

PREDICCIÓN DEL CONSUMO DE PASTOS POR BOVINOS EN  
BASE A TÉCNICAS DE LABORATORIO

Tesis de Grado Magister Scientiae

J. Danilo A. Pezo Quevedo



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Ganadería Tropical  
Turrialba, Costa Rica  
Setiembre, 1974

PREDICCIÓN DEL CONSUMO DE PASTOS POR BOVINOS  
EN BASE A TÉCNICAS DE LABORATORIO

Tesis

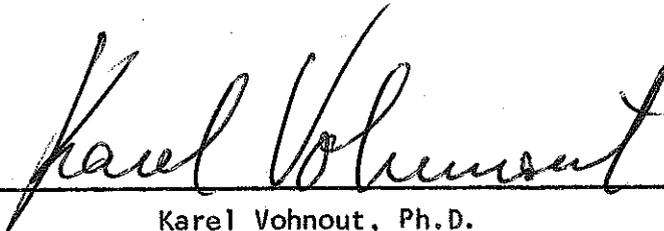
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados  
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



---

Karel Vohnout, Ph.D.

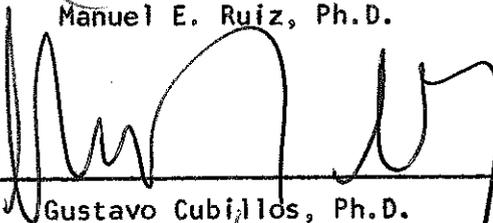
Consejero



---

Manuel E. Ruiz, Ph.D.

Comité



---

Gustavo Cubillos, Ph.D.

Comité



---

Víctor Quiroga, Mag. Sc.

Comité

Setiembre, 1974

DEDICATORIA

A Danilo y Carmela, mis padres

A Carmen Graciela y Carlos, mis hermanos

A Ana Isabel

## AGRADECIMIENTO

El autor expresa su sincero agradecimiento:

Al Dr. Karel Vohnout, Consejero Principal, por su valiosa colaboración en el desarrollo del presente trabajo y su constante apoyo durante mi estada en Turrialba.

A los Doctores Manuel E. Ruíz y Gustavo Cubillos, miembros del Comité Consejero, por la colaboración prestada.

Al Ing. Víctor Quiroga, miembro del Comité Consejero, por sus valiosas sugerencias y facilidades prestadas.

Al Ing. Carlos León-Velarde y a los estudiantes de la Universidad de Costa Rica, señores César Colmenares y Rómulo Olivo, por su activa participación en los análisis químicos.

Al Dr. Héctor Muñoz, Jefe del Departamento de Ganadería Tropical.

Al Méd. Vet. Orlando Bazán A., mi compañero y amigo.

Al personal de los Laboratorios del Departamento de Ganadería Tropical y de la División de Estadística y Computación del IICA.

A la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, por las facilidades para realizar parte de los análisis químicos.

A la Dirección Regional para la Zona Andina del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA.

A todas las personas que en una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo de tesis.

## BIOGRAFIA

El autor nació en Lima, Perú, el 31 de marzo de 1948. Realizó sus estudios primarios y secundarios en el Colegio La Salle.

Cursó sus estudios universitarios en la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde obtuvo el título de Ingeniero Zootecnista en diciembre de 1969. En enero de 1970 ingresó como Asistente en los Programas de Investigación en Forrajes y Nutrición Animal de la Misión Agrícola de la Universidad de Carolina del Norte en el Perú.

En enero de 1973 ingresó como estudiante graduado al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, en Turrialba, Costa Rica, para realizar estudios de postgrado en el Departamento de Ganadería Tropical, egresando en setiembre de 1974.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION .....	1
2. REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1 Métodos para determinar el consumo de forrajes ....	3
2.1.1 Uso de la lignina como indicador .....	4
2.1.2 Uso de la sílice como indicador .....	4
2.1.3 Uso de otros indicadores .....	5
2.1.4 Uso de la digestibilidad <u>in vitro</u> .....	5
2.2 Predicción del valor nutritivo de los pastos .....	5
2.2.1 Uso de las fracciones químicas .....	5
2.2.2 Uso de pruebas de solubilidad .....	7
2.2.3 Uso de parámetros de digestión <u>in vitro</u> ...	7
2.2.4 Uso de otros parámetros .....	8
3. MATERIALES Y METODOS .....	10
3.1 Localización .....	10
3.2 Pastos .....	10
3.3 Análisis de laboratorio .....	10
3.4 Análisis de la información .....	11
4. RESULTADOS Y DISCUSION .....	15
4.1 Parámetros de digestión <u>in vitro</u> .....	15
4.2 Estimación del consumo .....	27
4.2.1 Utilización de indicadores .....	27
4.2.2 Utilización de las fracciones químicas ....	31
4.2.3 Utilización de parámetros de digestión ....	34
4.3 Sistema propuesto para predecir el consumo en pastoreo .....	38
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40

	<u>Página</u>
6. RESUMEN .....	41
6a. SUMMARY .....	43
7. LITERATURA CITADA .....	45
APENDICE .....	58

## LISTA DE CUADROS

## TEXTO

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
1	Tasa de aceleración de la digestión (c) en seis pastos tropicales y a tres edades de corte .....	16
2	Tasa de inhibición de la digestión (ac) en seis pastos tropicales y a tres edades de corte .....	16
3	Por ciento de digestibilidad máxima (1/a) en seis pastos tropicales y a tres edades de corte .....	17
4	Análisis de variancia para los parámetros de digestión .....	17
5	Valores de $r^2$ de la predicción de la Tasa de la Aceleración de la Digestión (c) en función de diferentes fracciones químicas en seis pastos tropicales .....	22
6	Valores de $r^2$ de la predicción de la Tasa de Inhibición de la Digestión (ac) en función de diferentes fracciones químicas, en seis pastos tropicales .....	23
7	Valores de $R^2$ de la predicción de la Tasa de Aceleración de la Digestión (c) en función de diferentes fracciones químicas, usando modelos de regresión lineal múltiple en seis pastos tropicales .....	25
8	Valores de $R^2$ de la predicción de la Tasa de Inhibición de la Digestión (ac) en función de diferentes fracciones químicas, usando modelos de regresión lineal múltiple en seis pastos tropicales .....	26
9	Valores de $r^2$ de la predicción de la digestibilidad potencial <u>in vitro</u> (1/a) en función de diferentes fracciones químicas, en seis pastos tropicales .....	28
10	Regresiones intra-clase de los consumos estimados usando diferentes indicadores y los consumos observados en seis pastos tropicales .....	29

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
11	Valores de $r^2$ de la predicción del consumo de materia seca por kilo de peso metabólico (P.75) en función de diferentes fracciones químicas, en seis pastos tropicales .....	32
12	Valores de $r^2$ de la predicción del consumo de Energía Digerible por Kilogramo de peso metabólico (P.75) en función de diferentes fracciones químicas, en seis pastos tropicales .....	33
13	Valores de $r^2$ de la predicción de los consumos de Materia Seca y de Energía Digerible por Kilogramo de peso metabólico en función de diferentes parámetros de digestión, en seis pastos tropicales ....	35
14	Valores de $R^2$ de la predicción del consumo de Materia Seca por Kilogramo de peso metabólico (P.75) en función de parámetros de velocidad de digestión y algunas fracciones químicas, usando modelos de regresión lineal múltiple en seis pastos tropicales .....	37

APENDICE

1	Composición química del forraje consumido. Dato en por ciento de materia seca .....	59
2	Composición química de las heces. Datos en por ciento de materia seca .....	60

## Lista de Figuras

<u>Figura N°</u>		
1	Tasa de digestión de la materia seca en seis gramíneas tropicales .....	19

## 1. INTRODUCCION

Es amplia la literatura sobre aspectos agronómicos de la producción forrajera. Asimismo, son varios, aunque menos numerosos, los experimentos de pastoreo evaluados en función del producto animal. Ellos por sí solos rara vez proveen una explicación adecuada para las diferencias encontradas en respuesta animal, las que en gran medida pueden ser debidas a diferencias en consumo y digestibilidad. Es por esta razón que las estimaciones que puedan hacerse de estos parámetros son de gran utilidad en la interpretación de los experimentos de pastoreo.

Las determinaciones en corral del consumo y digestibilidad no presentan mayores problemas metodológicos. En contraste, aún no se ha desarrollado una metodología confiable para condiciones de pastoreo. Para la medición del consumo en pastoreo se han propuesto métodos directos o agronómicos y métodos indirectos o de indicadores. La poca precisión observada en las estimaciones del consumo hechas mediante técnicas agronómicas, ha llevado a la preferencia de los métodos indirectos, pese a que la metodología desarrollada con forrajes de zona templada no está aún suficientemente perfeccionada y es poca la información existente sobre el uso de estas técnicas en forrajes tropicales.

El desarrollo de métodos de análisis químico con mayor sentido biológico que los métodos tradicionales, y de técnicas in vitro para determinar la digestibilidad, han abierto nuevas posibilidades en la evaluación nutritiva de los forrajes. El que sean de determinación fácil y rápida, y más económicas que los ensayos con animales, justifica el que se busque desarrollar una metodología para estimar el consumo en base a estas técnicas de laboratorio.

De acuerdo a estas consideraciones, el presente estudio tuvo como objetivos:

1. Evaluar el uso de la lignina, la sílice y la fibra detergente ácido, como indicadores para estimar el consumo.
2. Evaluar parámetros de digestibilidad in vitro tales como las digestibilidades a 48 y 96 horas y la digestibilidad potencial, como estimadores del consumo.
3. Desarrollar ecuaciones de predicción del consumo, en base a fracciones químicas y parámetros de la digestibilidad.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Métodos para determinar el consumo de forrajes

Las estimaciones del consumo y digestibilidad de los pastos en corral no constituyen un problema, estando la metodología ampliamente descrita en la literatura (66, 86). Sin embargo, la determinación en corral del valor nutritivo de las pasturas, no puede ser extrapolada a condiciones de pastoreo (86, 122). Los ensayos en corral no consideran que el animal que pastorea tiene la oportunidad de seleccionar el pasto que consume y que el forraje disponible puede estar influenciado por la fertilización, presión de pastoreo y otros factores de manejo de la pastura (81).

Para las determinaciones de consumo en pastoreo se han desarrollado diversos métodos, los que se pueden agrupar en métodos directos o agronómicos e indirectos. Los métodos directos consisten en medir la diferencia entre los rendimientos estimados antes y después del pastoreo (30). Si bien son simples y de bajo costo, presentan en cambio desventajas por su poca precisión (7, 20, 51, 99, 121). Los métodos indirectos suponen el uso de indicadores internos o externos. Los primeros se presentan como componentes normales del forraje y los segundos necesitan ser administrados al animal (53). Como indicador se prefiere una sustancia completamente in digerible, de determinación química fácil, rápida y precisa (23). Los métodos de indicadores deben dar una estimación precisa del consumo, deben ser aplicables a todo tipo de forraje y a cualquier animal individual (44).

Los indicadores pueden ser usados siguiendo técnicas de relación o de índices fecales (53). Las técnicas de relación se basan en que la cantidad consumida del indicador debe ser la misma que la excretada (7), por

lo que deberá determinarse la concentración del indicador en alimento y heces. Las técnicas de índices fecales usan la concentración del indicador en las heces para obtener ecuaciones empíricas y poder predecir a partir de éstas el consumo. Sin embargo, la utilización de las ecuaciones obtenidas por estas técnicas debe limitarse a las situaciones locales de especie (36, 76), e incluso de variedad (88). La extrapolación de estas relaciones no presenta una adecuada repetibilidad (62, 98, 122).

#### 2.1.1 Uso de la lignina como indicador

La lignina es un componente natural del forraje que ha sido considerado indigerible. Se ha usado con algún éxito como indicador en técnicas de relación para estimar consumo (10, 28, 52, 121). Sin embargo, la lignina no es una entidad química definida (118) y es digerida parcialmente en el tracto digestivo (73, 102). Además, en procesos normales de digestión (5) o en procesos deficientes de secado (44, 49), se forman sustancias que al análisis químico aparecen como lignina. Todo esto ha provocado fallas en la estimación del consumo usándola como indicador (15, 44).

#### 2.1.2 Uso de la sílice como indicador

La sílice es otro componente natural del forraje que ha sido propuesto como indicador (71, 111). Sin embargo, al estar la sílice del forraje compuesta por fracciones de diferentes solubilidad (18), y por ser un componente importante del suelo que contamina muestras de forraje y heces, no ha funcionado como un indicador adecuado para estimaciones de consumo (47, 84).

### 2.1.3 Uso de otros indicadores

Se ha estudiado el uso del nitrógeno no asimilable (25, 105), cromógenos (25, 57), xantofilas totales (60), luteína (78), celulosa (73), residuos insolubles en HCl (109), óxido crómico (101), cobre y magnesio (84) y otros (75). De todos ellos, los mejores resultados han sido logrados con el nitrógeno como índice fecal (8, 25, 36, 76) y con los residuos insolubles en HCl como indicador de relación (109). Sin embargo, el éxito con estos indicadores ha estado limitado por la recuperación incompleta de los indicadores y por el carácter local de las ecuaciones propuestas (50, 57).

### 2.1.4 Uso de la digestibilidad in vitro

Se ha planteado el uso de la indigestibilidad in vitro del forraje como estimador del consumo (8, 105, 137). Esta técnica tiene la ventaja que no es necesario suponer indigestibilidad del indicador (44), que es donde ha radicado el mayor problema de los métodos indirectos para estimar el consumo. Sin embargo, los resultados en jaulas han discrepado de los alcanzados en pastoreo, ya sea por efecto del pastoreo selectivo o por errores de estimación de la digestibilidad en muestras obtenidas con animales fistulados al esófago (76).

## 2.2 Predicción del valor nutritivo de los pastos

### 2.2.1 Uso de las fracciones químicas

El desarrollo de nuevos conceptos de análisis de forrajes, más adecuados desde el punto de vista fisiológico que el análisis proximal de Weende (115), ha permitido un mejor entendimiento de las relaciones entre las fracciones químicas y el valor nutritivo de los pastos. Sin embargo,

el valor nutritivo es un parámetro complejo, pues comprende los componentes : consumo, digestibilidad y eficiencia de utilización del alimento digerido (107).

Las fracciones fibrosas (agrupadas en los constituyentes de la pared celular) se consideran inhibidores de la digestión (27, 29, 113, 137). Las fracciones solubles (proteína, carbohidratos solubles, etc.) son consideradas aceleradores de la digestión (21, 123). Entre las fracciones fibrosas la lignina parece ser la más importante, al limitar la digestibilidad de los otros carbohidratos estructurales (11, 40, 43, 46, 69, 94). Se ha propuesto la existencia de un efecto físico de barrera y de alguna forma de enlace químico no hidrolizable por los procesos digestivos (69, 103). La segunda hipótesis parece más aceptable (118). La sílice es otra fracción que se considera limitante de la digestibilidad (117, 119), aunque en algunas especies no resulta importante (72, 89, 90). Aparentemente, la sílice soluble es la responsable del efecto inhibitorio; sin embargo, los mecanismos no están aún claros. Se ha propuesto como mecanismo de inhibición de la digestión una posible acción bacteriostática de la sílice soluble (112, 119), antes que el efecto de incrustación de la sílice en la matriz de la pared celular (71).

Se han logrado predicciones aceptables de la digestibilidad en base a fracciones individualizadas, cuando se ha trabajado a nivel de especie o variedad (5, 113), pero el valor de predicción se pierde al utilizar ecuaciones generales (97). Al considerar varias fracciones en ecuaciones de regresión múltiple se mejora la predicción (28, 112); sin embargo, los intentos para predecir la digestibilidad en base a fracciones químicas

utilizando ecuaciones generales, no han sido del todo exitosos (68, 72) y menos aún para predecir el consumo (116, 135). Las fallas pueden deberse a que las fracciones químicas consideradas no son uniformes química ni nutricionalmente (45, 80, 104). Asimismo, el por ciento de una fracción química representa la concentración total de la misma y no su distribución física en la planta, ni el grado de asociación química con otras fracciones (107). Además, pueden haber fracciones de importancia en la limitación del valor nutritivo, que no son consideradas en los análisis químicos usados corrientemente y pueden haber otras aún no identificadas.

#### 2.2.2 Uso de pruebas de solubilidad

Se han desarrollado pruebas de solubilidad con miras a predecir el valor nutritivo de los forrajes. La solubilidad de celulosa en etilen-diamino cúprico (37, 64, 110), la solubilidad en ácido sulfúrico normal (37, 64) o en pepsina ácida (42, 91) han sido usadas con mediano éxito para predecir digestibilidad y consumo. El uso de la hidrólisis celulósica ha dado predicciones aceptables de la digestibilidad (1). Sin embargo, todas estas técnicas están sujetas a limitaciones similares a las anotadas para los análisis químicos.

#### 2.2.3 Uso de parámetros de digestión in vitro

Se han logrado buenas predicciones de la digestibilidad a partir de datos obtenidos in vitro (41, 82, 83, 130, 131), aunque se han notado fallas con forrajes de baja calidad (24), posiblemente por deficiencia de nitrógeno para los microorganismos celulolíticos (106). Por lo general, las predicciones hechas en base a técnicas in vitro han resultado mejores que las basadas en pruebas de solubilidad o análisis químicos (3,

6, 38, 65, 97). El mayor problema radica en que se trabaja con microorganismos y no con reactivos químicos, por lo que las determinaciones presentan mayor variabilidad entre laboratorios y aún dentro de laboratorios (82). Sin embargo, la variabilidad puede ser controlada en parte por el uso de muestras estándar (3), por uniformización de la dieta del animal donante (52) y otros cuidados adicionales.

De acuerdo con la composición química observada en pastos tropicales (67, 128), parecería ser el "llenado del rumen" (12, 70, 136) el factor más importante de regulación del consumo. La hipótesis del llenado del rumen establece que un forraje más rápidamente digerido demorará menos en el retículo rumen, lo que determinará un mayor consumo (124, 137). El hecho que en la mayoría de estudios se logran predicciones aceptables del consumo a partir de digestibilidades en períodos cortos de incubación (34, 88, 92) parecería apoyar la hipótesis; pero el uso de la velocidad de digestión ha mostrado resultados controversiales (9, 41, 85), pues la digestibilidad no explica enteramente la regulación del consumo (89, 139).

#### 2.2.4 Uso de otros parámetros

Se han propuesto también parámetros físicos tales como la gravedad específica aparente, volumen en isopropanol y permeametría para la evaluación nutritiva de forrajes. Estos han resultado adecuados para predecir digestibilidad en forrajes frescos y henos (22). El índice de fibrosidad (13) ha dado buenas predicciones del consumo cuando se lo ha considerado conjuntamente con una fracción fibrosa (35). El índice de tamaño de partículas también pareció adecuado para predecir el consumo (130).

El uso de estos métodos ha sido muy limitado, pues la confiabilidad de las predicciones no es mucho mayor que la obtenida con parámetros de digestión in vitro. Además, son métodos tediosos, que en muchos casos requieren de equipo sofisticado.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización

El presente estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Ganadera y en los laboratorios del Departamento de Ganadería Tropical del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, en Turrialba. Parte de los análisis químicos se hizo en el Laboratorio de Agrostología de la Universidad de Costa Rica, en San José.

#### 3.2 Pastos

Se utilizaron muestras provenientes de 18 pruebas de consumo y digestibilidad por colección total (135), con 72 animales de razas Criollo, Jersey y Criollo x Jersey. Los pesos de los animales variaban entre 150 y 450 kilos. Los animales consumieron pastos correspondientes a cortes a las 4, 8 y 12 semanas, de seis gramíneas tropicales:

Pangola	( <u>Digitaria decumbens</u> Stent.)
Guinea	( <u>Panicum maximum</u> Jacq.)
Elefante	( <u>Pennisetum purpureum</u> Schumach.)
Pará	( <u>Brachiaria mutica</u> (Forsk.) Stapf)
Alemán	( <u>Echinochloa polystachia</u> (H.B.K.) Hitchc.)
<sup>Gromolote</sup> Gamalote	( <u>Paspalum fasciculatum</u> Willd)

#### 3.3 Análisis de laboratorio

En las muestras de forraje ofrecido y rechazado y en las heces se determinaron los constituyentes de pared celular (CPC) por el método de la solución buffer de lauril sulfato de sodio al 3 por ciento; la fibra detergente ácido (FDA) con una solución normal de ácido sulfúrico

conteniendo 2 por ciento de bromuro cetil-trimetil amonio; la lignina (L) por tratamiento de la FDA con permanganato de potasio y una solución buffer; la celulosa (C) por calcinación del residuo resultante. La sílice (Si) por tratamiento de las cenizas insolubles en detergente ácido con HBr al 48 por ciento; la hemicelulosa (H) por diferencia de los CPC menos la FDA (48). La proteína cruda (P) se determinó por el método micro-Kjeldahl (16). Para el análisis de los solubles en agua (Sol), se pesó 0,5 g de pasto, se adicionó 10 ml de agua destilada y se mantuvo en estufa incubadora a 39°C por 18 horas, al cabo de las cuales se filtró el residuo en papel Whatman n° 54 previamente tarado. Se secó por ocho horas a 105°C y se pesó.

Para el estudio de la velocidad de digestión se determinó, en el forraje ofrecido y rechazado, la digestibilidad de materia seca a 3, 6, 12, 24, 48 y 96 horas, usando la primera fase (celulolítica) de la digestión in vitro en dos etapas (125).

### 3.4 Análisis de la información

La digestibilidad in vitro estuvo definida por la función:

$$Y = \frac{1}{a + be^{-cX}} \quad \underline{\underline{117}}$$

donde:

- Y = Por ciento de digestibilidad in vitro de la materia seca
- 1/a =  $\lim Y$  cuando X tiende a infinito = digestibilidad potencial
- 1/a+b =  $\lim Y$  cuando X tiende a cero = digestibilidad inicial
- c = tasa de aceleración de la digestión
- X = tiempo de digestión en horas

Los parámetros de la digestión fueron definidos de la ecuación (derivada de la función 17):

$$\frac{dY}{dX} = (c - acY) Y \quad \underline{17}$$

donde:

c = tasa de aceleración de la digestión

ac = tasa de inhibición de la digestión

Los parámetros c, ac y 1/a se analizaron en un diseño jerárquico, de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = u + P_i + E_j(i) + A_k(ij) \quad \underline{13}$$

donde:

$Y_{ijk}$  = cualquier observación

u = media general

$P_i$  = efecto del pasto "i"

$E_j$  = efecto de la edad "j" dentro del pasto "i"

$A_k(ij)$  = efecto del animal "k" dentro de la edad "j" del pasto "i" = error

El consumo de materia seca de cada forraje se estimó utilizando la lignina, la sílice o la fibra detergente ácido como indicadores, a partir de la siguiente relación:

$$MSC = \frac{\% IH}{\% IC} \times MSH \quad \underline{14}$$

donde:

MSC = cantidad de materia seca consumida

MSH = cantidad de materia seca fecal

IC = indicador en la materia seca consumida

IH = indicador en la materia seca fecal

Con los datos de la digestibilidad in vitro de materia seca a 48 y 96 horas o el valor de digestibilidad potencial (1/a), el consumo se estimó a partir de la siguiente relación:

$$MSC = \frac{MSH}{100 - D} \times 100 \quad [5]$$

donde:

D = por ciento de digestibilidad

Los análisis de regresión entre los consumos estimados y observados, se hicieron usando el método de regresión lineal intra-clase (114), de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y = b_0 + b_1 X \quad [6]$$

donde: Y = consumo de materia seca observado (kg/día)

$b_0$  = valor de Y cuando X es cero

$b_1$  = coeficiente de regresión

X = consumo de materia seca (kg/día) estimado por la relación [4] ó [5]

Según la hipótesis de nulidad, si el comportamiento del indicador o estimador se ajusta a la relación [4] ó [5], la ecuación [6] debe presentar los valores  $b_0 = 0$  y  $b_1 = 1$ . Además, se hizo la evaluación del ajuste de la ecuación [6] con los valores de  $R^2$ .

La digestibilidad del forraje consumido se estimó mediante la relación:

$$\% Dc = \frac{\% Do \times Qo - \% Dr \times Qr}{Qo - Qr} \quad [7]$$

donde:

$D_c$  = digestibilidad del forraje consumido

$D_o$  = digestibilidad del forraje ofrecido

$D_r$  = digestibilidad del forraje rechazado

$Q_o$  = cantidad ofrecida de forraje

$Q_r$  = cantidad rechazada de forraje

La relación [7] se usó también para estimar la concentración de las diferentes fracciones químicas, substituyendo la digestibilidad por el por ciento de una fracción dada, tanto en el ofrecido como en el rechazado.

Se establecieron relaciones entre las diferentes fracciones químicas con las tasas de aceleración ( $c$ ) e inhibición ( $ac$ ) de la digestión, y con la digestibilidad potencial ( $1/a$ ). Asimismo, se establecieron relaciones de la composición química con los consumos de materia seca (MS) y de energía digerible (ED), expresados en base al peso metabólico ( $P^{.75}$ ). También se relacionaron la digestibilidad in vitro de MS, y las tasas de aceleración e inhibición de la digestión, con los consumos de MS y ED, por kilogramo de peso metabólico. Se probaron modelos lineales, logarítmicos, geométricos y cuadráticos, en análisis de regresión simple (120).

Para predecir las tasas de aceleración e inhibición de la digestión usando diferentes fracciones químicas, se hicieron análisis de regresión lineal múltiple (12). Asimismo, para predecir el consumo de MS por kilo de  $P^{.75}$  se utilizaron las tasas de aceleración e inhibición de la digestibilidad, conjuntamente con algunos componentes químicos, en análisis de regresión múltiple. Todos los análisis de regresión fueron probados tanto dentro de pastos individuales, como con todos los pastos combinados.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1 Parámetros de digestión in vitro

En el Cuadro 1 se muestran las tasas de aceleración (c) para los diferentes pastos y edades estudiados. Se puede observar que los valores de "c" disminuyen con la edad y son diferentes para las especies estudiadas; sin embargo, estas diferencias sólo fueron significativas ( $P \leq 0,01$ ) para el efecto de edades dentro de pastos (Cuadro 4).

En el caso de la tasa de inhibición de la digestión (Cuadro 2) sucede algo similar, no hay diferencias significativas debidas a pastos, pero sí debidas a edades dentro de pastos ( $P \leq 0,01$ ). Es de notar que era de esperarse "ac" se incrementara con la edad. Hay que considerar, sin embargo, que las especies tropicales crecen muy rápidamente y al haber trabajado con cortes a 4, 8 y 12 semanas, no ha sido posible observar disminuciones más marcadas en la digestibilidad, las que se podrían haber observado con cortes más tempranos (67, 128). Asimismo, si en el trabajo se hubiera considerado un rango más amplio de especies, por ejemplo gramíneas y leguminosas, las últimas posiblemente habrían mostrado mayores valores de tasa de aceleración de la digestión y menores valores de "ac" (41, 113, 126).

Respecto a las digestibilidades potenciales (1/a) obtenidas in vitro, se ve en el Cuadro 3 que hubieron diferencias entre pastos y entre edades. Esto había sido observado en trabajos previos (41, 95, 129). Los valores de 1/a variaron entre 40 y 60 por ciento, y las diferencias entre especies resultaron altamente significativas ( $P \leq 0,01$ ), como se muestra en el Cuadro 4. Sólo el guinea alcanzó un valor tan bajo como 42,5 por ciento; casi todos los demás pastos tuvieron alrededor de 58 por ciento de digestibilidad potencial. En cuanto al efecto de las edades sobre el valor 1/a,

Cuadro 1. Tasa de aceleración de la digestión (c) en seis pastos tropicales y a tres edades de corte.

P A S T O	E D A D (semanas)			$\bar{x}$
	4	8	12	
Gamalote	0,119	0,113	0,123	0,118
Alemán	0,221	0,085	0,065	0,124
Guinea	0,091	0,108	0,092	0,097
Pará	0,074	0,075	0,060	0,070
Elefante	0,071	0,075	0,080	0,075
Pangola	0,115	0,086	0,079	0,093
$\bar{x}$	0,115	0,090	0,083	0,096

Cuadro 2. Tasa de inhibición de la digestión (ac) en seis gramíneas tropicales y a tres edades de corte<sup>a/</sup>.

P A S T O	E D A D (semanas)			$\bar{x}$
	4	8	12	
Gamalote	0,221	0,219	0,234	0,225
Alemán	0,477	0,135	0,100	0,237
Guinea	0,201	0,266	0,230	0,232
Pará	0,137	0,130	0,103	0,123
Elefante	0,124	0,128	0,128	0,127
Pangola	0,198	0,151	0,140	0,163
$\bar{x}$	0,226	0,172	0,156	0,185

<sup>a/</sup> Los valores de "ac" se presentan multiplicados por  $10^2$  (ac x  $10^2$ ).

Cuadro 3. Por ciento de digestibilidad máxima (1/a) en seis pastos tropicales y a tres edades de corte.

P A S T O	E D A D (semanas)			$\bar{x}$
	4	8	12	
Gama lote	54,0	51,5	52,5	52,7
Alemán	47,1	62,9	64,6	58,2
Guinea	45,5	41,9	40,2	42,5
Pará	54,0	57,9	58,0	56,6
Elefante	57,1	58,9	63,2	59,7
Pangola	58,2	57,1	56,7	57,3
$\bar{x}$	52,7	55,0	55,9	54,5

Cuadro 4. Análisis de variancia para los parámetros de digestión.

Fuentes de variación	GL	CM		
		c	$ac \times 10^2$	1/a
Pastos	5	0,0057	3,4298	479,1037**
Edades/pastos	12	0,0052**	3,0601**	78,5286**
Animales/edades/pastos	54	0,0003	0,2246	3,3122

\* Significancia a nivel  $P \leq 0,05$

\*\* Significancia a nivel  $P \leq 0,01$

si bien las diferencias resultaron significativas ( $P < 0,01$ ), éstas no siguieron la tendencia esperada de reducirse con la edad de la planta (128). Nuevamente se ve aquí que las edades consideradas en el estudio fueron aparentemente muy avanzadas. Además, en el ensayo de digestibilidad in vivo (135) tampoco fue posible observar la tendencia de reducción de la digestibilidad con la madurez. Aparentemente hay un efecto confundido de edad de la planta con clima y suelo, ya que los ensayos in vivo fueron en diferentes períodos, y el forraje fue cosechado en diferentes potreros.

Es importante anotar que la variabilidad debida a edad, utilizada como error para el efecto de pastos, fue suficientemente grande como para enmascarar a esta última. Desde el punto de vista práctico, esto implicaría que para las tasas de digestión en gramíneas tropicales es más importante el estado de madurez que la especie misma.

La digestibilidad in vitro como función del tiempo de incubación (Fig. 1) quedó definida por la función  $Y = \frac{1}{a + be^{-cX}}$ . El ajuste conseguido fue bastante alto ( $r^2 = 0,920$  a  $0,998$ ). Para esta relación, en otros trabajos (26, 61), se ha propuesto una función de la forma  $Y = -be^{-cX}$ , que tiende a un valor asintótico. Para el presente estudio, es explicable que se haya ajustado a los datos una función de forma sigmoideal, ya que existe un período inicial de lenta digestión y de aceleración creciente (93). Esto es debido a un desequilibrio inicial en los microorganismos, por el cambio del rumen del animal al sistema in vitro (9), antes que a una pobre disponibilidad inicial de sustrato; ya que al humedecer la muestra 18 horas antes de la inoculación, se produjo la solubilización de la mayor parte de los constituyentes solubles y suspendidos del protoplasma (127). Esta

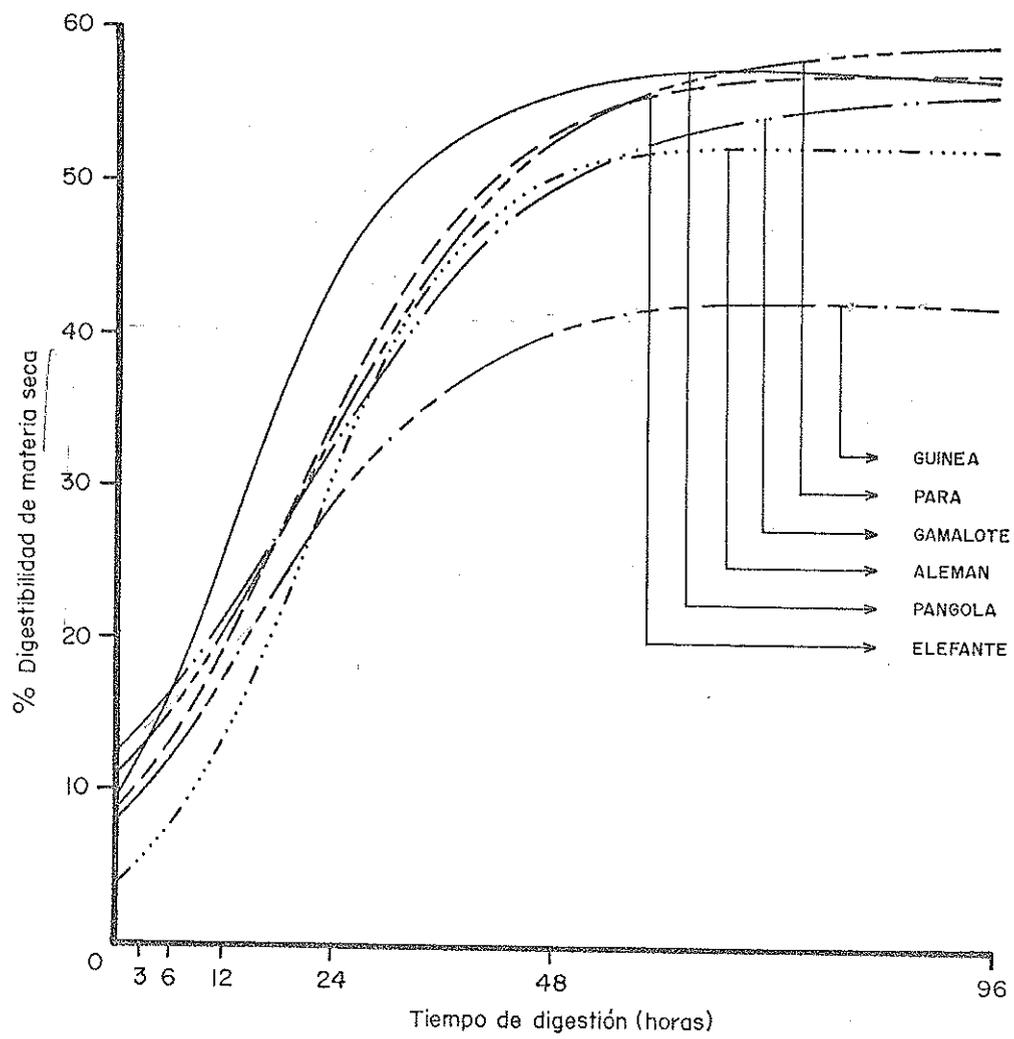


Fig. I.- Tasa de digestión de la materia seca en seis gramíneas tropicales.

solubilización también explica en parte que la digestibilidad inicial no sea cero, pues al correlacionar la digestibilidad inicial con el contenido de solubles en agua se obtuvo una correlación de  $r = 0,46$  ( $P \leq 0,01$ ). La solubilización inicial trajo como ventaja que se tuviera una buena repetibilidad en la digestibilidad a períodos cortos, en contraste a la alta variabilidad observada en otros trabajos en que se determinó la digestibilidad en períodos menores a las 12 horas de incubación (9, 14, 95).

El tiempo requerido para aproximarse a la digestibilidad máxima fue de 48 horas en la mayoría de especies. Pasado este período casi no hay cambios, lo cual implica la existencia de fracciones del forraje que son completamente indigeribles.

Con el fin de identificar las fracciones químicas de mayor importancia por su efecto acelerador o inhibidor de la digestión, se hicieron análisis de regresión simple y múltiple, utilizando las diferentes fracciones químicas como las variables independientes y las tasas de aceleración e inhibición de la digestión como la respuesta. Para fines del presente trabajo, se han considerado los valores de  $r^2$  como indicativos del grado de asociación entre las variables estudiadas. De manera general se puede señalar que las relaciones entre "c" y "ac" con las fracciones químicas fueron más altas dentro de especies, que en ecuaciones generales. Esto es consecuencia de que las fracciones químicas varían en estructura en las diferentes especies, lo que determina que la magnitud de la limitación de la digestibilidad por acción de una fracción química dada, no sea la misma en todas las especies. Por otro lado, las predicciones de "c" y "ac" se mejoraron cuando se consideraron varias fracciones químicas en análisis de regresión múltiple. Se entiende entonces, que son varias las fracciones

que actúan al mismo tiempo inhibiendo o promoviendo la digestión del forraje. Además, -en la mayoría de las relaciones entre tasas de aceleración e inhibición con las fracciones químicas, el modelo cuadrático fue el que presentó el mejor ajuste.

En los Cuadros 5 y 6 se observa que a nivel de especies individuales, la fibra detergente ácido pareció estar más relacionada con las tasas de aceleración e inhibición de la digestión que la fibra detergente neutro. Ambas fracciones difieren en la hemicelulosa (48), la que no es uniforme desde el punto de vista químico (45) ni fisiológico (104, 138). Esta sería la razón de la ventaja de la FDA sobre los CPC, para explicar diferencias en las tasas de aceleración e inhibición de la digestión.

De los componentes de la FDA, la lignina parece ser, en la mayoría de especies, la fracción más importante como limitante de la digestibilidad. Sin embargo, en pangola la sílice resultó ser la fracción mejor relacionada con las tasas de aceleración e inhibición de la digestión, por lo que debería prestársele más atención; más aún pensando en que se ha trabajado con sílice total y no con la sílice soluble, la que aparentemente tiene más influencia en la limitación de la digestibilidad (71, 119). La lignina ha mostrado una relación significativa ( $P \leq 0,01$ ) con "c" y "ac" sólo en gamalote, alemán y pará. Esto puede deberse a que el análisis químico usado mide la concentración total de lignina, no considerando el carácter cualitativo del complejo lignina:celulosa-hemicelulosa (5) o el grado de lignificación (11, 32).

En los Cuadros 5 y 6 se observa también que en algunas especies la proteína estuvo relacionada con las tasas de aceleración e inhibición de la digestibilidad. Sin embargo, esta relación no parece causal como se

Cuadro 5. Valores de  $r^2$  de la predicción de la Tasa de la Aceleración de la Digestión (c) en función de diferentes fracciones químicas, en seis pastos tropicales.

PASTO	FDN	FDA	H	C	L	SI	P
Gamalote	0,004 G	0,125 LN, C	0,431 C*	0,297 C	0,621 C**	0,410 C**	0,502 C**
Alemán	0,412 LG*	0,775 G**	0,277 C	0,854 C**	0,735 C**	0,549 C**	0,789 C**
Guinea	0,001 LN	0,196 C	0,045 C	0,156 C	0,271 C	0,201 C	0,213 C
Pará	0,042 LG, G	0,608 G, C**	0,675 C**	0,182 C	0,664 C**	0,569 C**	0,675 C**
Elefante	0,696 C**	0,596 C**	0,705 C**	0,041 C	0,320 C	0,496 C*	0,652 C**
Pangola	0,054 LN, C	0,700 C**	0,444 C*	0,401 LG, G*0,170 C		0,712 C**	0,492 C*
Todos	0,079 C*	0,022 C	0,004 C	0,079 C*	0,064 G*	0,086 C*	0,081 C*

LN = Modelo Lineal  
 LG = Modelo Logarítmico  
 G = Modelo Geométrico  
 C = Modelo Cuadrático

\* Significancia al nivel  $P \leq 0,05$

\*\* Significancia al nivel  $P \leq 0,01$

Cuadro 6. Valores de  $r^2$  de la predicción de la Tasa de Inhibición de la Digestión (ac) en función de diferentes fracciones químicas, en seis pastos tropicales.

PASTO	FDN	FDA	H	C	L	SI	P
Gamalote	0,006 G	0,254 C	0,453 C*	0,081 C	0,662 C**	0,343 C*	0,364 C*
Alemán	0,428 LG*	0,773 G**	0,287 LG	0,348 C*	0,686 C**	0,578 C**	0,731 C**
Guinea	0,015 LN	0,123 C	0,061 C	0,836 LG**	0,142 C	0,137 C	0,225 C
Pará	0,036 G	0,683 C**	0,655 C**	0,163 C	0,526 C**	0,524 C**	0,707 C**
Elefante	0,128 G	0,083 C	0,201 C	0,090 C	0,228 C	0,135 C	0,265 C
Pangola	0,050 LN, C	0,652 C**	0,400 C*	0,046 C	0,152 C	0,671 C**	0,502 C**
Todos	0,052 C*	0,019 C	0,009 C	0,376 G**	0,137 G**	0,088 C*	0,039 C

\* Significancia al nivel  $P \leq 0,05$

\*\* Significancia al nivel  $P \leq 0,01$

ha propuesto (2), ya que los niveles de proteína observados en los pastos analizados (Apéndice, Cuadro 1) no pueden considerarse limitantes de la actividad microbiana (87). Parece más bien una relación indirecta, pues a menos concentración de fracciones solubles hay un mayor contenido de carbohidratos estructurales (42, 113).

Cuando la tasa de aceleración de la digestión (c) se relacionó de manera múltiple con las diferentes fracciones químicas (Cuadro 7), se vio que en pasto alemán y en pará las fracciones fibrosas individualizadas estaban significativamente ( $P \leq 0,01$  y  $0,05$ , respectivamente) asociadas con los valores de "c". Las correlaciones, y por consiguiente los valores de  $R^2$ , fueron mayores cuando se consideraron además la sílice y la proteína. El que en la mayoría de pastos no se logren predicciones significativas es explicable por las mismas razones expuestas para las regresiones simples. Además, para estimar las tasas de digestión del forraje consumido se ha supuesto igual velocidad de digestión para el pasto ofrecido y rechazado, sin considerar que en consumo ad libitum el animal selecciona las porciones menos fibrosas de la planta (20, 66).

Al relacionar la tasa de inhibición de la digestión (ac) en análisis de regresión múltiple con las fracciones químicas (Cuadro 8), se lograron relaciones significativas en guinea ( $P \leq 0,01$ ), elefante y pangola ( $P \leq 0,05$ ), cuando se consideraron individualizadas las fracciones inhibidoras de la digestión (lignina, sílice, celulosa, hemicelulosa) y una fracción aceleradora de la digestión (proteína). En elefante y pangola se consiguieron correlaciones significativas ( $P \leq 0,01$ ) con la tasa de inhibición de la digestión (ac), al considerar la FDA con proteína, y la FDN con proteína más solubles en agua. En guinea se observaron grados de asociación

Cuadro 7. Valores de  $R^2$  de la predicción de la Tasa de Aceleración de la Digestión (c) en función de diferentes fracciones químicas, usando modelos de regresión lineal múltiple en seis gramíneas tropicales.

PASTO	H+C+L	H+C+L+SI	H+C+L+SI+P	FDA+L	FDN+L	FDN+P
Gamalote	0,326	0,462	0,614	0,496	0,004	0,325
Alemán	0,918**	0,927**	0,930**	0,715**	0,690**	0,658**
Guinea	0,102	0,189	0,224	0,103	0,063	0,070
Pará	0,674*	0,721*	0,897**	0,698**	0,438	0,706**
Elefante	0,497	0,542	0,543	0,391	0,270	0,212
Pangola	0,538	0,635	0,635	0,477	0,220	0,579*
Todos	0,059	0,122	0,166*	0,105*	0,115*	0,050

\* Significancia a nivel  $P \leq 0,05$

\*\* Significancia a nivel  $P \leq 0,01$

Cuadro 8. Valores de  $R^2$  de la predicción de la Tasa de Inhibición de la Digestión (ac) en función de diferentes fracciones químicas, usando modelos de regresión lineal múltiple en seis gramíneas tropicales.

PASTO	H+C+L	H+C+L+SI	H+C+L+SI+P	FDA+P	FDM+P+SoI
Gama lote	0,188	0,555	0,714	0,342	0,341
Alemán	0,138	0,153	0,284	0,015	0,202
Guinea	0,579	0,579	0,919**	0,191	0,719*
Pará	0,357	0,547	0,619	0,534*	0,511
Elefante	0,652*	0,784*	0,791*	0,641**	0,652*
Pangola	0,623	0,623	0,827*	0,779**	0,767**
Todos	0,062	0,094	0,253**	0,202**	0,249**

\* Significancia a nivel  $P < 0,05$

\*\* Significancia a nivel  $P < 0,01$

significativos ( $P \leq 0,05$ ) entre "ac" y el contenido de CPC, proteína y solubles en agua. En pará usando solamente la FDA con proteína.

Cuando se pasó al nivel de todos los pastos varias de las regresiones múltiples alcanzaron significancia, pero por lo menos el 75 por ciento de la variación en las tasas de digestión fue producto del azar, o de fracciones, estructuras o enlaces químicos no identificados por el sistema de análisis usado (63). Esto hace perder confianza en el valor predictivo de estas relaciones.

Al relacionar la digestibilidad potencial con la composición química (Cuadro 9), se puede ver que las fracciones químicas explican las diferencias observadas en menos casos, y en menor proporción, que los anotados para las relaciones con la velocidad de digestión. Tal vez en este caso sea más crítica la falta de métodos químicos indicativos de la porción no digerible de la fracción fibrosa, ya que se puede considerar la digestibilidad potencial un estimado de la porción del forraje potencialmente digerible por los microorganismos del rumen, independientemente del tiempo de permanencia del forraje en el rumen (124).

## 4.2 Estimación del consumo

### 4.2.1 Utilización de indicadores

En el Cuadro 10 se muestran las regresiones de los consumos observados y los estimados en base a indicadores químicos y parámetros de digestión. De los indicadores químicos, sólo la lignina cumplió con la hipótesis propuesta de que  $b_0$  y  $b_1$  no diferían significativamente de 0 y 1, respectivamente. Esto da ventaja a la lignina como indicador químico, pese a que la confiabilidad de la predicción ( $R^2 = 0,71$ ) es menor que para

Cuadro 9. Valores de  $r^2$  de la predicción de la digestibilidad potencial in vitro (1/a) en función de diferentes fracciones químicas, en seis pastos tropicales.

PASTO	FDN	FDA	H	C	L	SI	P
Gamalote	0,001 LN, LG	0,103 C	0,075 C	0,055 C	0,133 C	0,146 C	0,251 C
Alemán	0,509 C**	0,754 LN**	0,399 C*	0,939 C**	0,837 C**	0,423 G*	0,834 C**
Guinea	0,071 LN, G	0,011 C	0,090 C	0,305 C	0,032 C	0,046 C	0,326 C
Pará	0,001 LN, LG, G	0,542 C**	0,194 C	0,370 C*	0,212 C	0,367 C*	0,709 C**
Elefante	0,760 G**	0,795 C**	0,795 C**	0,335 C*	0,424 C*	0,584 C**	0,864 LG, G, C**
Pangola	0,011 LN, LG	0,314 C	0,332 C*	0,184 C	0,180 C	0,352 C*	0,439 C*
Todos	0,067 C*	0,121 C**	0,020 C	0,096 C**	0,300 C**	0,056 C*	0,008 C

\* Significancia al nivel  $P \leq 0,05$

\*\* Significancia al nivel  $P \leq 0,01$

Cuadro 10. Regresiones intra-clase de los consumos estimados usando diferentes indicadores y los consumos observados en seis pastos tropicales<sup>a/</sup>.

Indicador	$b_0 \pm sb_0$	$b_1 \pm sb_1$	$r^2$
Lignina	0,308 $\pm$ 0,314	1,042 $\pm$ 0,079	0,713
Sílice	0,739** $\pm$ 0,177	2,225** $\pm$ 0,105	0,864
Fibra Detergente Acido	0,104 $\pm$ 0,174	1,902** $\pm$ 0,076	0,900
Digestibilidad <u>in vitro</u> 48 horas	0,298 $\pm$ 0,205	1,024 $\pm$ 0,050	0,855
Digestibilidad <u>in vitro</u> 96 horas	0,228 $\pm$ 0,147	0,952 $\pm$ 0,033	0,923
Digestibilidad potencial (1/a)	0,215 $\pm$ 0,156	0,940 $\pm$ 0,034	0,914

<sup>a/</sup>  $H_{01} b_0 = 0$  ,  $H_{02} b_1 = 1$

\*\* Significancia al nivel  $P < 0,01$

la sílice y la FDA. Con las mismas muestras, se logró una mayor confiabilidad con las predicciones del consumo hechas en base a nitrógeno no asimilable y cromógenos (25).

La digestibilidad de la lignina varió de -59,4 por ciento en pangola a 41,7 por ciento en gamalote, con una digestibilidad promedio de 7,9 por ciento. Este último valor es similar a los promedios de digestibilidad de lignina citados en la literatura (28, 136, 144). La gran

variación observada es producto de la falta de uniformidad química de la lignina (39, 44). Existen fracciones de la lignina con diferente capacidad de ser hidrolizadas a nivel de rumen y de tracto posterior (45, 57, 102). Esto puede explicar los valores positivos de digestibilidad de la lignina. Por otro lado, existe la posibilidad de que en los procesos digestivos (5) o en el secado de las heces (48), se formen compuestos que aparecen como lignina en el análisis químico, lo que explicaría que se hayan encontrado valores negativos de digestibilidad.

En el caso de la sílice, no se cumplió con las hipótesis nulas planteadas para la regresión de consumo estimado vs. observado ( $b_0 = 0$ ,  $b_1 = 1$ ). En promedio la sílice presentó una digestibilidad de -11,5 por ciento, lo que podría deberse a contaminación del pasto ofrecido con material suelo (44, 47, 55). Por otro lado, en pasto elefante se obtuvo una digestibilidad de sílice de 14,5 por ciento, lo cual indicaría que hay solubilización de sílice a nivel ruminal (18, 71). Estos factores explicarían en parte la falta de comprobación de las hipótesis de nulidad, a pesar de que el valor predictivo del método fue aceptable ( $r^2 = 0,86$ ).

La FDA no ha sido utilizada anteriormente como indicador, pese a que fue recomendado su estudio (8). En el presente trabajo, a pesar del valor  $r^2 = 0,90$  en la regresión del consumo observado vs. el estimado,  $b_0$  no fue significativamente diferente de cero, pero  $b_1$  sí fue significativamente diferente de uno ( $P < 0,01$ ). Esto implica una subestimación del consumo cuando se usa este indicador, que podría deberse a que la FDA es una fracción parcialmente digerible (48,2%, en el presente estudio). Sin embargo, al tratarse de un indicador de determinación química fácil, y considerando el alto valor de predicción del consumo observado, se podría usar

la FDA como indicador corrigiéndola por su digestibilidad, tal como se ha propuesto para otras fracciones parcialmente digeribles (142).

Al usar los valores de las digestibilidades in vitro de la materia seca a 48 ( $D_{48}$ ) y 96 horas ( $D_{96}$ ), y la digestibilidad potencial ( $1/a$ ) como estimadores de consumo, los parámetros de las regresiones no difirieron de los valores propuestos ( $b_0 = 0$  y  $b_1 = 1$ ). Las confiabilidades de las predicciones ( $r^2 = 0,86, 0,92$  y  $0,91$ , para  $D_{48}$ ,  $D_{96}$  y  $1/a$ , respectivamente), fueron mayores que para los indicadores químicos. Estas diferencias radican posiblemente en que los indicadores químicos se suponen indigeribles, cuando realmente no lo son.

El que se obtengan mejores predicciones del consumo con  $D_{96}$  y  $1/a$  que con  $D_{48}$ , puede deberse a que al trabajar sólo con una fase de digestión (celulolítica), a las 48 horas posiblemente no se alcanzó un valor equivalente a la digestibilidad in vitro (65).

#### 4.2.2 Utilización de las fracciones químicas

En el presente estudio se ha considerado el consumo expresado en función del peso metabólico, pues en estudios previos con los mismos pastos (77, 135), el peso fue el factor más importante en ecuaciones de predicción del consumo. La confiabilidad de las predicciones del consumo de MS por kilogramo de peso metabólico (Cuadro 11) y del consumo de ED por kilo de peso metabólico (Cuadro 12), en base a fracciones químicas individuales, fueron muy bajas dentro de pastos, y menores aún cuando se consideraron ecuaciones generales para todos los pastos. Ni las fracciones fibrosas (individualizadas o agrupadas) ni la proteína, dieron predicciones del consumo de confiabilidad aceptable, a nivel de especies individuales.

Cuadro 11. Valores de  $r^2$  de la predicción del consumo de materia seca por kilo de peso metabólico ( $P \cdot 75$ ) en función de diferentes fracciones químicas, en seis pastos tropicales.

PASTO	FDN	FDA	H	C	L	SI	P
Gamalote	0,005 LN	0,191 C	0,111 C	0,108 C	0,009 C	0,165 C	0,126 C
Alemán	0,110 C	0,008 G	0,151 C	0,094 C	0,035 C	0,406 C*	0,040 C
Guinea	0,320 LN, C	0,483 C*	0,540 LN, C**	0,374 C*	0,393 C*	0,161 C	0,252 C
Pará	0,003 G	0,278 C	0,079 C	0,061 LN, C	0,009 LG	0,085 C	0,165 C
Elefante	0,083 LN	0,223 C	0,059 C	0,341 C*	0,253 C	0,337 C*	0,256 C
Pangola	0,025 LN	0,263 LG	0,057 C	0,438 G*	0,043 C	0,177 G	0,448 G*
Todos	0,146 C**	0,054 C*	0,030 LN, C	0,033 C	0,077 C*	0,097 C**	0,039 C

\* Significancia al nivel  $P \leq 0,05$

\*\* Significancia al nivel  $P \leq 0,01$

Cuadro 12. Valores de  $r^2$  de la predicción del consumo de Energía Digerible por Kilogramo de peso metabólico ( $P \cdot 75$ ) en función de diferentes fracciones químicas, en seis pastos tropicales.

PASTO	FDN	FDA	H	C	L	SI	P
Gama lote	0,080 LN	0,156 C	0,211 C	0,190 C	0,071 C	0,100 G	0,010 C
Alemán	0,115 C	0,019 G	0,183 C	0,111 C	0,053 C	0,525 C**	0,082 C
Guinea	0,344 LN, C*	0,482 C*	0,590 C**	0,704 C**	0,352 C*	0,203 C	0,353 C*
Pará	0,070 LN	0,306 C	0,159 C	0,075 C	0,010 C	0,187 C	0,199 C
Elefante	0,210 LN	0,405 C*	0,164 C	0,414 C*	0,378 C*	0,464 C*	0,493 C*
Pangola	0,144 LN	0,251 G	0,008 C	0,612 G**	0,042 C	0,178 C	0,626 C**

\* Significancia a nivel  $P \leq 0,05$

\*\* Significancia a nivel  $P \leq 0,01$

Esto ha sido observado anteriormente por otros investigadores (42, 91, 92, 108, 116, 141).

El consumo es un parámetro complejo, dependiente de factores inherentes al forraje (126), muchos de los cuales no son considerados en el sistema de análisis usado, y de factores dependientes del metabolismo del animal, del comportamiento social del grupo y del manejo (56, 58), los que tampoco han sido considerados en los análisis de regresión probados.

Cuando se consideraron todos los pastos, en modelos cuadráticos de regresión para predecir los consumos de MS y ED, con la FDN, se lograron valores de  $r^2$  de 0,15 y 0,23, respectivamente. Estos coinciden con valores de  $r^2$  presentados en la literatura (29). Los resultados confirman que las fracciones fibrosas como tales tienen poco valor predictivo, ya que hasta un 85 por ciento de la variabilidad en el consumo no pudo ser explicada por el contenido de CPC en el pasto.

#### 4.2.3 Utilización de parámetros de digestión

En el Cuadro 13 se presentan los valores de  $r^2$  de las predicciones del consumo de MS y ED, en base a digestibilidad de MS in vivo, "c" y "ac". Nótese que en elefante y pangola se lograron predicciones aceptables del consumo de materia seca, en base a la digestibilidad de materia seca in vivo. En las mismas especies y en pará, fueron también aceptables las predicciones del consumo ED en base a la digestibilidad de MS. Cuando se consideraron todas las especies en un modelo cuadrático de regresión, menos del 50 por ciento de la variación en los consumos de MS y ED pudo ser explicada por la digestibilidad. Se ha propuesto que existe una relación entre la digestibilidad y el consumo. Por ejemplo, para el

Cuadro 13. Valores de  $r^2$  de la predicción de los consumos de Materia Seca y de Energía Digerible por Kilogramo de peso metabólico en función de diferentes parámetros de digestión, en seis pastos tropicales.

PASTO	$Y_1$ = Consumo MS/KG Peso Metabólico			$Y_2$ = Consumo ED/KG Peso Metabólico		
	DMS	in vivo	ac	DMS	in vivo	ac
Gama lote	0,272 C	0,039 C	0,098 C	0,428 C*	0,096 C	0,139 C
Alemán	0,160 C	0,190 C	0,260 C	0,263 C	0,234 C	0,313 C
Guinea	0,046 LG	0,445 C*	0,401 C*	0,244 C	0,669 C**	0,597 C**
Pará	0,374 LG*	0,072 C	0,119 C	0,587 C**	0,092 LN, C	0,106 C
Elefante	0,642 C**	0,059 C	0,046 C	0,724 C**	0,160 C	0,073 C
Pangola	0,631 C**	0,361 C*	0,324 C	0,793 C**	0,400 C*	0,353 C*
Todos	0,351 C**	0,001 C	0,005 C	0,469 C**	0,000	0,001 C

\* Significancia a nivel  $P \leq 0,05$

\*\* Significancia a nivel  $P \leq 0,01$

caso de ovejas (19) y de vacas lecheras (31) se ha propuesto que esta relación funciona hasta niveles de 70 por ciento de digestibilidad. Al estar los valores observados en este estudio debajo de ese límite, justificaba esperar una mejor predicción. Sin embargo, hay quienes proponen que la relación funciona adecuadamente sólo dentro de especies (42, 88).

Cuando se usaron las tasas de aceleración e inhibición de la digestibilidad in vitro para predecir el consumo (Cuadro 13), las confiabilidades de las predicciones fueron menores que las obtenidas con la digestibilidad in vivo de MS. Sólo en guinea se consiguieron valores de correlación altamente significativos ( $P \leq 0,01$ ) para la predicción del consumo de ED y significativos ( $P \leq 0,05$ ) para la predicción del consumo de MS, en base a "c" o "ac".

Al considerar ambas tasas simultáneamente y con algunas fracciones químicas (Cuadro 14), se logró mayor confiabilidad en las predicciones. En los mejores casos, a nivel de todos los pastos, sólo fue posible explicar un 25 por ciento de la variación en el consumo en base a "c", "ac" y FDN, y en base a los mismos más proteína. El aumento en la confiabilidad de las predicciones del consumo, indicaría que la concentración de fracciones fibrosas y las tasas de digestión son factores aditivos en la regulación del consumo (113). Sin embargo, para poder predecir el consumo con mayor confiabilidad, faltan aún identificar otras fracciones, definir mejor las ya conocidas y precisar las relaciones existentes entre ellas.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, tampoco pueden llevar a conclusiones en el sentido de que el "llenado del rumen" no sea el mecanismo más importante de regulación del consumo en forrajes como los estudiados (12, 19, 70). Estos forrajes se caracterizan por su alto contenido

Cuadro 14. Valores de  $R^2$  de la predicción del consumo de Materia Seca por Kilogramo de peso metabólico ( $P \cdot 75$ ) en función de parámetros de velocidad de digestión y algunas fracciones químicas, usando modelos de regresión lineal múltiple en seis pastos tropicales.

PASTO	c+ac	c+ac+FDN	c+ac+FDA	c+ac+L	c+ac+P	c+ac+FDN+P
Gamalote	0,305	0,489	0,332	0,621*	0,392	0,707*
Alemán	0,372	0,479	0,374	0,603	0,424	0,484
Guinea	0,263	0,288	0,313	0,489	0,275	0,293
Pará	0,080	0,095	0,084	0,167	0,082	0,097
Elefante	0,004	0,149	0,430	0,378	0,009	0,152
Pangola	0,090	0,178	0,092	0,214	0,211	0,217
Todos	0,040	0,249**	0,063	0,049	0,048	0,262**

\* Significancia a nivel  $P \leq 0,05$

\*\* Significancia a nivel  $P \leq 0,01$

de fibra (17) y porque son difíciles de ser desdoblados físicamente en la rumia, y químicamente en la hidrólisis celulolítica por acción de microorganismos del rumen (100, 132). Además, el bajo valor de predicción del consumo a partir de los parámetros de digestión, puede ser debido a que en los ensayos in vivo (135) los animales estuvieron consumiendo por debajo de su capacidad física, ya sea por problemas de manejo, o de acostumbramiento al forraje ofrecido, o ambos (56). Además, al estimar las tasas de digestión del forraje consumido se ha supuesto iguales valores para el material ofrecido y el rechazado, sin considerar el carácter selectivo del consumo ad libitum (20, 66). El bajo valor de predicción alcanzado en el presente estudio usando los parámetros tasa de aceleración e inhibición de la digestibilidad, no ha permitido utilizar adecuadamente esta metodología para predecir el consumo de alimentos. Sin embargo, el uso de parámetros de digestión como los estudiados tiene más sentido biológico que el uso de fracciones químicas (126, 134).

#### 4.3 Sistema propuesto para predecir el consumo en pastoreo

Con base en los resultados obtenidos, se propone utilizar los parámetros de digestión como indicadores en las estimaciones de consumo. De estos parámetros, la  $D_{48}$ , pese a predecir con menor confiabilidad ( $r^2 = 0,86$ ) que  $D_{96}$  y  $1/a$  ( $r^2 = 0,92$  y  $0,91$ , respectivamente), tiene la ventaja de ser determinada en menor tiempo que  $D_{96}$ , y de manera menos tediosa que  $1/a$ . Sin embargo, habrá que tomar en cuenta que al tratarse de un método biológico y no químico, está sujeto a mayor variabilidad (64). Esta puede ser controlada en parte por estandarización de la dieta del animal donante (74) y de los procedimientos in vitro (14, 143). Por otro lado, al

tener los animales capacidad de seleccionar el forraje que consumen, una forma de obtener muestras representativas del consumido sería usar como "muestreadores" animales fistulados al esófago (8, 20, 76, 79). Las muestras obtenidas por este procedimiento se contaminan con suelo y minerales de la saliva (55), por lo que sería necesario expresar la digestibilidad en términos de materia orgánica.

La estimación de la producción fecal, el otro componente de la ecuación  $\underline{5_7}$ , podría hacerse por colección total (54) o mediante el uso del óxido crómico (59, 96). Si bien no se han observado diferencias entre ambos procedimientos (33, 101), es todavía un área que merece mayor estudio, especialmente buscando evitar la dosificación diaria con óxido crómico. Es difícil definir si el problema de manejo en la dosificación diaria, compensa la incomodidad para el animal en llevar el arnés con bolsa colectora.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir:

- 1) En gramíneas tropicales parece ser el estado de madurez más importante que la especie, como determinante del valor nutritivo.
- 2) De los métodos estudiados, es posible estimar el consumo de forrajes usando la lignina como indicador químico, o los parámetros de digestión  $D_{48}$ ,  $D_{96}$  o  $1/a$ , como estimadores de consumo.

Se recomienda:

- 1) Estudiar el uso del óxido crómico en dosis únicas, para estimar la producción fecal.
- 2) Investigar el desarrollo de métodos químicos que permitan cuantificar los complejos lignina:celulosa-hemicelulosa, y definir la naturaleza de los mismos.

## 6. RESUMEN

El presente estudio fue conducido en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Turrialba, Costa Rica, y en el Laboratorio de Agrostología de la Universidad de Costa Rica, en San José. Los objetivos fueron evaluar la lignina, la sílice y la fibra detergente ácido (FDA), las digestibilidades in vitro a 48 y 96 horas, y la digestibilidad in vitro potencial, como criterios para la estimación del consumo de forrajes. También se estudió el uso de fracciones químicas y las tasas de digestión en ecuaciones de predicción del consumo de forrajes.

Se utilizaron muestras provenientes de 18 ensayos de consumo en seis gramíneas tropicales: Elefante (Pennisetum purpureum Schumach.), Pangola (Digitaria decumbens Stent.), Pará (Brachiaria mutica (Forsk.) Stapf), Alemán (Echinochloa polystachia (H.B.K.) Hitchc.), Guinea (Panicum maximum Jacq.) y Gamalote (Paspalum fasciculatum Willd) de 4,8 y 12 semanas de edad. Se usaron 72 animales con peso entre 150 y 450 kilos. Las fracciones químicas se determinaron usando el sistema para el análisis de fibra de forrajes propuesto por van Soest. La digestibilidad in vitro fue determinada a 3, 6, 12, 24, 48 y 96 horas, usando sólo la fase celulolítica de la técnica de digestibilidad in vitro en dos etapas.

Estimaciones aceptables del consumo se obtuvieron usando la lignina como indicador ( $r^2 = 0,71$ ). Las digestibilidades a 48 y 96 horas y el valor de digestibilidad potencial dieron predicciones confiables del consumo ( $r^2 = 0,86$ ;  $0,92$  y  $0,91$ , respectivamente). Las predicciones de los consumos de materia seca y energía digerible, hechas en base a fracciones químicas y parámetros de digestión, no se pueden considerar confiables,

por los bajos valores de  $R^2$  obtenidos.

Se concluye que el consumo de forrajes puede ser predicho a partir de valores de digestibilidad *in vitro* y de producción fecal, por medio de la ecuación:  $CEMS = (MSH / (100 - D)) \times 100$ ; donde: CEMS = consumo estimado de materia seca, MSH = cantidad de materia seca fecal y D = digestibilidad *in vitro* de materia seca, obtenida después de un período de incubación de por lo menos 48 horas.

## 6a. SUMMARY

The present study was conducted at the Tropical Agricultural Research and Training Center, in Turrialba, Costa Rica, and at the University of Costa Rica Agrostology Laboratory. The objectives were to evaluate lignin, silica and acid detergent fiber (ADF) contents; the in vitro digestibilities at 48 and 96 hours, and the potential in vitro digestibility as criteria for the estimation of forage consumption. The use of chemical fractions and digestion rates in prediction equations of forage intake was also studied. Composite samples derived from 18 consumption trials of six tropical grasses were utilized. The grasses used were Napier (Pennisetum purpureum Schumach.), Pangola (Digitaria decumbens Stent.), Para (Bracharia mutica (Forsk.) Stapf), Aleman (Echinochloa polystachia (H.B.K.) Hitchc.), Guinea (Panicum maximum Jacq.) and Gamalote (Paspalum fasciculatum Willd) of 4, 8 and 12 weeks of age. Seventy-two animals weighing from 150 to 450 kilograms were used. Chemical fractions were determined using the forage fiber analyses system proposed by van Soest and in vitro digestibility was determined at 3, 6, 12, 24, 48 and 96 hours, using only the cellulolytic phase of the two-stage technique of in vitro digestibility.

Acceptable estimates of grass consumption were obtained by using lignin as a tracer ( $R^2 = 0.71$ ). Digestibilities at 48 and 96 hours and the potential digestibility value resulted in reliable consumption predictions ( $R^2 = 0.86, 0.92$  and  $0.91$ , respectively). Neither chemical fractions nor digestibility parameters were of significant value to predict either dry matter or digestible energy intakes.

It was concluded that forage consumption can be reasonably predicted from in vitro digestibility values and fecal dry matter output by means of the equation:  $EDMI = (FDM / (100 - D)) \times 100$ , where: EDMI = estimated dry matter intake, FDM = amount of fecal dry matter and D = in vitro dry matter digestibility obtained after a period of incubation of at least 48 hours.

## 7. LITERATURA CITADA

1. ABE, A. et al. Development and application of cellulose hydrolysis for predicting digestibility of roughages. I. Digestion of cell wall carbohydrates by cellulose (Sumario). Nutrition Abstracts and Reviews 43(6):509. 1973.
2. ADEMOSUM, A. A. The nutritive evaluation of forages by biological and laboratory methods (Sumario). Dissertation Abstracts (Section B) 28(2):401. 1967.
3. ALEXANDER, R. H. y MCGOWAN, M. The routine determination of in vitro digestibility of organic matter in forages -an investigation of the problems associated with continuous large-scale operation. Journal of the British Grassland Society 21(2): 140-147. 1966.
4. ALLINSON, D. W. Factors affecting the nutritive value of forages (Sumario). Dissertation Abstracts (Section B) 28(2):436. 1967.
5. \_\_\_\_\_, y OSBOURN, D. F. The cellulose-lignin complex in forages and its relationship to forage nutritive value. Journal of Agricultural Science 74(1):23-26. 1970.
6. ARMSTRONG, D. G. et al. The evaluation of artificially dried grass as a source of energy for sheep. III. The prediction of nutritive value from chemical and biological measurements. Journal of Agricultural Science 62(3):417-424. 1964.
7. ARNOLD, G. W. Empleo de técnicas in vitro en asociación con técnicas de muestreo para medir la digestibilidad y el consumo de forrajes bajo pastoreo. In Paladines, O., ed. Métodos in vitro para determinar el valor nutritivo de los forrajes. Montevideo, IICA, Zona Sur, 1967. pp. 61-70.
8. \_\_\_\_\_, y DUDZINSKI, M. L. Comparison of faecal nitrogen regressions and in vitro estimates of diet digestibility for estimating the consumption of herbage by grazing animals. Journal of Agricultural Science 68(2):213-219. 1967.
9. ARROYO-AGUILU, J. A. Estimation of digestibility from in vitro rumen fermentation data in some forages of Puerto Rico. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 51(2):133-139. 1967.
10. \_\_\_\_\_, y EVANS, J. L. The use of chromium and acid-detergent lignin in complete rations as indicators of the faecal excretion rate in the ruminant animal. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 54(4):660-675. 1970.

11. BAILEY, R. W. y JONES, D. I. H. Pasture quality and ruminant nutrition. III. Hydrolysis of ryegrass structural carbohydrates with carbohydrases in relation to rumen digestion. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 14(4):847-857. 1971.
12. BALCH, C. C. y CAMPLING, R. C. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutrition Abstracts and Reviews* 32(3):669-686. 1962.
13. \_\_\_\_\_. Proposal to use time spent chewing as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristic of roughages. *British Journal of Nutrition* 26(3):383-392. 1971.
14. BARNES, R. F. *et al.* Comparison of *in vitro* rumen fermentation methods. *Journal of Animal Science* 23(4):1061-1065. 1964.
15. BARSAUL, C. S. Lignin as an indicator in animal nutrition. *Indian Veterinary Journal* 49(1):68-76. 1972.
16. BATEMAN, J. V. *Nutrición animal; manual de métodos analíticos.* México, D.F., Herrero, 1970. 468 p.
17. BINES, J. A. y DAVEY, A. W. F. Voluntary intake, digestion, rate of passage, amount of material in the alimentary tract and behaviour in cows receiving complete diets containing straw and concentrates in different proportions. *British Journal of Nutrition* 24(4):1013-1028. 1970.
18. BLACKMAN, E. y BAILEY, C. B. Dissolution of silica from dried grass in nylon bags placed in the rumen of a cow. *Canadian Journal of Animal Science* 51(2):327-332. 1971.
19. BLAXTER, K. L. *et al.* The regulation of food intake by sheep. *Animal Production* 3(1):51-61. 1961.
20. BOHMAN, V. R. y LESPERANCE, A. L. Methodology research for range forage evaluation. *Journal of Animal Science* 26(4):820-826. 1967.
21. BOWDEN, D. M. Influence of water soluble carbohydrates and crude protein on *in vitro* digestion of dry matter in highly digestible forages. *Canadian Journal of Plant Science* 52(2):51-156. 1972.
22. BRAHMAKSHATRIYA, R. D. A comparison of physical methods of forage evaluation with chemical and biological measurements (Sumario). *Dissertation Abstracts (Section B)* 32(11): 6137-6138. 1972.

23. BROWN, D. Methods of surveying and measuring vegetation. Commonwealth Agricultural Bureaux. Bulletin no. 42. 1954. 223 p.
24. BRUNDAGE, A. L. Repeatability of a two-stage in vitro system of digestibility measurement. Journal of the British Grassland Society 27(2):111-114. 1972.
25. CAMARGO, A. Evaluación del óxido crómico, cromógenos vegetales y proteína no asimilable como indicadores para estimar el consumo de forrajes. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. 65 p.
26. CIZEK, J. The rate of dry matter disappearance in some grasses and legumes. In International Grassland Congress, 11th, Queensland, Australia, 1970. Proceedings. Queensland, University of Queensland, 1970. pp. 701-703.
27. CLANCY, M. J. y WILSON, R. K. Development and application of a new chemical method for predicting the digestibility and intake of herbage samples. In International Grassland Congress, 10th, Helsinki, 1966. Proceedings. Helsinki, Finnish Grassland Association, 1966. pp. 445-453.
28. COLBURN, M. W. et al. Apparent and true digestibility of forage nutrients by ruminant animals. Journal of Dairy Science 51(9):1450-1457. 1968.
29. \_\_\_\_\_ et al. Ingestion control in growing ruminant animals by the components of cell wall constituents. Journal of Dairy Science 51(9):1458-1464. 1968.
30. COMMONWEALTH BUREAU OF PASTURES AND FIELD CROPS. Research techniques in use at the Grassland Research Institute Hurley. Commonwealth Agricultural Bureaux. Bulletin no. 45. 1961. 167 p.
31. CONRAD, H. R. et al. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. Journal of Dairy Science 47(1):54-62. 1964.
32. CRAMPTON, E. W. Interrelations between digestible nutrient and energy content, voluntary dry matter intake and the overall feeding value of forages. Journal of Animal Science 16(3): 546-552. 1957.
33. CURRAN, M. K. et al. A note on the use of chromic oxide incorporated in a feed to estimate faecal output in ruminants. Animal Production 9(4):561-564. 1967.

34. CHENOST, M. Utilisation de la technique de digestibilité in vitro pour prévoir la valeur alimentaire des fourrages. *Annales de Zootechnie* 19(3):243-253. 1970.
35. \_\_\_\_\_ y GRENET, E. L'indice de fibrosité des fourrages: sa signification et son utilisation pour la prévision de la valeur alimentaire des fourrages. *Annales de Zootechnie* 20(4):427-435. 1971.
36. DAVIS, L. E. et al. Evaluation of forage digestibility prediction equations using chromogen and nitrogen as faecal index indicators. *Agronomy Journal* 60(4):420-422. 1968.
37. DEHORITY, B. A. y JOHNSON, R. R. Estimation of the digestibility and nutritive value of forages by cellulose and dry matter solubility methods. *Journal of Animal Science* 23(1):203-207. 1964.
38. DEINUM, B. et al. Climate, nitrogen and grass. II. The influence of light intensity, temperature and nitrogen on in vivo digestibility of grass and the prediction of these effects from some chemical procedures. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 16(3):217-223. 1968.
39. \_\_\_\_\_ y SOEST, P. J. VAN. Prediction of forage digestibility from some laboratory procedures. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 17(2):119-127. 1969.
40. \_\_\_\_\_ . Prediction of forage digestibility from some laboratory procedures. II. Comparison of in vivo digestibility at two institutes. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 19(2):106-113. 1971.
41. DEMARQUILLY, C. y CHENOST, M. Étude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets de nylon; liaisons avec la valeur alimentaire. *Annales de Zootechnie* 18(4):419-436. 1969.
42. DONEFER, R. et al. The prediction of digestible energy intake potential (NVI) of forages using a simple in vitro technique. In *International Grassland Congress, 10th, Helsinki, 1966. Proceedings.* Helsinki, Finnish Grassland Association, 1966. pp. 442-445.
43. DUBLE, R. L. et al. Forage characteristics limiting animal performance on warm-season perennial grasses. *Agronomy Journal* 63(5):795-798. 1971.
44. DYNE, G. M. VAN y MEYER, J. H. A method for measurement of forage intake of grazing livestock using microdigestion techniques. *Journal of Range Management* 17(4):204-208. 1964.

45. GAILLARD, B. D. E. Comparison of the hemicelluloses from plants belonging to two different plant families. *Phytochemistry* 4(4):631-634. 1965.
46. \_\_\_\_\_. Calculation of the digestibility for ruminants of roughages from the contents of cell wall constituents. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 14(3):215-223. 1966.
47. GALLUP, W. D. et al. The use of silica as a reference substance in digestion trials with ruminants. *Journal of Animal Science* 4(1):68-71. 1945.
48. GOERING, H. K. y SOEST, P. J. VAN. Análisis de fibra de forrajes. Trad. del inglés por D. Pezo. La Molina, Universidad Nacional Agraria - Programa de Forrajes y Misión Agrícola de la Universidad de Carolina del Norte. Boletín no. 10. 1972. 41 p.
49. \_\_\_\_\_. et al. Relative susceptibility of forages to heat damage as affected by moisture, temperature and pH. *Journal of Dairy Science* 56(1):137-143. 1973.
50. GREENHALGH, J. F. D. et al. The indirect estimation of the digestibility of pasture herbage. IV. Regressions of digestibility on faecal nitrogen concentration: effects of different fractions of the herbage upon within-and between- period regressions. *Journal of Agricultural Science* 66(2):277-283. 1966.
51. GUTIERREZ, M. A. Comparación de dos métodos intensivos de utilización de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*, K. Shum., Pilger) en la producción de leche. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 71 p.
52. HARRIS, L. E. et al. Techniques of research in range livestock nutrition. Utah Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 471. 1967. 86 p.
53. \_\_\_\_\_. Range nutrition in an arid region. Utah State University. Honor Lecture 36. 1968. 100 p.
54. HATTAN, G. L. y OWEN, F. G. Efficiency of total collection and chromic oxide techniques in short-term digestion trials. *Journal of Dairy Science* 53(3):325-329. 1970.
55. HEALY, W. B. The effect of soil content of faeces on faecal organic matter values as determined by the loss on ignition techniques. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 12(4):639-641. 1969.

56. HEANEY, D. P. Voluntary intake as a component of an index to forage quality. In National Conference on Forage Quality Evaluation and Utilization, Nebraska, 1969. Proceedings. Nebraska, Nebraska Center for Continuing Education, 1970. pp. C1-10.
57. HENNAUX, L. et al. Utilisation des chromogène de l'herbe en vue d'une estimation de la digestibilité du régime des animaux à l'herbage. Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux 2(3):473-506. 1967.
58. HODGSON, J. y WILKINSON, J. M. The relationship between live-weight and herbage intake in grazing cattle. Animal Production 9(3):365-376. 1967.
59. HOOGENDOORN, a. L. y GRIEVE, C. M. Chromic oxide in digestibility studies with lactating dairy cows. Canadian Journal of Animal Science 49(3):383-388. 1969.
60. HOPPE, P. et al. Plant carotenoids as indicators for estimating digestibility of green fodder by ruminants (Sumario). Nutrition Abstracts and Reviews 43(3):249. 1973.
61. HOPSON, J. D. et al. Evaluation of the dacron bag technique as a method for measuring cellulose digestibility and rate of forage digestion. Journal of Animal Science 22(2):448-453. 1963.
62. JEFFERY, H. Assesment of faecal nitrogen as an index for estimating digestibility and intake of food by sheep on Pennisetum clandestinum based pastures. Australian Journal of Experimental Agriculture & Animal Husbandry 11(51):393-396. 1971.
63. \_\_\_\_\_. The relation between various energy parameters, chemical composition and digestibility of some pasture swards in a subtropical environment. Australian Journal of Experimental Agriculture & Animal Husbandry 11(51):397-402. 1971.
64. JOHNSON, R. R. et al. A comparison of in vitro fermentation and chemical solubility methods in estimating forage nutritive value. Journal of Animal Science 23(4):1124-1128. 1964.
65. \_\_\_\_\_. y DEHORITY, B. A. A comparison of several laboratory techniques to predict digestibility and intake of forages. Journal of Animal Science 27(6):1738-1742. 1968.
66. JOHNSON, W. L. Métodos de estudiar el consumo voluntario de pastos al corte. In Perú. Ministerio de Agricultura y Universidad Nacional Agraria, ed. Metodología de investigación en forrajes. La Molina, 1970. pp. 157-186.

67. JOHNSON, W. L. et al. Cell-wall constituents and in vitro digestibility of napier grass (Pennisetum purpureum). Journal of Animal Science 37(5):1255-1261. 1973.
68. \_\_\_\_\_ y PEZO, D. Forage fiber components to predict digestibility (Sumario). Journal of Animal Science 37(1):296. 1973.
69. JOHNSTON, M. J. y WAITE, R. Studies in the lignification of grasses. I. Perennial rye-grass (S24) and cocksfoot (S37). Journal of Agricultural Science 64(2):211-219. 1965.
70. JONES, G. M. Chemical factors and their relation to feed intake regulation in ruminants: a review. Canadian Journal of Animal Science 52(2):207-239. 1972.
71. JONES, L. H. P. y HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants and animals. Advances in Agronomy 19:107-149. 1967.
72. KAYONGO-MALE, H. et al. Laboratory evaluation of Puerto Rican grasses (Sumario). Journal of Animal Science 35(1):231. 1972.
73. KELLAWAY, R. C. The estimation of digestible energy intake from forages by ruminants. Australian Journal of Experimental Agriculture & Animal Husbandry 9(41):578-583. 1969.
74. KNIPFEL, J. E. y TROELSEN, J. E. Interaction between inoculum donor diet and substrate in in vitro ruminant digestion studies. Canadian Journal of Animal Science 46(2):91-95. 1966.
75. KOBT, A. R. y LUCKEY, T. D. Markers in nutrition. Nutrition Abstracts and Reviews 42(3):813-845. 1972.
76. LANGLANDS, J. P. Studies on the nutritive value of the diet selected by grazing sheep. III. A comparison of oesophageal fistula and faecal index techniques for the indirect estimation of digestibility. Animal Production 9(3):325-331. 1967.
77. LEON-VELARDE, C. Predicción del consumo y digestibilidad de los forrajes a partir de la composición química; informe problema especial. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 16 p.
78. \_\_\_\_\_. Evaluación de la luteína como indicador para estimar el consumo de forrajes. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 42 p.
79. LONG, M. I. E. Investigations on the in vitro digestibility techniques used under East African conditions. East African Agricultural & Forestry Journal 33(2):166-169. 1967.

80. McCAMPBELL, J. L. y THOMAS, J. W. Use of ultraviolet spectra values plus phenol and quaiacol to predict forage nutritive value. *Journal of Animal Science* 35(1):133-138. 1972.
81. McDONALD, I. W. The nutrition of grazing ruminants. *Nutrition Abstracts and Reviews* 38(2):381-400. 1968.
82. McLEOD, M. N. y MINSON, D. J. Sources of variation in the in vitro digestibility of tropical grasses. *Journal of the British Grassland Society* 24(3):244-249. 1969.
83. \_\_\_\_\_. y MINSON, D. J. The use of the in vitro technique in the determination of the digestibility of grass/legume mixtures. *Journal of the British Grassland Society* 24(4):296-298. 1969.
84. McMANUS, W. R. et al. Estimation of herbage intake from nitrogen, copper, magnesium and silicon concentration in faeces. *Journal of Agricultural Science* 69(2):263-270. 1967.
85. MERTENS, D. R. y SOEST, P. J. VAN. Prediction of voluntary forage intake (Sumario). *Journal of Animal Science* 37(1):296-297. 1973.
86. MILFORD, R. The nutritive value of pasture plants. In The Cunningham Laboratory C.S.I.R.O., Brisbane, Australia, ed. Some concepts and methods in sub-tropical pasture research. Commonwealth Agricultural Bureaux. Bulletin no. 47. 1964. 242 p.
87. \_\_\_\_\_. y MINSON, D. J. The feeding value of tropical pastures. In Davies, W. y Skidmore, C. L., eds. Tropical pastures. London, Faber & Faber, 1966. 215 p.
88. MINSON, D. J. y MILFORD, R. In vitro and faecal nitrogen techniques for predicting the voluntary intake of Chloris gayana. *Journal of the British Grassland Society* 22(3):170-175. 1967.
89. \_\_\_\_\_. The digestibility and voluntary intake of six varieties of Panicum. *Australian Journal of Experimental Agriculture & Animal Husbandry* 11(48):18-25. 1971.
90. \_\_\_\_\_. Influence of lignin and silicon on a summative system for assessing the organic matter digestibility of Panicum. *Australian Journal of Agricultural Research* 22(4):589-598. 1971.
91. \_\_\_\_\_. y HAYDOCK, K. P. The value of pepsin dry matter solubility for estimating the voluntary intake and digestibility of six Panicum varieties. *Australian Journal of Experimental Agriculture & Animal Husbandry* 11(49):181-185. 1971.

92. MOHAMMED, A. S. A comparison of different methods which estimate nutritive value of forages (Sumario). Dissertation Abstracts (Section B) 27(6):1679-1680. 1966.
93. MONSON, W. G. et al. Digestion of fresh forage in rumen fluid. *Agronomy Journal* 64(2):231-233. 1972.
94. MOWATT, D. N. et al. Lignification and in vitro cell wall digestibility of plant parts. *Canadian Journal of Plant Science* 49(4):499-504. 1969.
95. NEATHERY, M. W. Dry matter disappearance of roughages in nylon bags suspended in the rumen. *Journal of Dairy Science* 52(1):74-78. 1969.
96. NELSON, A. B. y GREEN, G. R. Excretion of chromic oxide administered in paper to steers fed prairie hay. *Journal of Animal Science* 29(2):365-369. 1969.
97. OH, HI KON et al. Evaluation of forages in the laboratory. V. Comparison of chemical analyses, solubility tests and in vitro fermentation. *Journal of Dairy Science* 49(7):850-855. 1966.
98. OLUBAJO, F. O. y OYENUGA, V. A. Digestibility of tropical pasture mixtures using the indicator techniques. *Journal of Agricultural Science* 75(1):175-181. 1970.
99. \_\_\_\_\_. y OYENUGA, V. A. The measurement of yield, voluntary intake and animal production of tropical pasture mixtures. *Journal of Agricultural Science* 77(1):1-4. 1971.
100. PEARCE, G. R. y MOIR, R. J. Rumination in sheep. I. The influence of rumination and grinding upon the passage and digestion of food. *Australian Journal of Agricultural Research* 15(4):635-644. 1964.
101. PHAR, P. A. et al. Effects of confinement and level of feed intake on digestibility of nutrients and excretion of chromic oxide, crude protein and gross energy in the bovine. *Journal of Animal Science* 30(4):589-592. 1970.
102. PORTER, P. y SINGLETON, A. G. The degradation of lignin and quantitative aspects of ruminant digestion. *British Journal of Nutrition* 25(1):3-14. 1971.
103. PUNJ, M. L. et al. Studies on the carbohydrate polymers of roughages and their metabolism in the rumen. II. Lignin and structural carbohydrates. *Indian Journal of Animal Science* 41(7):531-536. 1971.

104. QUDDOOS, A. Relationship between forage chemical composition and its digestibility (Sumario). Dissertation Abstracts (Section B) 27(10):3360-3361. 1967.
105. RAMARAO, M. et al. Estimating intake and digestibility of native Flint Hills hay. Journal of Range Management 27(1):20-22. 1974.
106. RAYMOND, W. F. y TERRY, R. A. Studies of herbage digestibility by an in vitro method. Outlook on Agriculture 5(2):60-68. 1966.
107. \_\_\_\_\_. The nutritive value of forage crops. Advances in Agronomy 21:1-108. 1969.
108. SATYANARAYANASETTY, S. V. Evaluation of several chemical analyses as indicators of the productive value of forages (Sumario). Dissertation Abstracts (Section B) 28(3):749. 1971.
109. SCHAKWYK, A. VAN et al. Comparison of different natural indicators for estimation of feed intake. South African Journal of Agricultural Science 10(2):507-514. 1967.
110. SILVA, J. F. C. DA et al. Uso do cuprietilenodiamino na estimativa da digestibilidade aparente de gramíneas tropicais. Revista Ceres 14(81):229-238. 1968.
111. SMART, W. W. G. et al. The study of the comparative composition and digestibility of cane forage (Arundinaria sp.). North Carolina Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin no. 140. 1960. 8 p.
112. SMITH, G. S. et al. Digestibility of forages in vitro as affected by content of silica. Journal of Animal Science 33(2):466-471. 1971.
113. SMITH, L. W. et al. In vitro digestion rate of forage cell wall components. Journal of Dairy Science 54(1):71-76. 1971.
114. SNEDECOR, G. W. y COCHRAN, W. G. Métodos estadísticos. México, D.F., CECSA, 1971. 703 p.
115. SOEST, P. J. VAN. Symposium on nutrition and forage and pastures: new chemical procedures for evaluating forages. Journal of Animal Science 23(3):838-845. 1964.
116. \_\_\_\_\_. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. Journal of Animal Science 24(3):834-843. 1965.

117. SOEST, P. J. VAN. y JONES, L. H. P. Effect of silica in forages upon digestibility. *Journal of Dairy Science* 51(10):1644-1648. 1968.
118. \_\_\_\_\_. The chemical basis for the nutritive evaluation of forages. In *National Conference on Forage Quality Evaluation and Utilization, Nebraska, 1969. Proceedings.* Nebraska, Nebraska Center for Continuing Education, 1970. pp. U1-19.
119. \_\_\_\_\_. *et al.* New York Contributing Project to NC-64: "Laboratory methods for estimating forage quality". Annual Report 1970. 1971. 11 p.
120. STEEL, R. G. D. y TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics with special reference to the biological sciences. New York, McGraw-Hill, 1960. 481 p.
121. STREETER, C. L. Methods of estimating the digestibility and voluntary intake of range forages consumed by grazing cattle (Sumario). *Dissertation Abstracts (Section B)* 27(6):1680-1681. 1966.
122. \_\_\_\_\_. A review of techniques used to estimate the *in vivo* digestibility of grazed forage. *Journal of Animal Science* 29(5):757-768. 1969.
123. TERRY, R. A. y TILLEY, J. M. A. The digestibility of the leaves and stems of perennial ryegrass, cocksfoot, timothy, tall fescue, lucerne and sainfoin, as measured by an *in vitro* procedure. *Journal of the British Grassland Society* 19(4): 363-372. 1964.
124. THORNTON, R. F. y MINSON, D. J. The relationship between voluntary intake and mean apparent retention time in the rumen. *Australian Journal of Agricultural Research* 23(5):871-877. 1972.
125. TILLEY, J. M. A. y TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society* 18(2):104-111. 1963.
126. \_\_\_\_\_. *et al.* The digestibility of structural carbohydrates of grasses by rumen micro-organisms *in vitro*. *Journal of the British Grassland Society* 24(3):238-243. 1969.
127. \_\_\_\_\_ y TERRY, R. A. The relationship between the soluble constituents of herbage and their dry-matter digestibility. *Journal of the British Grassland Society* 24(4):290-295. 1969.

128. TOLEDO, J. et al. Digestibilidad in vitro y constituyentes de pared celular en cinco forrajes tropicales. In Reunión Latinoamericana de Producción Animal, 4a., Guadalajara, México, 1973. Resúmenes. Guadalajara, 1973. P-23.
129. TROELSEN, J. E. y HANEL, D. J. Ruminant digestion in vitro as affected by inoculum donor, collection day, and fermentation time. Canadian Journal of Animal Science 46(3):149-156. 1966.
130. \_\_\_\_\_. Systems for estimating the nutritional quality of hay for domestic ruminants (Sumario). Dissertation Abstracts (Section B) 28(6):2205. 1967.
131. \_\_\_\_\_. y BELL, J. M. Effect of fermentation time in the artificial rumen on the relationship of in vitro digestibility to digestibility and intake of hay by sheep. Canadian Journal of Animal Science 48(3):361-372. 1968.
132. \_\_\_\_\_. Relationship between in vitro digestibility and fineness of substrate grind as an indicator of voluntary intake of hay by sheep. Canadian Journal of Animal Science 49(1):119-124. 1969.
133. \_\_\_\_\_. Digestible energy in forage by in vivo and in vitro assays. Canadian Journal of Animal Science 50(3):557-562. 1970.
134. \_\_\_\_\_. Consumption of digestible energy by sheep as predicted from the concentration of in vitro digestible energy, cell-wall constituents, and crude fiber in coarse roughages. Canadian Journal of Animal Science 51(2):433-438. 1971.
135. TURRIZA, L. Consumo por el ganado, digestibilidad y composición química de seis gramíneas tropicales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 35 p.
136. ULYATT, M. J. et al. The relations between the apparent digestibility of roughages in the rumen and lower gut of sheep, the volume of fluid in the rumen and voluntary feed intake. Animal Production 9(4):463-470. 1967.
137. \_\_\_\_\_. Studies on the causes of the difference in pasture quality between perennial ryegrass, short rotation ryegrass and white clover. New Zealand Journal of Agricultural Research 14(2):352-367. 1971.
138. WAITE, R. The structural carbohydrates and the in vitro digestibility of a ryegrass and a cocksfoot at two levels of nitrogen fertilizer. Journal of Agricultural Science 74(3):457-462. 1970.

139. WALTERS, R. J. K. Variation in the relationship between in vitro digestibility and voluntary dry-matter intake of different grass varieties. *Journal of Agricultural Science* 76(2): 243-252. 1971.
140. WARNER, R. L. Post-ruminal digestion of cellulose by steers and wethers (Sumario). *Dissertation Abstracts (Section B)* 30(8): 3445. 1970.
141. WELCH, J. G. Appetite control in sheep by indigestible fibers. *Journal of Animal Science* 26(4):849-854. 1967.
142. WILKINS, R. J. The potential digestibility of cellulose in forage and faeces. *Journal of Agricultural Science* 73(1):57-64. 1969.
143. \_\_\_\_\_ y MINSON, D. J. The effects of grinding, supplementation and incubation period on cellulose digestibility in vitro and its relationship with cellulose and organic matter digestibility in vivo. *Journal of Agricultural Science* 74(3):445-451. 1970.
144. WILSON, A. D. et al. Comparison of methods of estimating the digestibility of range forage and browse. *Journal of Animal Science* 32(5):1046-1050. 1971.

A P E N D I C E

Cuadro 1. Composición química del forraje consumido. Datos en por ciento de materia seca.

PASTO	FDN	FDA	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina	Sílíce	Proteína
<u>Gama lote</u>							
4 semanas	80,5	46,3	34,1	27,3	11,5	5,9	10,8
8 semanas	83,2	47,6	35,6	27,9	12,7	5,9	11,1
12 semanas	80,0	47,7	32,3	30,0	11,6	5,4	10,3
<u>Alemán</u>							
4 semanas	73,7	42,8	30,2	30,8	6,6	5,1	13,1
8 semanas	78,6	44,1	34,5	33,7	5,3	4,8	11,9
12 semanas	76,1	44,1	32,0	33,3	5,6	4,7	9,4
<u>Guinea</u>							
4 semanas	84,4	46,5	37,9	31,3	9,4	5,0	10,9
8 semanas	80,6	48,0	32,6	32,9	9,4	4,5	9,3
12 semanas	81,3	46,1	35,1	30,7	9,9	5,2	9,0
<u>Pará</u>							
4 semanas	81,8	43,5	38,3	31,6	7,5	3,8	13,9
8 semanas	85,3	45,9	39,4	35,5	6,7	1,9	12,5
12 semanas	81,9	53,8	28,0	31,5	8,1	11,9	8,7
<u>Elefante</u>							
4 semanas	73,3	43,6	29,7	27,3	7,4	7,6	12,7
8 semanas	77,1	46,1	31,0	33,0	6,5	5,1	11,3
12 semanas	79,4	41,0	35,5	27,8	7,2	4,9	8,2
<u>Pangola</u>							
4 semanas	78,5	37,6	41,2	29,4	4,5	3,4	13,7
8 semanas	78,4	40,9	37,5	31,3	5,2	3,7	10,3
12 semanas	80,7	39,3	41,5	31,2	4,2	3,7	10,3

Cuadro 2. Composición química de las heces. Datos en por ciento de materia seca.

PASTO	FDN	FDA	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina	Sílice	Proteína
<u>Gama lote</u>							
4 semanas	65,6	51,3	14,2	20,7	14,8	15,3	12,1
8 semanas	67,9	52,0	15,9	23,5	14,1	13,6	11,2
12 semanas	71,3	51,8	19,6	25,1	14,4	11,4	9,9
<u>Alemán</u>							
4 semanas	62,2	48,0	14,2	19,6	11,6	15,9	12,0
8 semanas	67,0	50,4	16,6	24,7	13,4	11,9	10,4
12 semanas	70,9	52,9	18,0	26,3	14,5	11,5	8,9
<u>Guinea</u>							
4 semanas	71,0	55,3	15,8	27,2	14,9	12,5	8,7
8 semanas	69,1	54,7	14,4	26,2	14,8	13,1	10,3
12 semanas	73,0	56,5	16,5	27,1	15,6	13,2	8,4
<u>Pará</u>							
4 semanas	68,9	48,1	20,9	25,2	12,7	8,6	10,8
8 semanas	68,4	49,4	18,9	28,2	12,7	6,5	9,6
12 semanas	75,7	51,7	24,0	29,6	12,8	7,9	8,5
<u>Elefante</u>							
4 semanas	65,1	46,8	18,2	21,9	14,9	13,7	12,3
8 semanas	66,8	51,2	15,6	26,5	13,5	9,7	11,0
12 semanas	71,6	52,3	19,3	26,9	12,8	10,8	8,7
<u>Pangola</u>							
4 semanas	63,3	46,7	14,6	20,2	14,3	11,5	12,9
8 semanas	63,3	48,1	15,1	23,0	15,5	9,4	11,2
12 semanas	66,7	47,6	19,2	21,5	15,7	10,1	11,8