminal de almidón es su nivel de consumo (16, 41, 58, 78). Se ha observado que a mayor consumo existe una menor degradación ruminal de almidón de maíz en novillos (16, 58), vacas lecheras (78) y ovejas (41), asociada a un mayor escape de almidón hacia el compartimiento duodenal.

2.3 Parámetros de fermentación ruminal: factores que los afectan

El pH ruminoreticular es una función de la producción de saliva, de la producción y absorción de los ácidos grasos volátiles (AGV), del nivel de consumo y del intercambio de sustancias buffer a través del epitelio ruminal (7).

^{a/} Pérez, E. Datos no publicados. 1981.

Bajo condiciones normales, el pH ruminal oscila entre 5,5 y 7,0 y está ampliamente documentado en la literatura el descenso en el pH ruminal por efecto del consumo de carbohidratos fácilmente fermentables (13, 31, 52, 79). Este comportamiento es explicado por aumentos en la producción de AGV y por una reducción en el flujo de saliva y rumia (79). Ocurren además oscilaciones en el pH ruminal durante el día, con descensos luego de la ingestión de alimento y ascensos al cabo de algunas horas (31, 73, 79). Valores de pH ruminal menores a 5,5 producen reducciones en la población protozoaria y de bacterias celulolíticas (11, 62).

La producción de AGV en el rumen depende del consumo de materia orgánica digerible (66) y es, bajo condiciones estables, proporcional a la concentración de ésta en el medio (64). Luego de la ingestión de alimentos, la producción de AGV se incrementa produciéndose un pico que es dependiente de la tasa de fermentación de los constituyentes del contenido celular del alimento (73).

Las proporciones molares de los AGV en el rumen pueden variar ampliamente por efecto del porcentaje de forraje en la ración, el nivel de consumo, la frecuencia de alimentación y el tipo de suplemento ofrecido (65). Sus proporciones son poco afectadas por el nivel de consumo de dietas a base de pastos, pero cuando se consumen cantidades crecientes de almidón la proporción de ácido acético disminuye mientras que la de ácido propiónico aumenta (22, 31, 57, 66). El comportamiento de las tasas de producción de los AGV individuales no está aún claro (30, 66).

2.4 Tasa de flujo del líquido ruminal: factores que la afectan

La fracción líquida del rumen contiene agua, componentes solubles del alimento y nutrientes solubilizados por los procesos degradativos de los microorganismos (13). Además, una gran proporción de las bacterias ruminales están también suspendidas en la fase líquida del contenido ruminal (7). Isaacson y otros (25) demostraron que la cantidad de proteína microbial sintetizada por unidad de carbohidratos fermentados se incrementó al aumentar la tasa de flujo. Se postula que la eficiencia de síntesis de proteína microbial mejora al aumentarse las tasas de flujo del líquido ruminal (13) como consecuencia de una reducción en los requisitos de mantenimiento de los microorganismos.

Diversos factores dietéticos, entre los que destacan el nivel de consumo (11, 13, 18) y la composición física de la dieta (21, 48) afectan la tasa de flujo del líquido ruminal. Las interacciones existentes entre parámetros de composición química de los alimentos y la tasa de flujo del líquido ruminal no han sido bien definidas (2). En cambio, parece estar claro que un incremento en el flujo del líquido ruminal determina aumentos en las proporciones molares de los ácidos acético y butírico, a expensas del propiónico (20, 24); además de aumentos en el escape de polímeros glucosídicos y de aminoácidos microbiales del medio ruminal (20).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del experimento

Este trabajo se desarrolló en la Estación Experimental de Producción Animal y en los Laboratorios de Nutrición Animal del CATIE y de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica. El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) está ubicado en una zona tropical húmeda a una altitud de 600 metros sobre el nivel del mar y presenta una temperatura media anual de 22°C, precipitación promedio de 2600 mm por año y humedad relativa de un 90 por ciento.

3.2 Animales y su manejo

Se usaron seis novillos con fístula ruminal permanente, con un promedio de peso de 325 kg y edades entre 24 y 30 meses. Cada animal se mantuvo en un corral individual de 32 m², techado y con comederos y bebederos individuales.

Como paso previo a la fase experimental (fase de recolección de datos) los animales fueron adaptados a las raciones experimentales, cuyos componentes se observan en el Cuadro 1. El suplemento proteico estuvo constituido por un 60 por ciento de proteína cruda aportada por urea y un 40 por ciento por harina de carne y hueso. La cantidad de suplemento proteico suministrado varió en función del consumo de los otros ingredientes de la dieta, con el objeto de que todos los animales consumieran 325 g de proteína cruda por cada 100 kg de peso vivo por día. Se usó melaza de caña como vehículo, a razón 150 g/100 kg PV/día. Se ofreció a todos los animales punta de caña picada en

una cantidad tal que superara en un 10 por ciento el consumo del día anterior. En todos los tratamientos, tanto la punta de caña como el banano se ofrecieron una vez al día. En los Cuadros 1A, 2A y 3A del Apéndice se muestran los consumos observados de los diferentes componentes de las raciones durante las pruebas de degradación in situ, medición de los parámetros ruminales y las tasas de flujo del líquido ruminal. El suplemento mineral consistió en una mezcla de sal común y minerales traza^{1/} en proporción 50:1, el cual se administró a razón de 25 g/100 kg de PV/día, cantidad que se mezcló con el suplemento proteico.

Cuadro 1. Composición nutritiva de los ingredientes utilizados en las raciones.

Ingredientes	Materia seca ^{a/} %	Proteína cruda ^{a/} %	Energía metabolizable, Mcal/kg MS
Punta de caña	27	5,6	2,39 ^{b/}
Harina de carne y hueso	94	41,9	2,76
Urea	100	287,5	-
Melaza de caña	76	4,0	3,29 ^{b/}
Banano verde	21	4,9	3,00 ^{b/}

a/ Análisis efectuados en el Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

b/ Tomados de San Martín (60).

1/ Mezcla comercial, con 13,2% Fe; 12,0% Zn; 6,0% Mn; 2,2% Cu; 1,0% Co; 0,4% I y 18,4% Ca.

La fase de recolección de datos se inició cuando los consumos de punta de caña y del banano verde se estabilizaron. Los animales se pesaron periódicamente a través de la prueba para así ajustar la cantidad de suplemento proteico y energético a ofrecer.

3.3 Tratamientos

Se utilizó un diseño irrestricto al azar con 6 tratamientos, correspondientes al suministro de seis niveles de banano. Los niveles ofrecidos fueron de 0,0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 y 2,0 kg de materia seca de banano por cada 100 kg de peso vivo por día. Los consumos observados se observan en los Cuadros 4A, 5A y 6A del apéndice.

3.4 Determinación de la degradación ruminal in situ del banano

Para determinar la degradación ruminal de la materia seca de banano se aplicó la técnica de digestión ruminal utilizando bolsas de dacrón^{a/}, ampliamente descrita por otros autores (34, 35, 43, 60).

El banano verde fresco a ser incubado se cortó en trozos de 20 a 40 mm que luego se homogenizaron durante aproximadamente 30 segundos en una licuadora doméstica a baja velocidad, de manera que no se formara un material de consistencia pastosa.

Las bolsas de dacrón, luego de introducidas las muestras de banano fresco, se cerraron y se introdujeron al rumen, atadas a una pesa según

^{a/} Marvelaire, Beaconway Fabric and Yarn Center, Bangor, Maine, E.E.U.U.

procedimientos descritos por Ørskov et al. (43) y San Martín (60). Al cabo de 2, 4, 6, 8, 12, 19, 24 y 48 horas de fermentación, las bolsas se extrajeron del rumen y se lavaron con agua potable exprimiéndose ligeramente. Luego de lavadas, las bolsas que contenían el material indigerido se secaron en una estufa a 105°C por 8 horas, se enfriaron en un desecador y se pesaron.

Los valores de degradación de la materia seca en cada tiempo de fermentación fueron corregidos por entrada de partículas del medio ruminal a las bolsas y escape de muestra a través de los poros de las bolsas hacia el medio ruminal. La entrada de partículas a las bolsas se estimó colocando en el rumen de cada animal bolsas "blanco", que contenían bolas de vidrio de peso conocido (una bolsa para cada tiempo de incubación). Con cada extracción de bolsas (que contenían banano indigerido) se extraía también un "blanco", el cual sufría el mismo tratamiento analítico para determinar la entrada de material por diferencia de peso.

La corrección por pérdida de muestra a través de los poros de las bolsas se realizó colocando bolsas con muestras de banano en recipientes que contenían agua destilada. Durante las primeras 12 horas estas bolsas se agitaron con intervalos de una hora y luego cada 6 horas, hasta el fin de la prueba a las 48 horas. Se utilizaron 2 bolsas por cada período de incubación, al cabo del cual se extrajeron, secaron y pesaron de forma similar a lo ya descrito para las incubadas en rumen. El agua y los materiales en suspensión se filtraron periódicamente (cada 2 horas durante las primeras 12 y cada 6 luego) usando papel Whatman N°- 41, con el objeto de discriminar entre salida de material soluble y salida de material insoluble en agua. La pérdida de peso de las bolsas se

consideró como la materia seca total que escapó, mientras que el aumento de peso de los papeles de filtro se interpretó como el material insoluble en agua que había salido de las bolsas.

La digestibilidad de materia seca total se estimó mediante la fórmula descrita por Playne et al. (46).

$$DMS_c = 100 - \frac{A - C}{B(1 - D)} \times 100 \{1\}$$

donde:

DMS_c = Digestibilidad de materia seca corregida, %

A = Materia seca indigerida, g

B = Materia seca inicial (introducida), g

C = Materia seca ruminal adherida a las bolsas, g

D = Pérdida de muestra como porcentaje de la materia seca inicial, %

3.5 Determinación de parámetros de fermentación ruminal

3.5.1 pH

El pH ruminal se midió por lectura directa en el potenciómetro^{1/} sobre líquido obtenido a través de la cánula ruminal en los animales fistulados. Los muestreos de licor ruminal se realizaron a las 0, 2, 4, 8, 10, 12, 14, 16, y 21 horas de haberse suministrado las raciones experimentales a los diferentes animales.

^{1/} Fisher Accumet Model 325 pH meter. Fisher Cientific Company, Pittsburgh, Pennsylvania, E.E.U.U.

3.5.2 Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV)

Muestras de licor ruminal obtenidas a las 0, 2, 4, 8, 10, 12, 14, 16 y 21 horas luego de ofrecidas las dietas experimentales fueron tratadas con ácido sulfúrico (H_2SO_4 1N) como preservante y con $MgSO_4$ con el objeto de precipitar las proteínas. El total de ácidos grasos volátiles presentes en cada muestra fue determinado por destilación y titulación con NaOH 0,1 N.

3.5.3 Fracciones molares de los ácidos grasos volátiles

Se determinaron también las fracciones molares de los ácidos acético, propiónico y butírico mediante el uso de la cromatografía de gases, previa esterificación de los ácidos carboxílicos con etanol^{1/}.

3.6 Determinación de las tasas de flujo del líquido ruminal

Para la estimación de las tasas de flujo del líquido ruminal se utilizó el indicador soluble poli-etilen-glicol (PEG)^{2/}. La infusión del indicador se realizó disolviendo 80 g de PEG en 250 ml de agua destilada para luego mezclar 50 ml de esta solución con cinco muestras de 200 ml de licor ruminal fresco cada una, las cuales habían sido previamente extraídas de cada animal fistulado. Las cinco mezclas de PEG/licor ruminal se introdujeron inmediatamente en el rumen de cada animal fistulado, agitando el contenido ruminal para asegurar una adecuada distribución del marcador en el fluído ruminal (50).

^{1/} CONSTENLA, M. Escuela de Química, UCR. Comunicación personal.

^{2/} Polyethylene glycol 4000. J. T. Baker Chemical Co., Phillipsburg. N. J. 08865, E.E.U.U.

Al cabo de 0, 1, 5, 3, 6, 9, 12, 18 y 24 horas luego de la infusión del indicador, se extrajeron de cada animal las muestras de fluido ruminal a fin de determinar la concentración del indicador y estimar así su tasa de flujo.

La determinación del PEG en las muestras de licor ruminal colectadas se realizó por el método de Hyden, modificado por Malawer y Powell (33).

3.7 Análisis de información

3.7.1 Digestibilidad y parámetros de digestión

La digestibilidad acumulativa de la materia seca de banano en función del tiempo estuvo definida por la ecuación:

$$Y_1 = \frac{1}{A_1 + B_1 e^{-C_1 t}} \quad \{2\}$$

donde:

Y_1 = Digestibilidad de la materia seca de banano, %

$1/A_1$ = Límite de Y_1 cuando t tiende a infinito; o sea la digestibilidad potencial de la materia seca, %

$1/(A_1 + B_1)$ = Límite de Y_1 cuando t tiende a cero, o sea la digestibilidad inicial de la materia seca, %

C_1 = Tasa de aceleración de la digestión de la materia seca

t = Tiempo de fermentación, horas

e = Base del logaritmo natural

El tiempo de digestión media de la materia seca de banano, definido como el tiempo al que se degrada el 50 por ciento de la materia seca potencialmente digerible, en función del consumo de banano en la dieta, estuvo determinado por la siguiente ecuación:

$$Y_2 = A_2 + B_2 X_1 + C_2 X_1^2 \quad \{3\}$$

donde:

Y_2 = Período requerido para que se digiera el 50 por ciento del banano potencialmente digerible, horas.

X_1 = Consumo de banano relativo al consumo total en base seca, %

A_2 = Valor constante

C_2 = Coeficientes de regresión

Los cambios en la tasa de aceleración de la digestión de la materia seca de banano en función de los diferentes niveles de banano consumido se analizaron y definieron mediante el modelo:

$$Y_3 = A_3 + B_3 X_1 + C_3 X_1^{0,5} \quad \{4\}$$

donde:

Y_3 = Tasa de aceleración de la digestión de la MS de banano

X_1 = Consumo de banano relativo al consumo total en base seca, %

A_3 = Valor constante

B_3 y C_3 = Coeficientes de regresión

3.7.2 Parámetros de fermentación ruminal

Para el análisis de los parámetros de fermentación ruminal (pH, producción de ácidos grasos volátiles y fracciones molares de los ácidos acético, propiónico y butírico) se utilizó un diseño irrestricto al azar con seis tratamientos: 0,0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 y 2,0 kg de MS de banano/100 kg PV/día.

Las variaciones del pH ruminal en función del nivel de banano en la dieta fueron descritas por la siguiente función:

$$Y_4 = A_4 + B_4 X_2 \quad \{5\}$$

donde:

Y_4 = pH ruminal

X_2 = Consumo de banano, expresado como kg de MS de banano por cada 100 kg de peso vivo

A_4 = Valor constante

B_4 = Coeficiente de regresión

3.7.3 Tasa de flujo del líquido ruminal

La disminución en la concentración del indicador soluble PEG, en función del tiempo, se definió por la función propuesta por Ulyatt (72):

$$Y_5 = A_5 e^{B_5 t} \quad \{6\}$$

donde:

- Y_5 = Concentración de PEG, expresada en mg/ml de licor ruminal
 t = Período transcurrido desde la infusión del indicador, horas
 A_5 = Concentración de PEG inmediatamente después de introducirlo en el rumen, mg/ml
 B_5 = Tasa de flujo de líquido ruminal fuera del rumen, % del volumen/hora

La tasa de flujo del líquido ruminal se definió mediante la transformación de la función {6} a su relación lineal (67).

$$Y_6 = \ln A_5 + B_5 t \quad \{7\}$$

donde:

- Y_6 = Logaritmo natural de la concentración de PEG (Y_5)
 B_5 = Tasa de flujo, expresada como el porcentaje de líquido ruminal que sale del rumen por hora (% volumen)
 t = Período transcurrido desde la infusión del indicador, horas

El volumen del líquido ruminal en el momento de infusión el indicador se estimó mediante el cálculo de la concentración del indicador en el rumen a tiempo cero {6}, utilizando luego la relación:

$$Y_7 = \frac{80}{A_5} \quad \{8\}$$

donde:

- Y_7 = Volumen del líquido ruminal inmediatamente después de suministrar el indicador, litros

80 = Cantidad de PEG introducida en el rumen, gramos

A_5 = Concentración de PEG, inmediatamente después de suministrar el indicador, g/l

Las variaciones de la tasa de flujo del líquido ruminal a consumos crecientes de banano verde fueron definidos por la función:

$$Y_8 = A_6 + e^{C_4 X_1} \{9\}$$

donde:

Y_8 = Tasa de flujo del líquido ruminal, % hora

e = Base del logaritmo natural

C_4 = Valor constante

X_1 = Consumo de banano relativo al consumo total en base seca, %

4. RESULTADOS

4.1 Digestibilidad de la materia seca de banano

4.1.1 Digestibilidad acumulativa de la materia seca de banano (DMS)

La Figura 1 describe la digestibilidad acumulativa de la materia seca de banano para los diferentes niveles de banano consumido en función del tiempo de fermentación; los valores indicados en la Figura 1 se repiten, junto con sus desviaciones típicas, en el Cuadro 7A. Se observa que la digestibilidad inicial, valor que corresponde a la fracción de materia seca soluble varía de 3,01 a 6,17 por ciento con un valor medio de $4,57 \pm 1,39$ por ciento. Se muestra además que la suplementación con banano verde hasta el nivel de 18,9 por ciento de la materia seca total consumida induce a una mayor digestión de sí mismo que a niveles superiores.

La digestibilidad potencial del banano verde mostró un valor de $91,03 \pm 1,32$ por ciento (Cuadro 2) notándose una variación insignificante debida al nivel de banano en la ración. En la Figura 1 se ilustra que, exceptuando el nivel de banano de 73,5 por ciento, todas las curvas presentaron una asintotización evidente a las 48 horas o menos de permanencia del material en el rumen.

4.1.2 Tiempo de digestión media de la materia seca de banano

El comportamiento de este parámetro, definido como el tiempo requerido para que se digiera el 50 por ciento de la materia seca potencialmente digerible, se observa en la Figura 2. La función que mejor definió el tiempo de digestión media, como variable dependiente del nivel de banano en la dieta,

DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA DE BANANO (Y₁), %

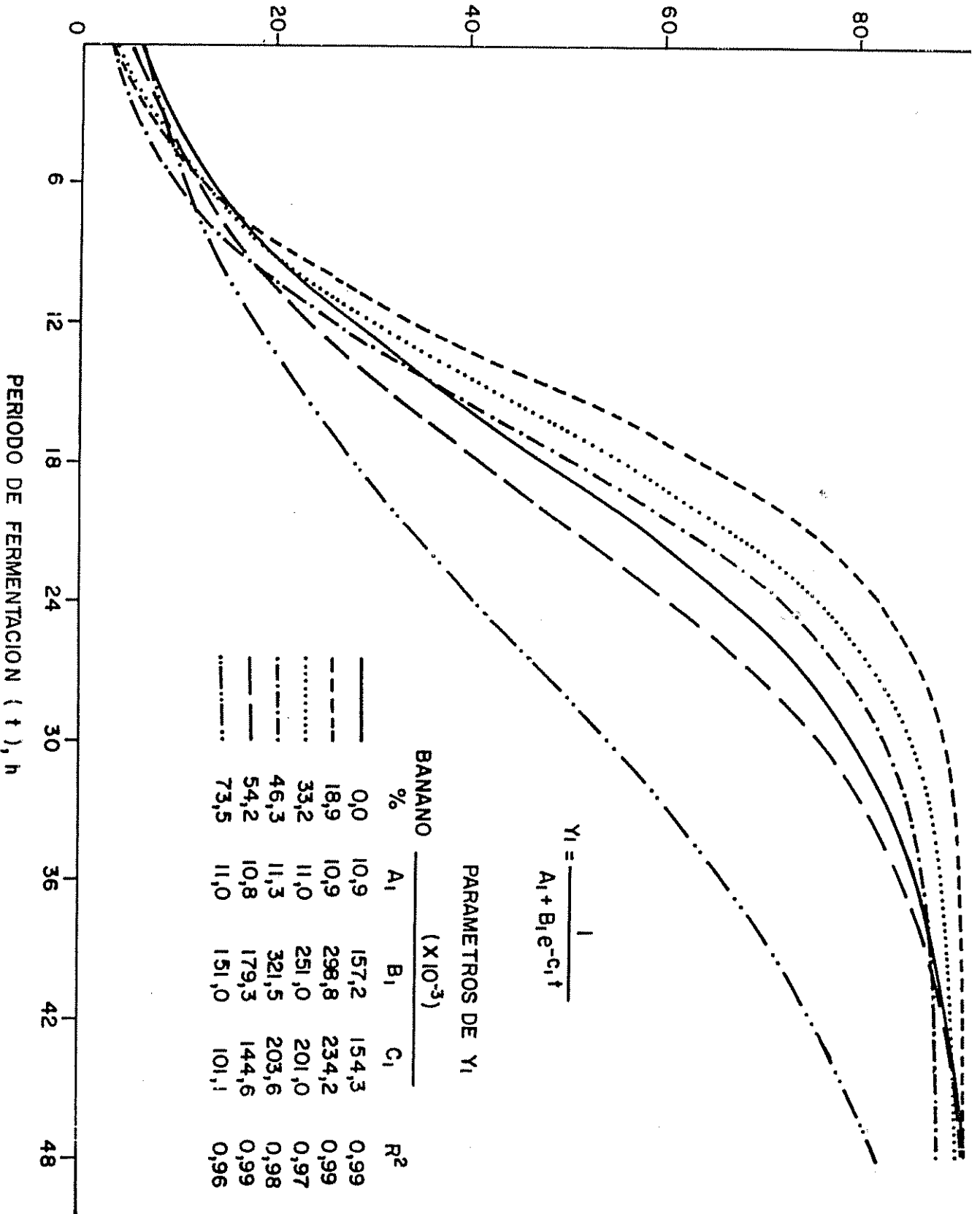


Fig. 1 DIGESTIBILIDAD ACUMULADA DE LA MATERIA SECA DE BANANO EN FUNCION DEL PERIODO DE FERMENTACION RUMINAL SEGUN EL NIVEL DE BANANO SUPLEMENTARIO

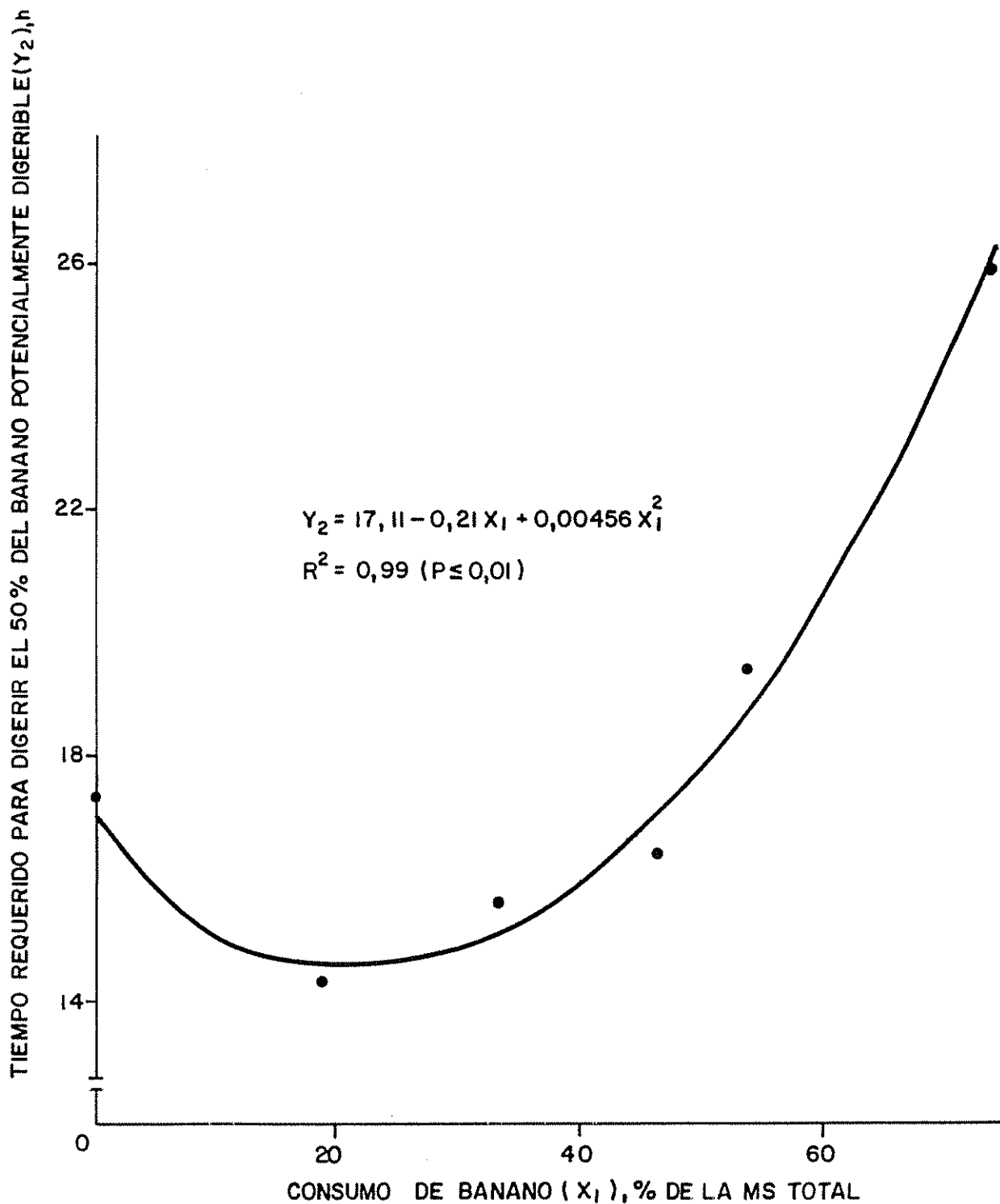


Fig.2 TIEMPO DE DIGESTION MEDIA DE LA MATERIA SECA DE BANANO EN FUNCION DE LA PROPORCION DE BANANO VERDE CONSUMIDO

Cuadro 2. Digestibilidad potencial del banano verde, según el nivel de banano suplementario.

Consumo de banano verde		Digestibilidad potencial
% de la MS total	kg MS/100 kg PV	%
0,0	0,0	91,45
18,89	0,40	91,50
33,19	0,80	90,82
46,31	1,20	88,73
54,18	1,26	92,77
73,53	1,78	<u>90,91</u>
		$\bar{X} = 91,03 \pm 1,32$

fue la siguiente:

$$Y_2 = 17,11 (\pm 0,595) - 0,21 (\pm 0,0353) X_1 + 0,00456 (=0,00046) X_1^2$$

$$R^2 = 0,99 (P < 0,01)$$

donde:

Y_2 = Tiempo al que se digiere el 50 por ciento del banano potencialmente digerible, h.

X_1 = Consumo de banano, relativo al consumo total, en base seca, %

Se observa que el tiempo de digestión media disminuye conforme se aumenta el consumo de banano hasta que éste constituye el 23,5 por ciento del total de materia seca consumida situación en la que el tiempo de digestión es de 14,6 horas. A niveles superiores de banano en la dieta se presenta un incremento del tiempo al que se alcanza el valor de digestión media.

4.1.3 Tasa de digestión de la materia seca de banano

La tasa de digestión del banano (Figura 3) aumentó conforme se incrementó su nivel hasta alcanzar su máximo cuando el banano constituía el 14,0 por ciento del total de la materia seca consumida. La tasa de aceleración a ese nivel de banano fue de 0,235. Valores superiores al 14 por ciento de banano en la dieta provocan una disminución de este parámetro. La función que define estas variaciones es la siguiente:

$$Y_3 = 0,15 \text{ (}\pm 0,01\text{)} - 0,00576 \text{ (}\pm 0,0009\text{)}X_1 + 0,043 \text{ (}\pm 0,0083\text{)}X_1^{0,5}$$

$$R^2 = 0,93 \text{ (}P < 0,01\text{)}$$

donde:

Y_3 = tasa de aceleración de la digestión de la materia seca de banano

X_1 = consumo de banano, relativo al consumo total, en base seca, %

4.2 Parámetros de fermentación ruminal

Los valores de pH ruminal, total de ácidos grasos volátiles producidos y fracciones molares de los ácidos acético, propiónico y butírico, correspondientes a los diferentes niveles de banano consumido y las distintas horas de muestreo se presentan en los Cuadros 3 y 4.

4.2.1 pH ruminal

Tal como se observa en el Cuadro 3 los valores de pH ruminal de animales que consumieron niveles crecientes de banano verde fueron significativamente diferentes ($P < 0,01$). La Figura 4 muestra que el pH ruminal disminuye

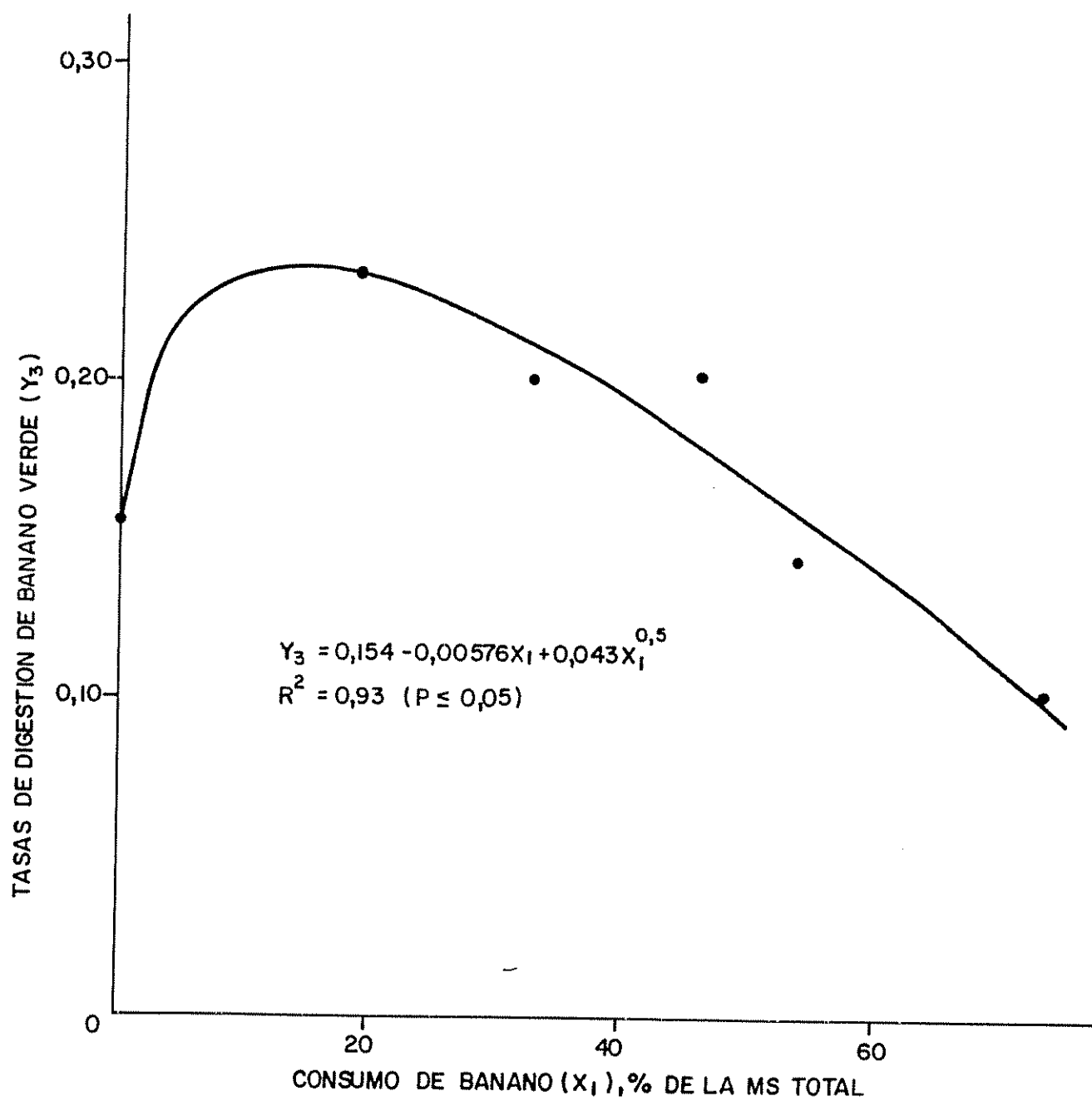


Fig. 3 TASAS DE DIGESTION DE BANANO VERDE (MS) EN FUNCION DE LA PROPORCION DE BANANO VERDE CONSUMIDO

Cuadro 3. Parámetros de fermentación ruminal en función del nivel de banano suplementario ^{a/}.

Consumo de banano verde kg MS/100 kg PV/día	pH	Total de AGV meq/litro	AGV, % molar		
			Acido Acético	Acido Propiónico	Acido Butírico
0,00	6,60 ^a	94,0 ^a	52,7 ^a	37,2 ^a	5,2 ^d
0,40	6,44 ^{ab}	95,2 ^a	53,8 ^a	36,8 ^a	9,4 ^c
0,80	6,26 ^{bc}	95,6 ^a	53,3 ^a	34,4 ^a	12,3 ^{bc}
1,20	6,02 ^{bc}	108,1 ^a	56,0 ^a	29,4 ^a	14,5 ^b
1,23	6,42 ^{ab}	94,0 ^a	53,9 ^a	33,5 ^a	12,5 ^{bc}
1,60	5,91 ^d	97,6 ^a	43,7 ^b	36,6 ^a	19,7 ^a

^{a/} Promedios de 9 muestras. Tiempo promedio de fermentación ruminal: 9,67 h
a, b, c, d letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Cuadro 4. Parámetros de fermentación ruminal en función del tiempo transcurrido luego de la suplementación ^{a/}.

Tiempo, h	pH	Total de AGV meq/litro	AGV, % molar		
			Acido Acético	Acido Propiónico	Acido Butírico
0	6,58	87,7	53,2	34,9	11,9
2	6,80	73,8	49,2	40,5	10,3
4	6,61	90,8	49,9	45,8	9,2
8	6,05	92,6	53,9	33,3	12,9
10	6,12	108,3	59,5	25,8	14,7
12	6,10	107,7	54,1	33,4	12,5
14	5,88	118,0	57,3	29,6	13,2
16	6,00	95,0	50,4	35,9	13,7
21	6,33	102,9	54,0	32,9	13,2

^{a/} Promedios de 6 animales. Nivel promedio de suplementación: 0,87 kg MS/100 kg PV/día.

linealmente conforme aumenta el nivel de banano en la dieta, comportamiento que es descrito por la función

$$Y_4 = 6,60 \text{ } (\pm 0,126) - 0,375 \text{ } (\pm 0,123) X_2$$

$$R^2 = 0,70 \text{ } (P < 0,01)$$

donde:

$$Y_4 = \text{pH ruminal}$$

$$X_2 = \text{consumo de banano kg MS/100 kg PV/día}$$

4.2.2 Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV)

La suplementación con niveles crecientes de banano verde no afectó la concentración total de AGV, obteniéndose para las dietas ofrecidas un valor medio de $97,42 \pm 5,4$ meq/litro de licor ruminal. Los coeficientes de variación de las medias (Cuadro 5) muestran que existe una variación considerable en la concentración de los AGV y sus proporciones molares entre horas de muestreo dentro de tratamientos (niveles de banano suplementario). El Cuadro 4 muestra que, en promedio, la menor concentración se presentó a las dos horas luego de la suplementación ($73,8 \pm 15,7$ meq/litro) y la más alta a las 14 horas ($118,0 \pm 10,5$ meq/litro).

4.2.3 Proporciones molares de los ácidos grasos volátiles

Las fracciones molares de los ácidos acético, propiónico y butírico presentes en el fluído ruminal de animales alimentados con niveles crecientes de banano se presentan en el Cuadro 3. Los valores descritos, que son

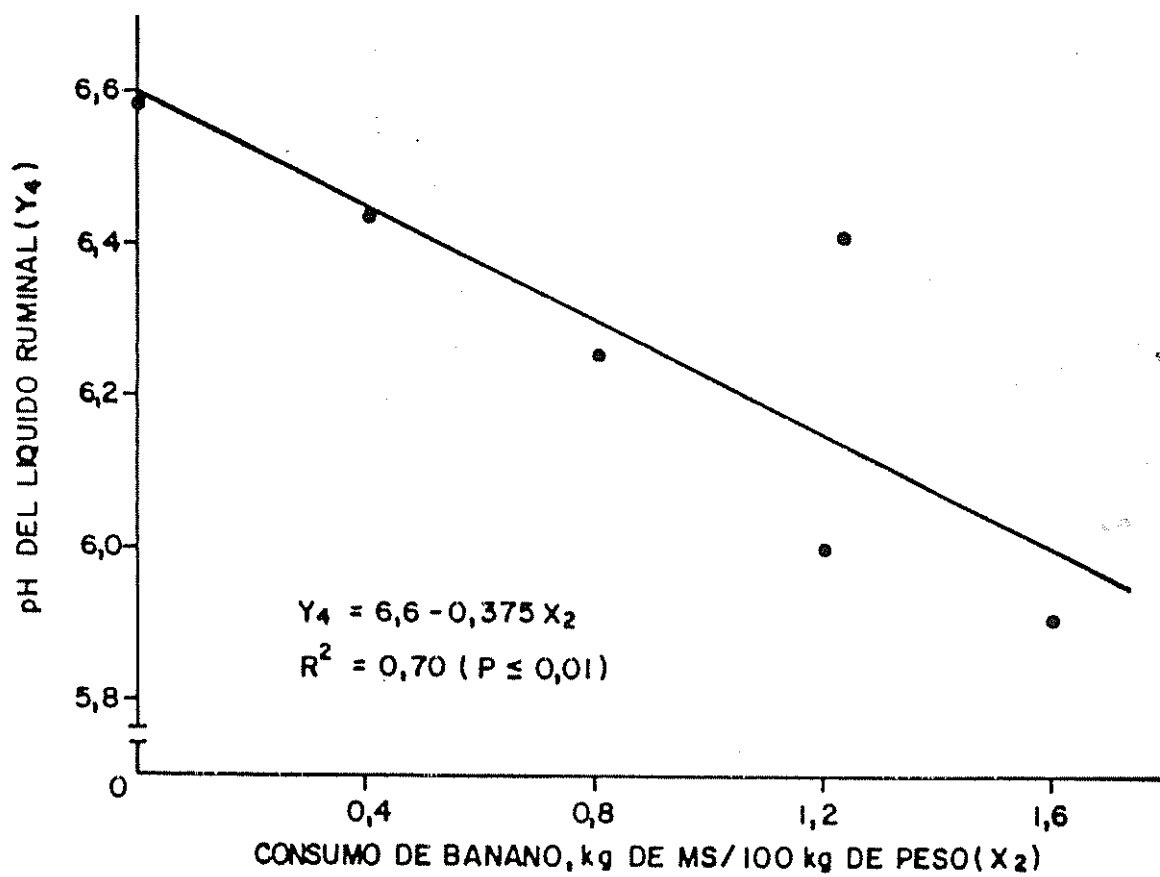


Fig. 4 pH DEL LIQUIDO RUMINAL EN FUNCION DEL CONSUMO DE BANANO VERDE

Cuadro 5. Coeficientes de variación de los parámetros de fermentación ruminal en función del nivel de banano y del tiempo transcurrido luego de la suplementación, %.

Consumo de banano verde kg de MS/100 kg	pH	Total de AGV meq/litro	AGV, % molar		
			Acido Acético	Acido Propiónico	Acido Butírico
0,00	2,7	21,3	17,3	27,2	21,1
0,40	4,0	17,8	17,3	30,7	23,4
0,80	7,3	22,9	15,4	34,0	30,1
1,20	10,0	18,7	11,8	35,0	26,2
1,23	4,8	18,5	11,5	27,2	28,0
1,60	9,0	26,2	18,3	36,1	28,9

Tiempo, h					
0	2,9	16,6	14,8	24,1	43,7
2	2,9	21,3	11,8	17,8	41,7
4	3,8	18,0	20,2	24,5	26,1
8	6,8	21,6	10,8	31,2	52,7
10	7,5	25,5	11,4	10,9	40,8
12	6,2	14,4	15,7	30,5	48,0
14	7,1	8,9	19,4	35,8	33,3
16	9,5	16,9	19,6	36,8	53,3
21	6,3	11,3	18,3	39,8	58,3

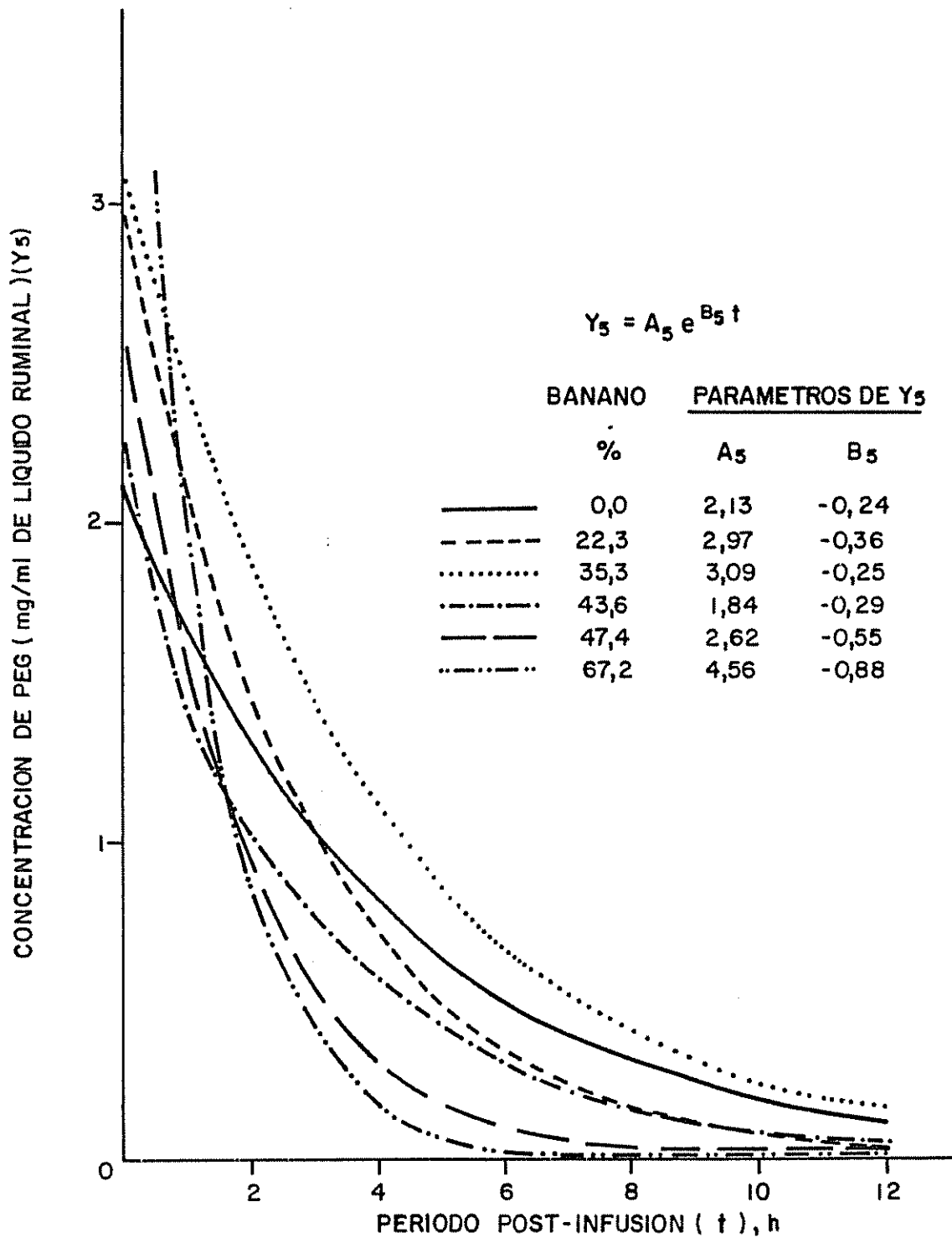


Fig. 5 CONCENTRACION DEL INDICADOR SOLUBLE PEG, EN FUNCION DE LAS HORAS DE MUESTREO POST-INFUSION

promedio de 9 muestreos, indican que los ácidos acético y butírico variaron significativamente en función del banano consumido, mientras que el propiónico tendió a mantenerse constante ($34,65 \pm 2,96 \%$). Se detectó una correlación alta y negativa (-0,81) entre las fracciones molares de los ácidos acético y butírico, situación indicativa de que en dietas basadas en punta de caña el nivel de ácido butírico aumenta a expensas del acético, conforme se incrementa el nivel de banano suplementario.

4.3 Tasas de flujo del líquido ruminal

Las Figuras 6 y 7 muestran las variaciones de concentración del polietileno glicol (PEG) en función de las horas de muestreo luego de su dilución en el líquido ruminal, para los diferentes niveles de banano estudiados. Las funciones presentadas en la Figura 6 (transformación logarítmica) permiten estimar los valores de volumen de líquido ruminal y tasas de flujo de la fracción líquida, los que se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Volumen del líquido ruminal y sus tasas de flujo en función del nivel de banano suplementario.

Consumo de banano verde		Líquido ruminal, litros	Tasa de flujo, %/h
% de la MS kg	MS/100 kg PV/día		
0,00	0,00	37,6	0,24
22,31	0,40	26,9	0,36
35,35	0,80	25,9	0,25
43,61	0,81	43,5	0,29
47,38	0,93	30,6	0,55
67,16	1,37	16,6	0,88

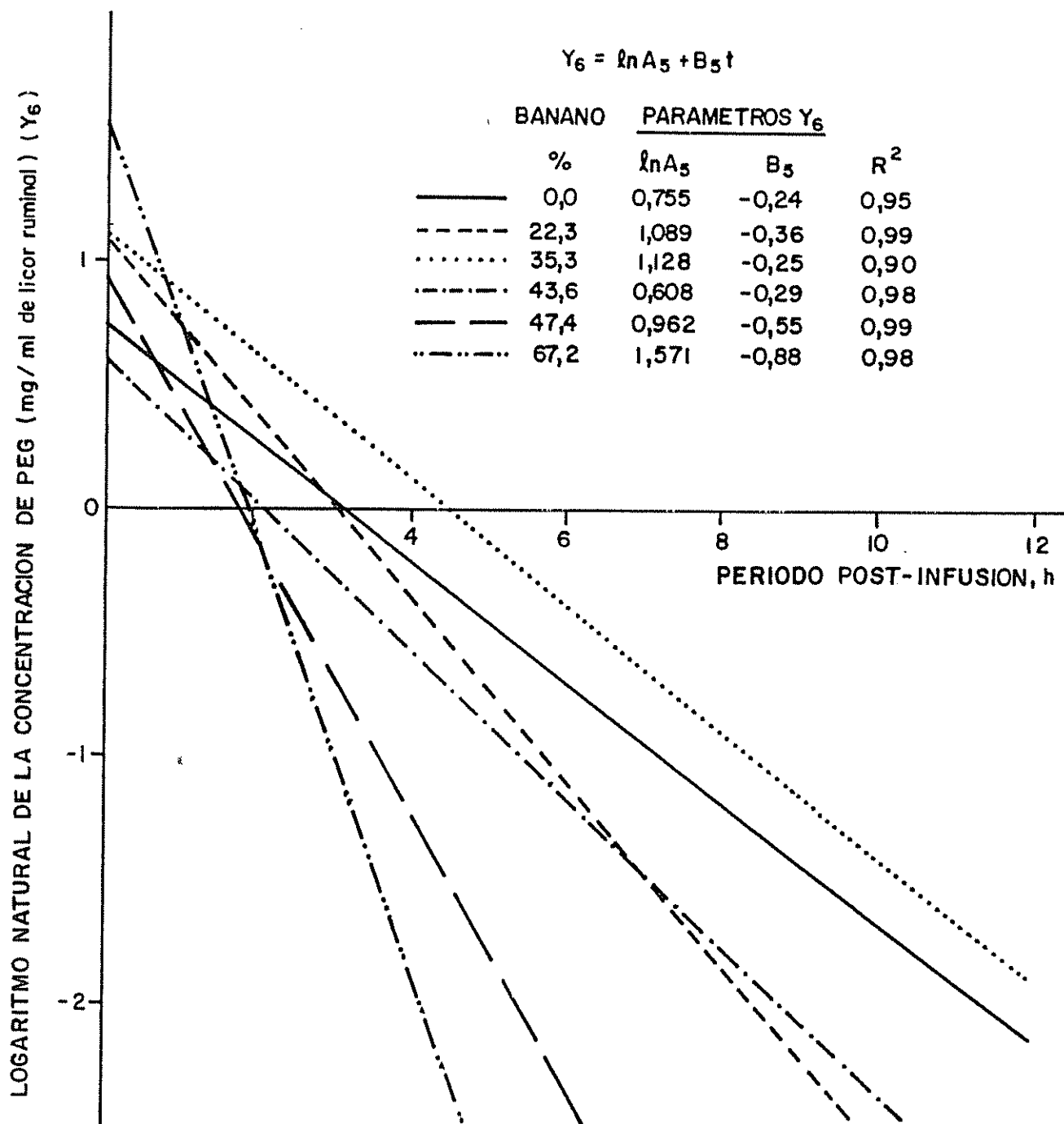


Fig. 6 LOGARITMO NATURAL DE LA CONCENTRACION DEL INDICADOR SOLUBLE PEG EN FUNCION DE LAS HORAS DE MUESTREO POST-INFUSION

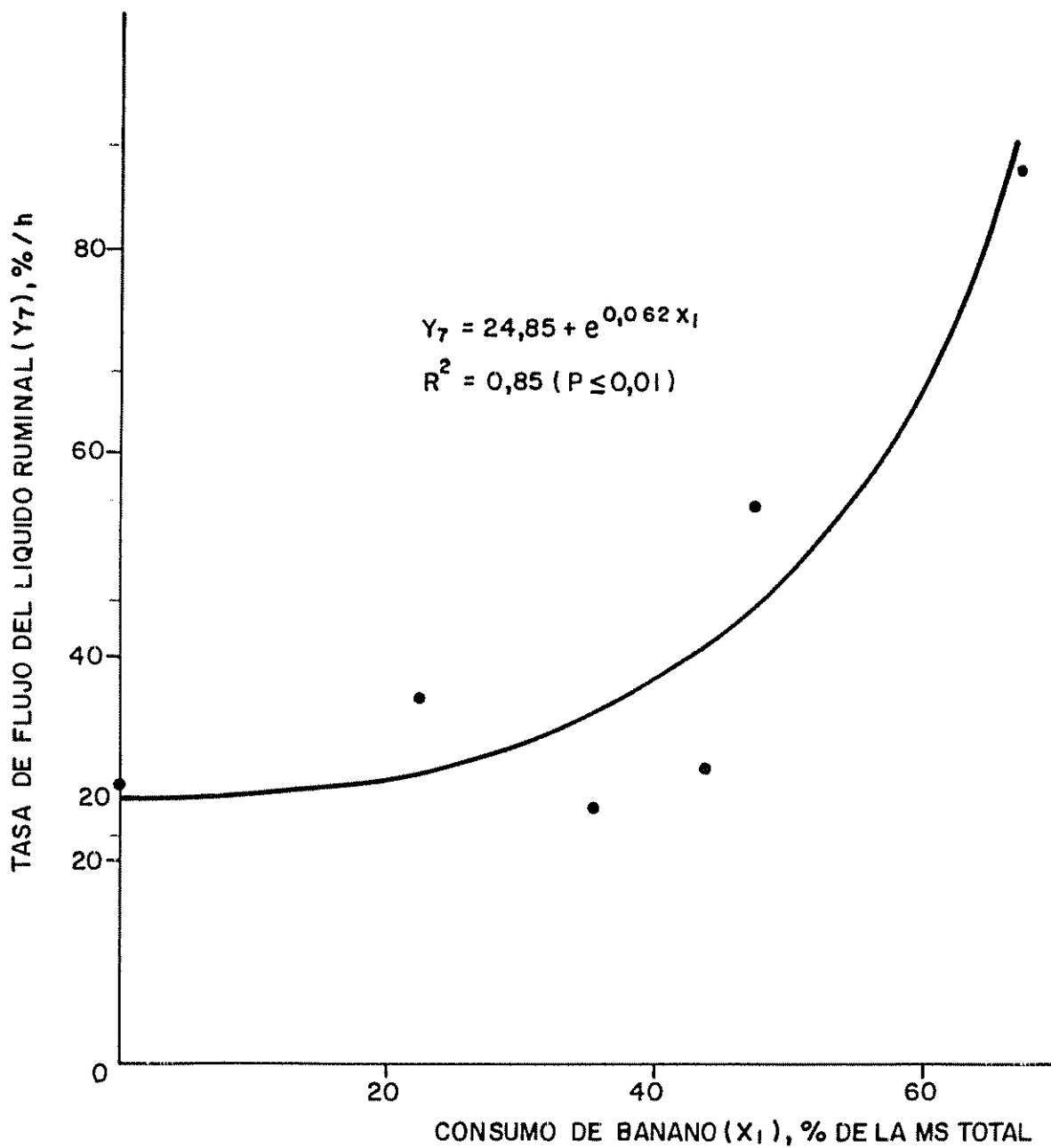


Fig. 7 TASAS DE FLUJO DEL LIQUIDO RUMINAL EN FUNCION DE LA PROPORCION DE BANANO VERDE CONSUMIDO

Los cambios en la tasa de flujo del líquido ruminal debidos a consumos crecientes de banano verde, se ilustran en la Figura 7. El modelo que mejor explicó estas variaciones fue el siguiente:

$$Y_7 = 24,85 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 5,47 + e \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0,062 \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} 0,003 X_1$$
$$R^2 = 0,85 \text{ (} P < 0,01 \text{)}$$

donde:

Y_7 = tasa de flujo del líquido ruminal, %

X_1 = consumo de banano relativo al consumo total, en base seca, %

5. DISCUSION

5.1 Degradación ruminal de banano verde

Los datos de digestibilidad acumulada de la materia seca del banano (Figura 1) muestran que la suplementación con niveles de banano superiores a un 19 por ciento del total de materia seca consumida disminuye su degradación ruminal. Se ilustra en la misma Figura un claro efecto depresor del banano sobre su propia degradación ruminal, cuando representa más del 50 por ciento de la ración. El valor mínimo de tiempo de digestión media (Figura 2) logrado cuando el banano representa el 23,5 por ciento de la ración y la tasa máxima de digestión de materia seca de banano alcanzada cuando éste constituyó el 14 por ciento de la ración (Figura 3), permiten definir un rango de consumo de banano (como % de la dieta) en el que ocurre una más rápida degradación ruminal de banano. Precisamente dentro de este rango San Martín (60) encontró que la suplementación con banano no causaba un efecto detrimental sobre la digestibilidad ruminal de la punta de caña.

A pesar de que se ha trabajado con alguna intensidad evaluando la degradación ruminal de fuentes de almidón de origen tropical (10, 51, 54, 55, 61) no existe información en cuanto al efecto que una amplia variación en el consumo de esta fuente podría tener sobre su propio aprovechamiento a nivel ruminal. Los datos generados a partir de granos han sido recopilados por Waldo (77); en ellos se observa que la degradación ruminal de almidón de maíz (y por ello su materia seca) disminuye conforme se incrementa su consumo hasta un valor mínimo en el que el maíz constituye el 52 por ciento de la materia seca de la ración (76). Sin embargo, con la cebada no se observan cambios sustanciales en

la degradación ruminal de su almidón, con consumos que abarcan un rango de 19 a 100 por ciento de la materia seca total ingerida (32, 41, 68). Estos resultados muestran que las variaciones en degradación ruminal de fuentes de almidón, debidas a aumentos en su consumo, no obedecen a un comportamiento uniforme, sino que el efecto es dependiente de la fuente y de su procesamiento previo (19, 77). Además es posible que la degradabilidad ruminal de la fuente de almidón, en función de los niveles de la misma, también sea dependiente de la fuente de forraje y del nivel y solubilidad de la proteína.

En el Cuadro 7 se resumen resultados de la degradación ruminal in situ de algunos suplementos energéticos ricos en almidón utilizados bajo condiciones tropicales. En ellos el tiempo de digestión media se definió como el período al que se digería el 50 por ciento de la materia seca total y no de la materia seca potencialmente digerible (forma de expresión utilizada en el presente trabajo). Por ello, y para efectos comparativos, se muestran en el Cuadro 8 los tiempos de digestión observados, expresados de las dos formas antes descritas.

El Cuadro 8 muestra que las diferencias debidas a la forma de definir el tiempo de digestión media son mínimas debido a que la digestibilidad potencial del banano verde es de $91 \pm 1,32$ por ciento (Cuadro 2), valor bastante cercano al límite máximo de degradabilidad (100%). Al comparar la información obtenida con la recopilación en el Cuadro 7 se observa que la degradación ruminal de harinas de frutas de musáceas (plátano y banano) es más rápida que la observada en el material fresco de banano ($t_{1/2}$ de 6,5 y 8,5 horas vs. $19,4 \pm 4,6$ horas). Estas diferencias en degradación son sin duda debidas a un aumento

Cuadro 7. Tiempos de digestión media^{a/} de varias fuentes de almidón de origen tropical.

Fuente	Tiempo de digestión media	Referencia
Harina de yuca ^{b/}	17,1	(10)
Harina de plátano ^{c/}	6,5	(61)
Harina de yuca ^{c/}	14,3	(61)
Harina de maíz ^{c/}	15,8	(61)
Afrecho de trigo ^{c/}	27,4	(61)
Pulidura de arroz ^{c/}	20,1	(61)
Granos de arroz ^{d/}	17,0	(54)
Harina de banano ^{e/}	8,5	-

a/ Tiempo al que se degrada el 50% de la materia seca total

b/ Animales consumiendo bagazo de caña, melaza y urea

c/ Animales consumiendo caña de azúcar, melaza-urea y afrecho de trigo

d/ Animales consumiendo forraje de yuca, melaza-urea y granos de arroz

e/ Pérez, E. 1981. Datos no publicados

en la superficie expuesta al ataque de la población microbial en los materiales molidos y a que el secado puede aumentar también su disponibilidad. Se comprueba así el alto grado de influencia que tiene el procesamiento sobre la digestión microbial de una misma fuente de almidón (19). Por otro lado, los tiempos de digestión media de las otras fuentes de almidón (también como harinas) presentan un valor promedio de $18,6 \pm 4,71$ (10, 54, 61) similar al observado en el presente estudio.

Cuadro 8. Tiempos de digestión media de banano verde fresco en función del nivel de banano suplementario.

Consumo de banano verde		Tiempo de digestión media	
% de la MS	Kg MS/100 kg PV	<u>a/</u>	<u>b/</u>
0,00	0,00	17,30	18,51
18,89	0,40	14,13	14,92
33,19	0,80	15,56	16,56
46,31	1,20	16,46	17,72
54,18	1,26	19,44	20,52
73,53	1,78	25,91	27,89

a/ Tiempo al que se degrada el 50 por ciento de la materia seca potencialmente digerible, h.

b/ Tiempo al que se degrada el 50 por ciento de la materia seca total, h.

A pesar de que el escape de banano de la fermentación ruminal no fue cuantificado, observaciones visuales de la composición y consistencia de las heces de los novillos mostraron que consumos crecientes de materia seca de banano estuvieron asociados con una mayor excreción del material y una consistencia más líquida de la excreta. La presencia de banano en las heces necesariamente indicaría que parte del banano consumido escapó a la degradación microbial y enzimática en el tracto gastrointestinal de los novillos. En este sentido Poncet (47) encontró que el almidón de banano se digiere en el rumen menos intensamente que el almidón de cebada, por lo que debe aparecer más pronto en el intestino almidón de banano que el de cebada. El escape

del banano de procesos digestivos muy bien podría ocurrir también en los intestinos, como resultado de incrementos en el consumo. Esta hipótesis se basa en hallazgos con otras fuentes de almidón que muestran que ocurren disminuciones en su degradación ruminal al incrementarse su consumo (27, 58, 76) además de descender también la digestión del almidón en el intestino delgado (16, 70). Debe además recordarse que los rumiantes en general tienen una menor capacidad amilolítica que los no rumiantes, debido a procesos adaptativos congruentes con las características de sus dietas normales (73). Las Figuras 2 y 3 del presente trabajo muestran que niveles de banano superiores a alrededor de un 20 por ciento de la materia seca consumida tienen un efecto depresivo sobre la velocidad de digestión ruminal de banano y por ello, pueden haber contribuido a un escape creciente del material.

5.2 Tasas de flujo de líquido ruminal: efecto del consumo de niveles crecientes de banano verde

A pesar de las críticas anotadas en la literatura (12, 71, 72) respecto al uso del indicador PEG como estimador de tasas de recambio del líquido ruminal, es claro en el presente trabajo que niveles crecientes de banano verde asociados a disminuciones en el consumo de punta de caña, provocan aumentos en la velocidad de expulsión de la fase líquida del compartimiento rumino-reticular (Figura 7).

A diferencia de otros estudios (11, 13, 18), no se encontró una relación positiva clara entre la tasa de flujo del líquido ruminal y el consumo de materia seca. La generalización de que cuando aumenta la tasa de flujo debe ocurrir un incremento en el consumo de materia seca está basada en la deducción

lógica de que cualquier descongestión del retículo-rumen permitirá el ingreso de nuevo material (44). En este estudio no se observaron consumos crecientes de materia seca total al aumentar el nivel de banano debido al efecto sustitutivo que la suplementación con banano verde causó sobre el consumo de forraje (Cuadro 4A), corroborando lo encontrado por otros investigadores (44, 60, 64). Obviamente el comportamiento de las tasas de flujo en este caso fue función de la calidad o facilidad de fermentación de la dieta y no de la cantidad de materia seca consumida. Esto podría estar ocurriendo debido a que, por la naturaleza de las raciones utilizadas, el incremento de la concentración energética estaría ejerciendo algún control metabólico de consumo. Es necesario advertir, sin embargo, que para derivar conclusiones firmes acerca de la relación entre la tasa de flujo ruminal y el consumo debieran realizarse mediciones de tasa de flujo durante períodos más prolongados de tiempo.

Por otro lado Teeter y Owens (67) indican que el PEG se precipita ampliamente en presencia de taninos. Si esta situación ocurrió en el presente estudio dado que el banano contiene una alta concentración de taninos (15, 17, 45), los valores del Cuadro 6 estarían sobreestimados, siendo la discrepancia mayor conforme se hacen más altos los niveles de banano suplementario. Por estos mismos argumentos debe tomarse con reserva la tendencia descrita en la Figura 7.

En el Cuadro 9 se comparan los parámetros de digestión de banano verde obtenidos en este trabajo con los estimados para punta de caña por San Martín (60) bajo condiciones similares de alimentación. En él se observa que el banano verde es un material que sufre una degradación ruminal mayor y más

Cuadro 9. Tiempos de digestión media, digestibilidad potencial y tasas de digestión de banano verde y punta de caña obtenidos por la técnica de digestibilidad in situ.

Parámetro	Banano verde ^{a/}	Punta de caña ^{b/}
Tiempo de digestión media ^{c/} , h	19,4 ± 4,6	49,9 ± 21,0 ^{d/}
Digestibilidad potencial, %	91,0 ± 1,3	60,0 ± 7,0
Tasa de digestión	0,173 ± 0,049	0,043 ± 0,018

a/ Datos generados en el presente trabajo. Los valores corresponden a promedios de seis novillos fistulados consumiendo 0; 0,40; 0,80; 1,20; 1,26 y 1,78 kg de materia seca de banano por cada 100 kg de peso vivo/día.

b/ Datos generados por San Martín (60). Los valores corresponden a promedios de 6 novillos fistulados consumiendo 0; 0,39; 0,80; 1,20; 1,68 y 1,89 kg de materia seca de banano por cada 100 kg de peso vivo/día.

c/ Tiempo al que se degrada el 50 por ciento de la materia seca total.

d/ Promedio de 5 animales debido a que la punta de caña en el nivel de 1,89 kg de banano/100 kg PV presentó una digestibilidad potencial menor a 50%.

rápida que la punta de caña. Por ésto, la cantidad de material solubilizado que se incorpora como constituyente del líquido ruminal por unidad de tiempo será mayor conforme se incremente la proporción de banano en la dieta, lo cual explicaría por lo menos parcialmente la tendencia observada en la Figura 7.

El efecto depresivo observado en la degradación de materia seca de banano, asociado a niveles altos de consumo del mismo (Figura 3) no reduce el aporte de materia soluble que la ración total (punta de caña + banano) hace al líquido ruminal. Esta observación se hace al constatar que la tasa de digestión más baja mostrada en la Figura 3 (0,101 cuando $X_1 = 73,53\% = 1,78$ kg banano/100 kg

PV) es superior a la mayor tasa de digestión de la punta de caña que San Martín (60) encontró (0,072 con una suplementación de 0,39 kg banano/100 kg PV). Por ello se estima que a cualquier nivel de consumo de banano; éste se degrada en forma más rápida y extensa que la punta de caña. Consecuentemente a mayor ingestión de banano el aporte de materia soluble total al líquido ruminal aumentará.

5.3 Parámetros ruminales: efecto del consumo de niveles crecientes de banano verde

La disminución del pH rumino-reticular producida por la ingestión de niveles crecientes de banano verde (Figura 4) es atribuida, tal como lo demuestran diversos autores (16, 31, 38, 52, 79) al consumo de cantidades también crecientes de almidón, principal fracción química componente del banano. El consumo de un material rápidamente fermentable debe producir incrementos en la producción de ácidos grasos volátiles (64, 66) lo que causa una acidificación del medio. Esta acidificación fue menor a la esperada debido posiblemente a que la urea presente en el suplemento proteico tuvo algún efecto sobre el control de pH. A pesar de que en este trabajo no se detectaron diferencias ($P < 0,05$) en producción de ácidos grasos volátiles debidas a consumos aumentados de banano, la correlación entre el pH y el total de AGV fue de $-0,66$, indicando que, al menos parcialmente, éstos son responsables de las variaciones de aquél.

La concentración del total de los ácidos grasos volátiles en el licor ruminal de los novillos utilizados fue en promedio de $97,4 \pm 5,4$ miliequivalentes por litro de licor ruminal, sin observarse diferencias significativas debidas al consumo de banano, pero sí variaciones importantes a través del día (Cuadro

4). La contradicción aparente de obtener disminuciones en el pH ruminal no asociadas con aumentos en la concentración de AGV puede ser explicada por el hecho de que un aumento en la acidez del medio favorece la absorción de los AGV (73). Ello implicaría que si bien al incluirse banano en la ración se incrementa la producción de AGV con la consecuente disminución en el pH, a la vez esta condición promueve una más rápida absorción de los AGV producidos, por lo que la concentración de estos ácidos tiende a mantenerse constante. Además el aumento en las tasas de flujo del líquido ruminal asociado en el presente trabajo a niveles crecientes de banano en la dieta (Cuadro 6 y Figura 7) debe necesariamente promover un mayor escape de AGV hacia el tracto posterior, contribuyendo ésto también a mantener una concentración de AGV relativamente constante. Un tercer factor conducente a un estado de constancia en la concentración ruminal de AGV es la observación de Poncet (47) de que la fermentación del banano en el rumen es más regularizada que la de otras fuentes de almidón.

Sutton y Morant, citados por Sutton (65) indican que en dietas a base de forrajes la relación entre producción y concentración de los AGV en el rumen es bastante estrecha, pero que en dietas altas en carbohidratos fermentables se observa mucha variabilidad. Esto podría explicar en parte el hecho de que no se detectaron diferencias en la concentración de AGV debidas al consumo de niveles crecientes de banano, sin que ello deba interpretarse como un indicio de que la producción de AGV fue similar en todos los tratamientos.

Tal como se observa en el Cuadro 3 la producción molar del ácido propiónico no varió en función del consumo de niveles crecientes de banano verde,

ocurriendo un aumento del butírico a expensas del acético. La poca variación detectada en la concentración del ácido propiónico ($34,6 \pm 3,0\%$) para un rango tan amplio de niveles de banano (0 a 73.5 por ciento de la materia seca total consumida) parece explicarse por el hecho de que si bien niveles altos de almidón producen incrementos en la producción molar de propiónico (22, 31, 57, 66), también provocan incrementos en la tasa de flujo del fluido ruminal (Figura 7), lo que reduciría la proporción molar del mismo ácido. Esto ha sido comprobado tanto in vivo (20, 24) como in vitro usando fermentadores continuos (2). En consecuencia, la resultante sería la anulación de un efecto con el otro. Además, debe resaltarse que para todas las dietas las concentraciones relativas de ácido propiónico fueron muy elevadas. Church (9) en una revisión sobre el efecto de la ración sobre la producción de AGV en el rumen resume 69 observaciones para bovinos, de las cuales en 21 ocasiones se obtienen proporciones molares para ácido propiónico superiores al 30 por ciento, coincidiendo todas ellas con el consumo de raciones con un alto contenido de fuentes ricas en almidón.

Una observación particular es la alta proporción de ácido propiónico ($37,2 \pm 10,1\%$) observada en el tratamiento en el que sólo se ofrecía punta de caña y el suplemento proteico, lo cual puede parecer extraño; sin embargo cabe mencionar que la punta de caña contiene una proporción de carbohidratos no estructurales (principalmente azúcares solubles) significativamente mayor que el promedio encontrado en pastos tropicales pues los valores correspondientes son de 25 y 7 por ciento respectivamente (49, 63). Por ello, Preston y Leng (42)

aseveran que dietas basadas en caña de azúcar presentan por lo general proporciones altas (25 - 35%) de propionato.

La disminución de las proporciones molares de ácido acético ocurre cuando el consumo de fibra disminuye (42), situación que se dió en el presente estudio debido a los consumos crecientes de banano (Cuadro 2A).

Murphy et al (37) estimaron proporciones molares de AGV a partir de datos provenientes de la literatura para los diferentes constituyentes de las raciones en dietas a base de forrajes y concentrados. Dichos autores, además de confirmar el hecho de que los incrementos en ácido propiónico son debidos principalmente a aumentos en el consumo de almidón, indican que la presencia de carbohidratos solubles provocan importantes incrementos en el ácido butírico a expensas de acético. Los datos del presente estudio añaden evidencias al respecto y fortalecen esta conclusión.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Con base en los resultados del presente trabajo se concluye que:

1. La suplementación de bovinos con niveles de banano de alrededor del 20 por ciento de la materia seca total consumida promueve una degradación ruminal más rápida de la materia seca de banano. En cambio, niveles de banano superiores al 50 por ciento de la ración provocan un efecto francamente detrimento en la tasa de degradación del mismo.
2. La tasa de flujo del líquido ruminal se incrementa conforme se eleva la proporción de banano en la ración.
3. En raciones basadas en punta de caña la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) a nivel ruminal no es afectada por consumos crecientes de banano verde pero sí ocurre un aumento concomitante en el flujo ruminal y una disminución en el pH.
4. La presencia de banano en la dieta produce un patrón de fermentación típico de dietas altas en carbohidratos, con un tercio de los AGV totales como ácido propiónico con reducciones en la proporción molar de ácido acético a expensas del ácido butírico al incrementar el nivel de banano.

6.2 Recomendaciones

1. Comparar el uso del polietilenglicol con otros indicadores (complejos de EDTA con cromo, cobalto o iterbio) para estimar la tasa de flujo del líquido ruminal.
2. Cuantificar el efecto de la suplementación con niveles crecientes de banano verde sobre su escape de la fermentación ruminal, así como sobre su digestión post-ruminal.
3. Estudiar el efecto que los niveles de suplementación con banano aquí estudiados tendrían sobre los parámetros ruminales de bovinos alimentados con forrajes de menor contenido de carbohidratos solubles que punta de caña.
4. Determinar si los diferentes componentes químicos del banano verde (taninos, pectinas, etc.) poseen propiedades laxantes sobre el animal o precipitantes del polietilenglicol, a fin de explicar tasas de flujo del líquido ruminal tan altas como las detectadas en el presente trabajo a consumos elevados de banano.
5. Llevar a cabo experimentos similares al presente pero con períodos de medición más largos, con el propósito de evaluar la validez de los parámetros estudiados para predecir respuesta animal.

7. LITERATURA CITADA

1. ALPIZAR, J. Consumo de banano verde y crecimiento de bovinos de carne a diferentes presiones de pastoreo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 52 p.
2. BULL, L. S., RUMPLER, W. T., SWEENEY, T. F. y ZINN, R. A. Influence of ruminal turnover on site and extent of digestion. Federation Proceedings 38(13):2713-2719. 1979.
3. CASTRO, A. Investigación sobre utilización de los rechazos bananeros. 1. Disponibilidad de materia prima y su uso actual. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1974. 66 p.
4. CERDAS, R. Banano de desecho (Musa acuminata) como suplemento de vacas lecheras en pastoreo en diferentes estados de lactancia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1981. 52 p.
5. CERNING-BEROARD, J. y LE-DIVIDICH, J. Valeur alimentaire de quelques produits amylicés d'origine tropicale: étude in vitro et in vivo de la patate douce, de l'igname, du malanga, du fruit a pain et de la banane. Annales de Zootechnie 25(2):155-168. 1976.
6. CHALUPA, W. Manipulating rumenfermentation. Journal of Animal Science 45(3):585-599. 1977.
7. CHENG, K. J., AIKEN, D. E. y COSTERTON, J. W. Rumen bacteria: Interaction with particulate dietary components and response to dietary variation. Federation Proceedings 36(2):193-197. 1977.
8. CHENOST, M., GEOFFROY, F., BOUSQUET, P. y CANDAU, M. Possibilities of using bananas for the feeding of ruminants in humid tropical regions. The Journal of Agriculture of The University of Puerto Rico 50(4): 516-525. 1976.
9. CHURCH, D. G. Digestive physiology and nutrition of ruminants. Vol. 1. Digestive physiology. 2ed. Corvallis, Oregon, O B, 1975. 350 p.
10. DEVILLE, J., FIGON, C. y EMMANUEL, S. Comparación de la degradabilidad de algunos alimentos por medio de la técnica de la bolsa de fibra artificial. Producción Animal Tropical 5(1):54-57. 1980
11. EADIE, M. J.,HYLDGAARD-JENSEN, J., MANN, S. O., REID, R. S. y WHITELAW, F. C. Observations on the microbiology and biochemistry of the rumen in cattle given different quantities of a pellet barley ration. British Journal of Nutrition 24(1):157-177. 1970.

12. ELLIS, W. C., MATIS, J. H. y LASCANO, C. Quantitating ruminal turnover. *Federation Proceedings* 38(13):2702-2706. 1976.
13. EVANS, E. An evaluation of the relationships between dietary parameters and rumen liquid turnover rate. *Canadian Journal of Animal Science* 61(1):91-96. 1981.
14. FRENCH, D. Chemical and physical properties of starch. *Journal of Animal Science* 37(4):1048-1061. 1973.
15. FOO, L. Y. y PORTER, L. J. The structure of tannins of some edible fruits. *Journal of the Science Food and Agriculture* 32(7):711-716. 1981.
16. GALYEAN, M. L., WAGNER, D. G. y OWENS, F. N. Level of feed intake and site and extent of digestion of high concentrate diets by steers. *Journal of Animal Science* 49(1):199-203. 1979.
17. GOLDSTEIN, J. L. y SWAIN, T. Changes in tannins in ripening fruits. *Phytochemistry* 2(4):371-383. 1963.
18. GROVUM, W. L. y WILLIAMS, V. J. Rate of passage of digesta in sheep. 6. The effects of level of food intake on mathematical predictions of the kinetics of digesta in the reticulo-rumen and intestines. *British Journal of Nutritional* 38(3):425-436. 1977.
19. HALE, W. H. Influence of processing on the utilization of grains (starch) by ruminants. *Journal of Animal Science* 37(4):1075-1081. 1973.
20. HARRISON, D. G., BEEVER, D. E.; THOMSON, D. J. y OSBOURN, D. F. Manipulation of rumen fermentation in sheep by increasing the rate of flow of water from the rumen. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 85(1):93-101. 1975.
21. HARTNELL, C. F. y SATTER, L. D. Determination of rumen fill, retention time and ruminal turnover rate of ingesta at different stages of lactation in dairy cows. *Journal of Animal Science* 48(2):381-392. 1979.
22. HERBEIN, J. H., VAN MAANEN, R. W., MCGILLIARD, A. D. y YOUNG, J. W. Rumen propionate and blood glucose kinetics in growing cattle fed isoenergetic diets. *Journal of Nutrition* 108(6):994-1001. 1978.
23. HERRERA, E. Engorda de vacas de desecho con subproductos de caña y diversos niveles de almidón de banano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, URC-CATIE, 1974. 46 p.

24. HODGSON, J. C. y THOMAS, P. C. A relationship between the molar proportion of propionic acid and the clearance rate of the liquid phase in the rumen of the sheep. *British Journal of Nutrition* 33(3):447-456. 1975.
25. ISAACSON, H. R., HINDS, F. C., BRYANT, M. P. y OWENS, F. M. Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continuous culture. *Journal of Dairy Science* 58(11):1645-1659. 1975
26. ISIDOR, M. Efecto de diferentes niveles de proteína, pasto y raquis de banano sobre el crecimiento de novillos con consumo ad libitum de banano. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 50 p.
27. KARR, M. R., LITTLE, C. O. y MITCHELL, G. E. Starch disappearance from different segments of the digestive tract of steers. *Journal of Animal Science* 25(3):652-654. 1966.
28. LE DIVIDICH, J., GEOFFROY, F., CANOPE, I. y CHENOST, M. Utilización de bananos desechados para la alimentación de los animales. *Revista Mundial de Zootecnia* 20:22-20. 1976.
29. LE DIVIDICH, J., SEVE, B. y GEOFFROY, F. Préparation et utilisation de l'ensilage de banane en alimentation animale. *Annales de Zootechnie* 25(3):313-323. 1976.
30. LENG, R. A. y BRETT, D. J. Simultaneous measurement of the rates of production of acetic, propionic and butyric acids in the rumen of sheep on different diets and the correlation between production rates and concentrations of these acids. *British Journal of Nutrition* 20(3):541-552. 1966.
31. MACKIE, R. T., GILCHRIST, M. C., ROBERTS, A. M., HANNAH, P. E. y SCHWARTZ, H. M. Microbiological changes in the rumen during the stepwise adaptation of sheep to high concentrate diets. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 90(2):241-254. 1978.
32. MACRAE, J. C. y ARMSTRONG, D. G. Studies on intestinal digestion in the sheep. 2. Digestion of some carbohydrate constituents in hay, cereal and hay-cereal rations. *British Journal of Nutrition* 23(2): 377-387. 1969.
33. MALAWER, S. J. y POWELL, D. W. An improved turbidimetric analysis of polyethyleneglycol utilizing and emulsifier. *Gastroenterology* 53(2): 250-156. 1967.
34. MEDINA, R. Tasas de digestión y digestibilidad potencial ruminal de materiales fibrosos en función de niveles de almidón suplementario. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1980. 69 p.

35. MEHREZ, A. Z. y ØRSKOV, E. R. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 88(3):645-650. 1977.
36. MORRISON, I. M. Carbohydrate chemistry and rumen digestion. *Proceedings of the Nutrition Society* 38(3):269-274. 1979.
37. MURPHY, M. R., BALDWIN, R. L. y KOONG, L. J. Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. *Journal of Animal Science* 55(2):4411-4421. 1982.
38. NILSON, K. M., OWEN, F. G. y GEORGI, C. E. Effect of abrupt ration change on rumen microorganisms and the niacin and vitamin B₆ content of rumen fluid and milk. *Journal of Dairy Science* 50(7):1172-1176. 1967.
39. OLIVO, R. Evaluación del crecimiento microbial in vitro con diferentes relaciones amilosa/amilopectina y almidón/sacarosa en el sustrato energético. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1978. 56 p.
40. ØRSKOV, E. R. Digestión post-ruminal de carbohidratos: grado e implicaciones. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 3(1):1-14. 1969.
41. ØRSKOV, E. R., FRASER, C. y KAY, R. N. B. Dietary factors influencing the digestion of starch in the rumen and small and large intestine of early weaned lambs. *British Journal of Nutrition* 23(2):217-226. 1969.
42. ØRSKOV, E. R. y McDONALD, I. Utilization of volatile fatty acids for maintenance and for energy retention. In L. E. Mount, ed. *Energy metabolism*. Butterworths, London and New York. 1979. pp. 147-150.
43. ØRSKOV, E. R., HOVELL, DeB F. D. y MOULD, F. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production* 5(2):195-213. 1980.
44. OWENS, F. N. Economy of rumen digestion: Introductory remarks. *Federation Proceedings* 38(13):2701. 1979.
45. PALMER, J. K. The Banana. In A. C. Hulme, ed. *The biochemistry of fruits and their products*. Vol. 2. Academic Press, London and New York. 1971. pp. 65-111.
46. PLAYNE, M. J., KHUMNUALTHONG, W. y ECHEVARRIA, M. J. Factors affecting the digestion of oesophageal fistula samples and hay samples in nylon bags in the rumen of cattle. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* 90(1):193-204. 1978.

47. PONCET, C. Utilisation digestive comparée de l'orge, de la banana verte et de la banana ensilée chez la chèvre. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique* 13(4):699-796. 1973.
48. PRANGE, R. W., STERN, M. D., RODE, L. M., SANTOS, K. A., JORGENSEN, N. A. y SATTER, L. D. The effects of altering hay-grain ratios on digestibility and rate of passage of dry matter in lactating dairy cows. *Journal of Animal Science* 49 (Supplement) 1:389. 1979. Compendio.
49. PRESTON, T. R. y LENG, R. A. Utilization of tropical feeds by ruminants. In Y. Ruckebusch y P. Thivend, eds. *Digestive physiology and metabolism in ruminants*. AVI, Westport, Co, USA. 1980. pp. 621-640.
50. PRIEGO, A., WILSON, A. y SUTHERLAND, T. M. Efecto de la caña de azúcar picada y suplementada con pulidura de arroz o harina de yuca sobre los parámetros de fermentación ruminal y la tasa de líquido ruminal en toros cebú. *Producción Animal Tropical* 2(3):301-308. 1977.
51. RAVELO, G., BORDAS, F. y HOVELL, DeB F. D. El flujo de almidón en el abomaso de animales alimentados con caña de azúcar suplementados con afrecho de trigo o raíz seca de yuca. *Producción Animal Tropical* 3(3):259-266. 1978.
52. REID, R. L., HOGAN, J. P. y BRIGGS, P. K. The effect of diet on individual volatile fatty acids in the rumen of sheep, with particular reference to the effect of low rumen pH and adaptation on high starch diets. *Australian Journal of Agricultural Research* 8(6):691-670. 1957.
53. ROLDAN, G. Degradación ruminal de algunos forrajes proteicos en función del consumo de banana verde suplementario. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1981. 71 p.
54. ROWE, J. B., RAVELO, G., BORDAS, F. y PRESTON, T. R. La digestión del arroz proporcionado como un suplemento en una dieta basada en melaza. *Producción Animal Tropical* 4(3):250-255. 1979.
55. RUIZ, G., BOBADILLA, M. y HOVELL, DeB F. D. Efecto del afrecho de trigo sobre la fermentación ruminal, volumen del rumen y tasa de flujo en toros cebú alimentados con caña de azúcar integral picada. *Producción Animal Tropical* 3(3):247-258. 1978.
56. RUIZ, M. E. Uso de subproductos en la alimentación animal. In H. Muñoz y C. León Velarde, eds. *Técnicas modernas de la producción animal en el trópico*. Tegucigalpa, 1980. Simposio EXPICA 80. Tegucigalpa, Honduras, 1980. pp. 150-169.

57. RUMSEY, T. S., PUTNAM, P. A., BOND, J. y OLTJEN, R. R. Influence of level and type of diet on ruminal pH and VFA, respiratory rate and FKG patterns of steers. *Journal of Animal Science* 31(3):608-616. 1970.
58. RUSSELL, J. R., YOUNG, A. W. y JORGENSEN, N. A. Effect of dietary corn starch intake on ruminal, small intestinal and large intestinal starch digestion in cattle. *Journal of Animal Science* 52(5):1170-1176. 1981.
59. RUSSELL, J. R., YOUNG, A. W. y JORGENSEN, N. A. Effect of dietary corn starch intake on pancreatic amilase and intestinal maltase and pH in cattle. *Journal of Animal Science* 52(5):1177-1182. 1981.
60. SAN MARTIN, F. Digestibilidad, tasas de digestión y consumo de forraje en función de la suplementación con banano verde. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1980. 59 p.
61. SANTANA, A. y HOVELL, DeB F. D. Estudio sobre la digestión de diversas fuentes de almidón utilizando la técnica de bolsas en vivo. *Producción Animal Tropical* 4(1):106-107. 1979 (compendio)
62. SLYTER, L. L., OLTJEN, R. R., KERN, D. L. y BLANK, F. C. Influence of type and level of grain and diethylstilbestrol on the rumen microbial population os steers fed all-concentrate diets. *Journal of Animal Science* 31(5):996-1002. 1970.
63. SMITH, D. The non-structural carbohydrates, In G. W. Butler y R. W. Bailey, eds. *Chemistry and biochemistry of herbage*. Academic Press. London and New York. 1973. pp. 105-155.
64. SUTTON, J. D. The rate of carbohydrate fermentation in the rumen. *Proceedings of the Nutrition Society* 30(1):36-42. 1971.
65. SUTTON, J. D. Carbohydrate fermentation in the rumen. Variations on a theme. *Proceedings of the Nutrition Society* 38(3):275-281. 1979.
66. SUTTON, J. D. Digestion and end-products formation in the rumen from production rations. In Y. Ruckebusch y P. Thivend, eds. *Digestive physiology and metabolism in ruminants*. AVI, Westport, Co., USA. 1980. pp. 271-290.
67. TEETER, R. G. y OWENS, F. N. Characteristics of water soluble markers for measuring rumen liquid volume and dilution rate. *Journal of Animal Science* 56(3):717-728. 1983.
68. THIVEND, P. y JOURNET, M. Utilisation de l'amidon de l'orge pour les ruminants. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique* 8(3): 449-455. 1968.

69. TOLAND, P. C. Loss of starch and fiber of whole grain in nylon bags suspended in the rumen of steers. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*. 92(1):243-245. 1979.
70. TUCKER, R. E., MITCHELL, G. E. y LITTLE, C. O. Ruminal and post-ruminal starch digestion in sheep. *Journal of Animal Science* 27(3):824-826. 1968.
71. TULLOH, N. M., HUGHES, J. W. y NEWTH, R. P. Physical studies of the alimentary tract of grazing cattle. 1. Measurements of volume of water in the reticulo-rumen. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 8(3):636-651. 1965.
72. ULYATT, M. J. The use of polyethylene glycol as a marker for measuring rumen water volume and the rate of flow of water from the rumen of grazing sheep. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 7(4):713-722. 1964.
73. VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. Corvallis, Oregon, O B, 1982. 374 p.
74. VILLEGAS, L. A. Suplementación con banano verde a vacas lecheras en pastoreo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR-CATIE, 1979.
75. VOHNOUT, K. y JIMENEZ, C. Supplemental by-product feeds in pasture livestock feeding systems in the tropics. Symposium on Tropical Forages in Livestock Production Systems. Madison, American Society of Agronomy. Special Publication no. 24. pp. 71-82.
76. WALDO, D. R., KEYS, J. E. y GORDON, C. H. Corn starch digestion in the bovine. *Journal of Animal Science* 33(2):305. 1971. (Compendio).
77. WALDO, D. R. Extent and partition of cereal grain starch digestion in ruminants. *Journal of Animal Science* 37(4):1062-1074. 1973.
78. WHEELER, W. E., NOLLER, C. H. y COPPOCK, C. E. Effect of forage to concentrate ratio in complete feeds and feed intake of digestion starch by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 58(12):1902-1096. 1975.
79. WHEELER, W. E. Gastrointestinal tract pH environment and the influence of buffering materials on the performance of ruminants. *Journal of Animal Science* 51(1):224-235. 1980.

8. A P E N D I C E

Cuadro IV. Consumo de materia seca a/, proteína b/ y energía metabolizable c/ provenientes de los diferentes componentes de las dietas experimentales durante la prueba de digestibilidad de bano verde (Promedios de cuatro días)

Componente	83			87			80			97			84			96		
	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM
Banano	0,00	0	0,00	1,24	63	3,72	2,04	105	6,12	4,61	225	13,23	5,07	259	15,21	7,47	381	22,41
Punta de caña	3,38	182	3,38	4,12	222	9,85	3,10	170	7,55	3,76	203	8,99	2,83	153	6,76	1,09	59	2,61
Harina de carne	0,68	287	1,88	0,69	291	1,90	0,53	224	1,46	0,77	325	2,13	0,82	346	2,26	0,91	384	2,51
Melaza	0,31	13	1,02	0,35	15	1,16	0,29	12	0,96	0,41	17	1,35	0,45	19	1,49	0,47	20	1,55
Urea	0,15	431	-	0,15	431	-	0,12	345	-	0,17	489	-	0,18	518	-	0,20	575	-
Total	4,52	913	10,98	6,55	1022	16,63	6,14	856	16,09	9,52	1259	25,7	9,35	1295	25,72	10,14	1419	29,08

a/ Kilogramos por día

b/ Gramos por día

c/ Megacalorías por día

Cuadro 2A. Consumo de materia seca ^{a/}, proteína cruda ^{b/} y energía metabolizable ^{c/} provenientes de los diferentes componentes de las dietas experimentales durante la prueba de determinación de parámetros ruminales (Promedios de tres años).

Componente	83			87			80			97			84			96		
	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM
Manano	0,00	0	0,00	1,28	65	3,84	2,25	115	6,75	4,66	238	13,98	5,12	261	15,36	6,80	347	20,40
Punta de caña	4,00	216	9,56	3,63	196	8,68	3,12	168	7,46	3,16	171	7,55	2,75	149	6,57	1,16	63	2,77
Harina de carne	0,68	287	1,88	0,69	291	1,90	0,53	224	1,46	0,77	325	2,13	0,82	345	2,26	0,91	384	2,51
Melaza	0,31	13	1,02	0,35	15	1,16	0,29	12	0,96	0,41	17	1,35	0,45	19	1,49	0,47	20	1,55
Úrea	0,15	431	-	0,15	431	-	0,12	345	-	0,17	489	-	0,18	518	-	0,20	575	-
Total	5,14	947	12,46	6,10	998	15,58	6,31	864	16,63	9,17	1240	25,01	9,32	1292	25,68	9,54	1389	27,23

^{a/} Kilogramos por día

^{b/} Gramos por día

^{c/} Megacalorías por día

Cuadro 3A. Consumo de materia seca ^{a/}; proteína cruda ^{b/}; y energía metabolizable ^{c/} provenientes de los diferentes componentes de las dietas experimentales durante la prueba de medición de flujo del líquido ruminal (promedio de cuatro días)

Animal	90			87			83			97			84			96		
	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM	MS	PC	EM
Banano	0,00	0	0,00	1,26	64	3,78	2,08	106	6,24	3,07	157	9,21	3,80	194	11,40	5,97	304	17,91
Punta de caña	4,78	258	11,42	3,19	172	7,62	2,88	156	6,88	2,60	140	6,21	2,75	149	6,57	1,29	70	3,80
Harina de carne	0,77	326	2,13	0,69	290	1,90	0,51	217	1,41	0,77	323	2,13	0,82	346	2,26	0,93	392	2,57
Melaza	0,36	15	1,18	0,35	15	1,15	0,29	12	0,95	0,43	18	1,41	0,46	19	1,51	0,49	20	1,61
Urea	0,17	489	-	0,15	435	-	0,11	326	-	0,17	484	-	0,18	518	-	0,20	588	-
	6,08	1088	14,73	5,64	976	14,45	5,87	817	15,48	7,04	1122	18,96	8,01	1226	21,74	8,88	1374	25,17

^{a/} Kilogramos por día

^{b/} Gramos por día

^{c/} Megacalorías por día

Cuadro 4A. Consumo (promedio de cuatro días) de materia seca, materia seca de banano, proteína cruda y energía metabolizable en función del peso vivo y peso metabólico durante la prueba de digestibilidad

Animal	Materia seca		Banano		Proteína cruda		Energía metabolizable	
	kg/100kgPV	g/kgP ^{0,75}	kg/100kgPV	g/kgP ^{0,75}	g/100/kgPV	g/kgP ^{0,75}	Mcal/100kgPV	Mcal/kgP ^{0,75}
83	1,64	66,93	0,00	0,00	332	13,52	3,99	0,163
87	2,12	88,87	0,40	16,82	331	13,87	5,38	0,226
80	2,42	96,51	0,80	32,07	336	13,45	6,33	0,253
97	2,59	113,54	1,20	52,59	343	15,01	7,00	0,306
84	2,32	103,95	1,26	56,36	322	14,40	6,38	0,286
96	2,41	109,29	1,78	80,51	338	15,29	6,92	0,313

Cuadro 5A. Consumo (promedio de tres días) de materia seca, materia seca de banano, proteína cruda y energía metabolizable en función del peso vivo y peso metabólico durante la prueba de determinación de parámetros ruminales.

Animal	Materia seca		Banano		Proteína cruda		Energía metabolizable	
	kg/100kgPV	g/kgP ^{0,75}	kg/100kgPV	g/kgP ^{0,75}	g/100kgPV	g/kg P ^{0,75}	Mcal/100kgPV	Mcal/kgP ^{0,75}
83	1,87	76,11	0,00	0,00	344	14,02	4,53	0,185
87	1,91	80,62	0,40	16,91	312	13,19	4,87	0,206
80	2,25	91,94	0,80	32,78	307	12,59	5,92	0,242
97	2,36	104,69	1,20	53,20	319	14,16	6,43	0,286
84	2,24	101,00	1,23	55,48	310	14,02	6,16	0,278
96	2,25	102,10	1,60	72,77	328	14,87	6,42	0,291

Cuadro 6A. Consumo (promedio de tres días) de materia seca, materia seca de banano, proteína seca de banano, proteína cruda y energía metabolizable en función del peso vivo y peso metabólico durante la prueba de determinación de tasas de flujo del líquido ruminal.

Animal	Materia seca		Banano		Proteína cruda		Energía metabolizable	
	kg/100kgPV	g/kgP ^{0,75}	kg/100kgPV	g/kgP ^{0,75}	kg/100kgPV	g/kgP ^{0,75}	Mcal/100kgPV	Mcal/kgP ^{0,75}
90	1,90	80,36	0,00	0,00	340	14,38	4,60	0,195
87	1,80	75,72	0,39	16,89	311	13,08	4,60	0,194
80	2,26	90,84	0,80	32,11	314	12,62	5,95	0,239
97	1,85	81,23	0,81	35,67	295	13,04	4,99	0,220
84	1,95	88,05	0,93	41,70	299	13,46	5,30	0,239
96	2,03	93,07	1,37	62,47	314	14,38	5,76	0,263

Cuadro 7A. Parámetros, sus desviaciones y r^2 de la función que definió la digestibilidad de la materia seca de banano en función del tiempo $\frac{a}{-}$, para los diferentes niveles de banano suplementario.

Nivel de banano %	Parámetros			r^2			
	$A \pm S_a$	$B \pm S_b$	$C \pm S_c$				
0,0	0,0109	0,0005	0,1579	0,0337	0,1543	0,0144	0,99
18,9	0,0109	0,0002	0,2988	0,0511	0,2342	0,0142	0,99
33,2	0,0110	0,0008	0,2510	0,1219	0,2010	0,0352	0,97
46,3	0,0113	0,0007	0,3215	0,1369	0,2036	0,0284	0,98
54,2	0,0107	0,0005	0,1793	0,0426	0,1446	0,0144	0,99
73,5	0,0110	0,0016	0,1510	0,0678	0,1011	0,0279	0,96

$$\frac{a}{-} \text{ Digestibilidad de la materia seca: } Y_4 = \frac{1}{A + Be^{-ct}}$$