

EVALUACION DE METODOS PARA ESTIMAR PRODUCCION FECAL
EN BOVINOS, USANDO OXIDO CROMICO

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Argelio Pérez Sobrevilla

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
CENTRO TROPICAL DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION
Departamento de Ganadería Tropical
Turrialba, Costa Rica
Octubre, 1971

EVALUACION DE METODOS PARA ESTIMAR PRODUCCION FECAL
EN BOVINOS, USANDO OXIDO CROMICO

Tesis

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

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



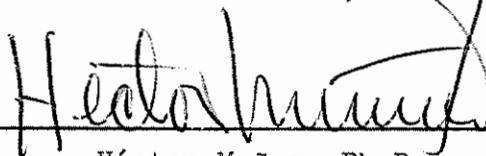
Consejero

Karel Vohnout, Ph.D.



Comité

Oliver W. Deaton, Ph.D.



Comité

Héctor Muñoz, Ph.D.



Comité

Jorge M. Montoya, Ph.D.

Octubre, 1971

A María Eugenia

A mis padres y hermanos

A Oliver W. Deaton

BIOGRAFIA

El autor nació en Villaldama, N. L., el 29 de febrero de 1944. Realizó estudios primarios en el Colegio Félix de Jesús Rougier y de Bachillerato en el Instituto de Ciencias y Tecnología de Tampico. Cursó sus estudios universitarios en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, N. L., donde se graduó como Ingeniero Agrónomo Zootecnista en junio de 1966. En ese mismo año ingresó como Encargado del Programa de Forrajes en el Campo Experimental Cotaxtla, Ver. En setiembre de 1969 ingresó como estudiante graduado al Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA en Turrialba, Costa Rica, concluyendo sus estudios en octubre de 1971.

LISTA DE CONTENIDO

	<u>Pág.</u>
I	INTRODUCCION 1
II	REVISION DE LITERATURA 3
	2.1 Métodos para estimar el consumo en pas- toreo 3
	2.1.1 Métodos directos 3
	2.1.2 Métodos indirectos 3
	2.1.2.1 Técnicas de índices fecales 4
	2.1.2.2 Técnicas de relación 6
	2.1.2.3 Técnicas <u>in vitro</u> 7
	2.1.2.4 Uso de indicadores para estimar la producción fecal 8
	2.2 Solución de modelos teóricos 9
III	MATERIALES Y METODOS 10
	3.1 Localización del estudio 10
	3.2 Método propuesto para estimar la produc- ción fecal 10
	3.3 Diseño experimental 14
	3.4 Manejo del experimento 15
	3.5 Análisis de laboratorio 17
	3.6 Datos tomados 17
	3.7 Análisis estadísticos 17
IV	RESULTADOS 19
	4.1 Ajuste de las funciones 19
	4.2 Predicción de la producción fecal median- te la administración del indicador en dosis única 21
	4.3 Predicción de la producción fecal median- te la administración del indicador en "infusión constante" 29
	4.4 Predicción de la producción fecal median- te el método convencional 43

	<u>Pág.</u>
V	DISCUSION 50
5.1	Curvas de excreción fecal del indi cador 51
5.2	Predicción de la producción fecal .. 52
VI	RESUMEN Y CONCLUSIONES 58
VII	SUMMARY 60
VIII	LITERATURA CITADA 62
	APENDICE 67

LISTA DE CUADROS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	Factores y tratamientos estudiados con los modelos 1 y 2	14
2	Valores promedio de r^2 para el ajuste de los modelos 1 y 2 a las curvas de excreción del indicador con relación a la MSF y PF	21
3	Comparación entre MSF y PF medidas con MSF y PF estimados, usando Cr_2O_3 en bolos de papel modelo 1	22
4	Comparación entre MSF y PF medidas con MSF y PF estimadas usando Cr_2O_3 en bolos de harina, modelo 1	25
5	Comparación entre MSF y PF medidas con MSF y PF estimadas usando Cr_2O_3 en bolos de papel modelo 2	29
6	Comparación entre MSF y PF medidas en MSF y PF estimadas usando Cr_2O_3 en bolos de harina, modelo 2	30
7	Comparación entre MSF y PF medidas directamente y estimadas directamente usando Cr_2O_3 en bolos de papel	36
8	Comparación entre MSF y PF medidas directamente y estimados usando Cr_2O_3 en bolos de harina	39
9	Comparación entre MSF y PF medidas directamente y estimadas usando Cr_2O_3 en bolos de papel método convencional	43
10	Comparación entre MSF y PF medidas directamente y estimadas usando Cr_2O_3 en bolos de harina método convencional	46
11	Evaluación de la predicción de MSF de acuerdo con los diferentes métodos	50
12	Evaluación de la predicción de PF de acuerdo con los diferentes métodos	51

LISTA DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	Rutas del indicador a través del tracto gastro-intestinal	10
2	Curva de excreción fecal del Cr_2O_3 para probar el modelo 1 o "dosis masiva"	12
3.	Curva de excreción del Cr_2O_3 utilizada en el modelo	19
4	Curva de excreción del Cr_2O_3 utilizada en el modelo	20
5	Relación entre MSF medida Y MSF estimada con el modelo 1, usando bolos de papel	23
6	Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 1 usando bolos de papel	24
7	Relación en MSF medida y MSF estimada con el modelo 1, usando bolos de harina	26
8	Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 1, usando bolos de harina	28
9	Relación entre MSF medida y MSF estimada con el modelo 2, usando bolos de papel	30
10	Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 2, usando bolos de papel	32
11	Relación entre MSF medida y MSF estimada con el modelo 2, usando bolos de harina	34
12	Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 2, usando bolos de harina	35
13	Relación entre MSF medida y MSF estimada con el modelo 2	37
14	Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 2	38
15	Relación entre MSF medida y MSF estimada con el modelo 2	40

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
16	Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 2	42
17	Relación entre MSF medida y MSF estimada con el método convencional, usando bolos de papel	44
18	Relación entre PF medida y PF estimada con el método convencional, usando bolos de papel	45
19	Relación entre MSF medida y MSF estimada con el método convencional usando bolos de harina	47
20	Relación entre PF medida y PF estimada con el método convencional usando bolos de harina	49

LISTA DE ABREVIATURAS

C.V.	Coeficiente de variabilidad
MSF	Materia seca fecal
PF	Proteína fecal
IC	Indicador consumido
%I	Porcentaje indicador

1. INTRODUCCION

Para estudiar la productividad de las praderas existen diversas métodos y técnicas que ayudan a estimar su producción de energía en términos de producto animal por unidad de superficie así como el aprovechamiento por los animales. Estas medidas de calidad pueden constituir una estimación relacionada con la realidad, pero siempre la bondad de la predicción estará afectada por las limitaciones del método o técnica que se emplea. En la actualidad, la predicción del consumo de los animales en pastoreo es objeto de estudios por muchos investigadores por ser un factor altamente relacionado con el aprovechamiento y utilización del pasto por el ganado.

Muchos métodos directos e indirectos han sido propuestos con el propósito de hacer una estimación suficientemente precisa del consumo voluntario por el ganado en pastoreo. Sin embargo, debido a los enfoques empíricos de los métodos propuestos, estos están sujetos a estandarizaciones difíciles y no siempre confiables.

Para la aplicación de los métodos indirectos en los estudios de la estimación del consumo de bovinos en pastoreo, es necesario recurrir a variadas técnicas fundamentadas en la estimación de la digestibilidad del alimento y la producción fecal. El volumen fecal es estimado usando indicadores externos después de suministrarlos varios días a los animales. Se requiere de un muestreo de heces diariamente el cual se inicia, bajo un criterio empírico, varios días después de administrar el indicador. Se asume que el

flujo del indicador es constante y semejante al del alimento.

El objetivo del presente trabajo fue poner a prueba experimental un método para estimar la producción fecal de los animales en pastoreo, siendo este dato uno de los parámetros necesarios para estimar el consumo. Dicho método ha sido fundamentado en consideraciones teóricas en contraste con las técnicas en uso, fundamentadas en modelos empíricos. Este método ha sido descrito por medio de modelos matemáticos.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Métodos para estimar el consumo en pastoreo

Existen varios métodos para estimar el consumo de forraje en pastoreo, pero todos presentan problemas que los hacen de difícil uso o no son suficientemente precisos. Por consiguiente se hace necesario mejorar las técnicas o desarrollar nuevos procedimientos para estimar el consumo de pasto por el ganado en pastoreo. Se ha hecho una clasificación en la cual los métodos se pueden agrupar en directos o agronómicos y los métodos indirectos los cuales incluyen varias técnicas para predecir la asimilación y la producción fecal (2,3).

2.1.1. Métodos directos

Se realiza el muestreo de la pastura antes, durante y después del pastoreo para obtener por diferencia el forraje supuestamente consumido por el animal. Por el pastoreo selectivo del ganado, este método puede propiciar una sobrestimación de la medida de consumo de 25 por ciento a 40 por ciento (2,35). Además las muestras cortadas tienen menor digestibilidad, menos proteína y más fibra que las que selecciona el animal (35).

2.1.2 Métodos indirectos

Entre las diferentes variantes, la técnica de la proporción alimento/heces emplea un grupo de animales en pastoreo y otro estabulado consumiendo el mismo forraje simultáneamente (17). Para

estimar el forraje consumido en pastoreo, se mide el alimento consumido por animales estabulados y la producción fecal en ambos grupos (17,23). Se asume que los animales en pastoreo consumen igual forraje que en establo. Esta técnica involucra el error debido a la menor selección del pasto por los animales estabulados (23). La recolección total de heces presenta también problemas en los animales en pastoreo. El equipo y los utensilios usados son molestos para el animal (27,34) requieren un período largo de adaptación y especialmente las vacas pueden guardar un comportamiento diferente cuando son provistas de los arneses y las bolsas colectoras que cuando están estabuladas (27,34,38).

Los problemas mencionados se evitan en parte usando indicadores externos para estimar la producción fecal e indicadores internos y técnicas in vitro para estimar la asimilación de los forrajes (1,2). Estas técnicas pueden expresar sus resultados en la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo de materia seca Kg/día} = \frac{\text{Materia seca fecal Kg/día}}{100 - \text{asimilación}}$$

Para predecir la asimilación se conocen las técnicas de índices fecales, técnicas de relación y técnicas in vitro.

2.1.2.1. Técnicas de índices fecales

Por medio de las técnicas de índices fecales se obtiene, en estabulación y a partir de los componentes de las heces, ecuaciones de regresión para predecir la digestibilidad de un forraje similar al que está siendo pastoreado (1,2,40). Se usan como índices fe-

cales el nitrógeno, los cromógenos, la lignina, el cobre, el magnesio, el sílice, la fracción disuelta de las heces o la celulosa (2,23). Se ha encontrado que el nitrógeno y los cromógenos dan los mejores resultados, con errores estándar de ± 3 unidades de asimilación, mostrando mayor variación los últimos (1,2,19). El nitrógeno fecal presenta ventajas por su facilidad de análisis aunque en praderas con bajo contenido en este elemento la técnica no es muy precisa (2). Se asume que la fracción de nitrógeno metabólico es excretada en forma constante y que el nitrógeno proteico del alimento es también asimilado en una fracción constante (21,23). Sin embargo, se ha visto que la cantidad excretada varía en forma no lineal con la cantidad de nitrógeno del forraje ingerido (1,21,23) y con la cantidad de materia seca consumida. Además, el nitrógeno fecal sufre también variaciones de excreción diurna (35). El problema más serio es que las ecuaciones de regresión deben obtenerse en forrajes similares al forraje problema (35). No se han podido obtener "regresiones generales" que se apliquen a todos los forrajes, conviniendo más el uso de "regresiones locales" para una especie de forraje y en determinada época del año (2).

En las técnicas de índices fecales no se tiene el problema del muestreo de la dieta que presentan las técnicas de relación e in vitro, pero se incurre en el error de aplicación de resultados de estabulación a pastoreo (1, 8, 19, 24, 40). Las regresiones locales son generalmente más precisas.

2.1.2.2. Técnicas de relación

Se fundamentan en el uso de indicadores cuya concentración se mide en la dieta consumida y en las heces fecales, asumiendo que el indicador consumido es excretado siguiendo el mismo patrón que el alimento no digerido. El muestreo se hace por medio de fístulas ruminales o esofágicas (1, 2, 23, 40). Como indicadores endógenos se han sugerido la lignina, el sílice, los cromógenos (2) y el nitrógeno no asimilable (19). La lignina es difícil de determinar en laboratorio debido a los artefactos que se forman durante el análisis (45), además de que según algunos autores, existe cierta digestibilidad en los rumiantes (2). El sílice es un buen indicador en concentrados y alimentos comprimidos, pero sufre retenciones en el sistema digestivo del animal en forma muy variable y además, en estudios de praderas, su contenido se ve afectado por contaminación y en algunos forrajes representa poca concentración, lo cual no es deseable cuando se usa como indicador (2, 23). En el uso de cromógenos se discute si es que los pigmentos vegetales pasan inalterados a través del tracto digestivo (2, 23, 26, 40). Reid (39), sugiere como indicador el nitrógeno no asimilable, ya que es una fracción constante en el forraje, fácil de analizar y es común encontrar laboratorios con el material necesario para su determinación. Holter y Reid (20), proponen la ecuación: % Proteína asimilable = 0,929 (% Proteína cruda) - 3,48. El error estándar de esta ecuación es 0,46 por ciento de la proteína asimilable. Con esta fórmula se puede estimar el coeficiente

de asimilación de la materia seca sumiendo que el nitrógeno fecal es el nitrógeno no asimilable (39). La mayor fuente de error es asumir que el nitrógeno fecal es proveniente sólo del alimento, sin considerar las excreciones de nitrógeno metabólico (14, 23).

El problema principal de esta técnica es el muestreo de las dietas requerido para obtener información cualitativa del consumo. Por medio de pastoreo simulado no se logra tomar una muestra representativa (2, 39) y los animales fistulados presentan algunas desventajas tales como pérdida de selectividad debida al hambre causada por el rumen vaciado al inicio del muestreo, contaminación de las muestras por saliva y pérdida de algunos constituyentes solubles del forraje (2). Además, hay informes que afirman que los animales fistulados no tienen un comportamiento fisiológico normal (2, 40). Generalmente los animales fistulados se usan sólo como muestreadores de pasto y las determinaciones cuantitativas se hacen con otros animales con los que se realiza la colección de heces. Esta extrapolación de la información obtenida con los fistulados y el hecho de que los otros animales pueden no presentar la misma selectividad del forraje, es otra fuente de error.

2.1.2.3. Técnicas in vitro

Las muestras tomadas con animales fistulados son sometidas a una digestión bacteriana en un "rumen artificial". En esta forma se obtienen ecuaciones de regresión para estimar la digestibilidad del forraje. Se evita el trabajo y los errores causados por el uso de indicadores internos. Sin embargo existen las des-

ventajas del muestreo y del uso de ecuaciones empíricas con igual desventaja que en las técnicas de los índices fecales y las estandarizaciones metodológicas son aún más estrictas que para cualquiera otra técnica (2).

2.1.2.4. Uso de indicadores para estimar la producción fecal

Estas técnicas evitan los problemas de la colección total aplicando la siguiente relación:

$$\text{Volumen fecal producido} = \frac{\text{Peso del indicador ofrecido}}{\% \text{ del indicador en las heces}}$$

Los indicadores externos que se utilizan deben ser atóxicos inertes, indigestibles, baratos, fáciles de analizar, de excreción uniforme y similar a la ingesta y de recuperación total (23, 24, 38, 39). Se han utilizado las siguientes sustancias (23, 33, 39, 43): óxido crómico, óxido de hierro, sulfato de bario, sílica e isótopos radiactivos. El indicador más utilizado es el óxido crómico.

El principal problema de esta técnicas es la excreción cíclica del indicador y la distribución poco homogénea en las heces (12, 13). Se han logrado "recuperaciones" cercanas al 100 por ciento, considerando ciertas estandarizaciones como el tipo y horario de alimentación, número de dosis diarias, días de dosificación, forma de dosificar y hora de muestreo al día (2, 23, 24, 30, 40, 44). El papel impregnado de óxido crómico ha brindado los mejores resultados por la poca variación en la

excreción y la buena recuperación que presenta. De esta manera el indicador es mezclado más uniformemente con los forrajes dentro del comportamiento rumen-retículo y su paso a través del tracto gastrointestinal tiene una velocidad más similar a la del material consumido (10, 11, 12, 13, 16, 29, 32, 36, 41).

2.2 Solución de modelos teóricos

Los modelos matemáticos que tratan de describir los fenómenos biológicos pueden ser resueltos con programa Fortran IV provisto de una subrutina que permita obtener los derivados parciales con respecto a los parámetros y a la estimación de estos por medio de un análisis de regresión iterativo (35, 42).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en los campos y laboratorios del Departamento de Ganadería Tropical del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica. Turrialba está localizada a 602 m sobre el nivel del mar con unos 2,575.5 mm de precipitación anual uniformemente distribuida, 22,31 grados centígrados de temperatura promedio y aproximadamente 90 por ciento de humedad relativa promedio.

3.2. Método propuesto para estimar la producción fecal

En la figura 1 se ilustra un modelo compartamental que explica las rutas seguidas por el indicador Cr_2O_3 (línea sólida) y el alimento (línea punteada) durante el paso por el tracto gastrointestinal de los animales.

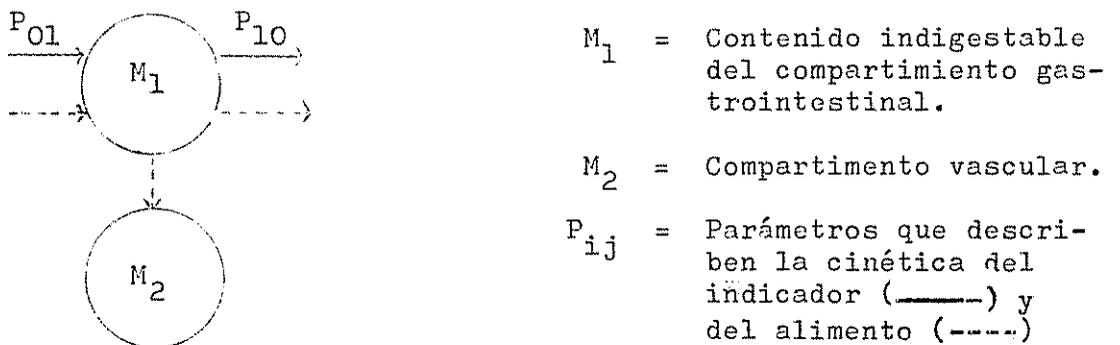


Fig. 1. Rutas del indicador a través del tracto gastrointestinal.

El método ensayado se fundamenta en el uso del óxido crómico (Cr_2O_3) como indicador exógeno, asumiendo que se comporta en el tracto digestivo en igual forma que la ingesta. Por consiguiente se postuló que el patrón de excreción fecal del indicador es semejante a la cinética del alimento en el tracto gastrointestinal. El método incluye dos modelos matemáticos que describen la curva de excreción de acuerdo a dos formas diferentes de dosificar el indicador. En el modelo 1, descrito por la relación $\frac{dY}{dt} = \frac{P_{10}Y}{M_1}$ [1], el indicador se administró en una sola "dosis masiva". En el modelo 2, descrito por la relación $\frac{dY}{dt} = B_{01} - \frac{P_{10}Y}{M_1}$ [2], en que:

B_{01} = dosis del indicador/unidad de tiempo

Y = concentración fecal del indicador, por ciento

t = tiempo, horas

P_{10} = producción fecal por hora

el indicador se administró en dosis diarias múltiples de "infusión constante". En los dos casos se hicieron muestreos periódicos para medir la concentración del indicador.

Para dar solución al modelo 1 se consideró la porción de la curva de excreción desde el punto de máxima concentración del Cr_2O_3 24-32 horas, hasta su excreción total 128 horas, según se puede ver en la figura 2, que la función que describe a la curva es la siguiente:

$$Y(t) = Y(o) e^{-bt} \quad [3]$$

en que:

$$b = \frac{P_{10}}{M_1}$$

M_1 = contenido de material indigestible en el tracto digestivo

$Y(o)$ = Concentración del indicador a tiempo cero

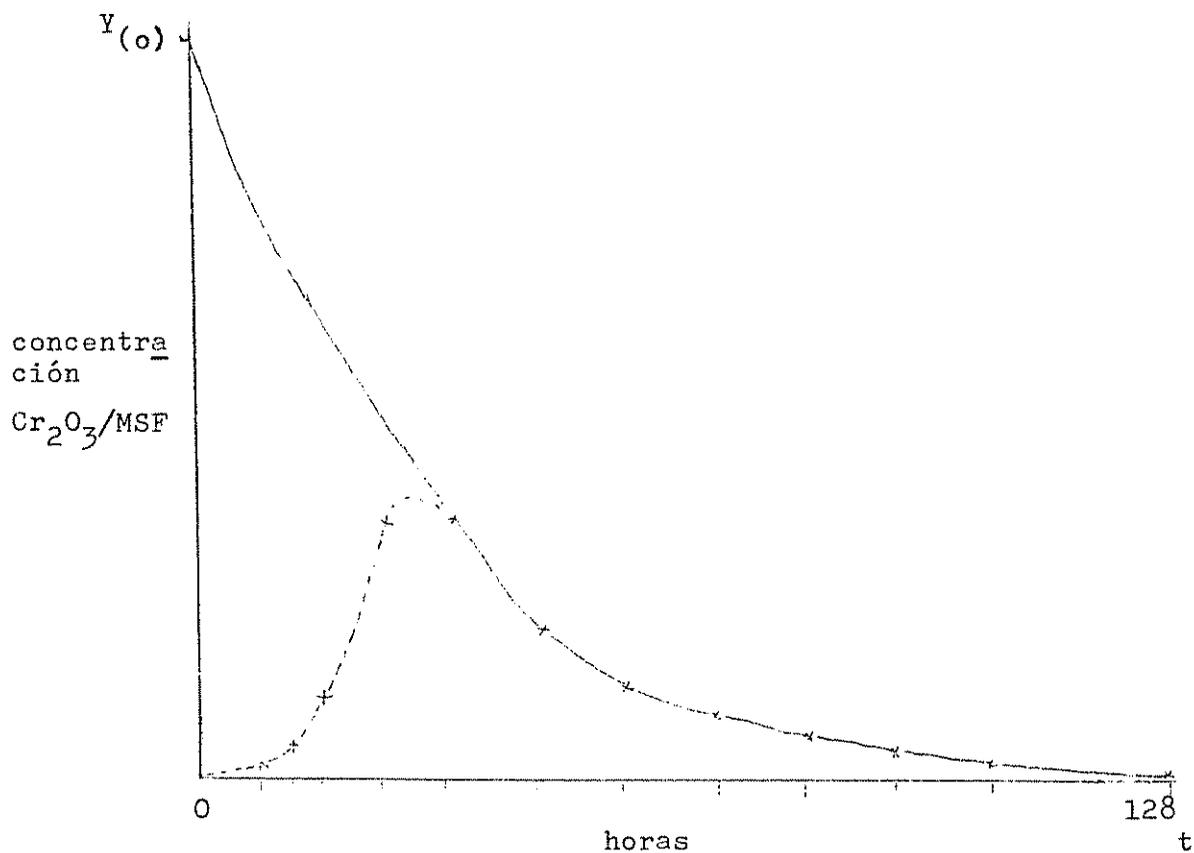


Fig. 2. Curva de excreción fecal del Cr_2O_3 para probar el modelo 1 o "dosis masiva".

La expresión:

$$Y_{(o)}M_1 = \text{dosis única del indicador} \quad [4]$$

Por consiguiente:

$$M_1 = \frac{\text{dosis}}{Y_{(o)}} \quad [5]$$

$$P_{10} = bM = \frac{b \text{ dosis}}{Y_{(o)}} \times 24 \text{ horas} \quad [6]$$

La integración de la ecuación diferencial correspondiente al modelo 2 da lugar a la siguiente función:

$$Y(t) = Y_{(o)} (1 - e^{-bt}) \quad [7]$$

En este caso la excreción fecal:

$$P_{10} = \frac{B_{01}}{Y_{(o)}} \times 24 \text{ horas} \quad [8]$$

Para obtener los parámetros necesarios para el cálculo de P_{10} (31), estos modelos fueron sometidos a un análisis iterativo de regresión. Las variables dependientes fueron la concentración del indicador en base seca al vacío (%I/%MSV) y la concentración del indicador con respecto a la proteína (%I/%P). La variable independiente fue el tiempo expresado en horas.

Buscando disminuir diferencias entre la cinética del indicador y del alimento, se ensayaron dos materiales portadores del indicador, harina de trigo y papel. Se usó papel sanitario molido y mezclado con el Cr_2O_3 .

La comprobación de los modelos ensayados se hizo por comparación del valor medido directamente para producción fecal de ali-

mentos con el valor P_{10} obtenido indirectamente.

Adicionalmente se realizó la estimación de la producción fecal por el método convencional. Este método utiliza la promedio de la concentración del indicador en las heces desde el sexto hasta el décimo día de dosificación. Se aplica la siguiente relación:

$$MSF = \frac{IC}{\%I} \quad [9]$$

en que:

IC = Indicador consumido

%I = Por ciento del indicador en las heces

MSF = Materia seca fecal

3.3. Diseño experimental

Los tratamientos y factores estudiados se ilustran con el arreglo de campo del Cuadro 1.

Cuadro 1. Factores y tratamientos estudiados con los modelos 1 y 2.

Factores	Tratamientos			
	Papel		Harina	
Forma de suministro del indicador				
Dosis	Una	Varias	Una	Varias
Animales	4	4	4	4
Repeticiones en tiempo	5	5	5	5

Como puede verse en el Cuadro 1, se estudió la curva de excreción del óxido crómico cuando éste se suministra impregnado en papel al 50 por ciento y mezclado en harina de trigo al 70 por ciento; con una sola dosis y con dosis diarias distribuidas durante toda la prueba. En el caso de una dosis, las cantidades de indicador suministrado, fueron de 30, 40, 50 y 60 g para los pesos corporales de 150, 250, 350 y 400 kg respectivamente. En el método de dosis múltiples se suministraron 10 y 15 g para los animales de 350 y 450 kg de peso. Los pesos indicados son aproximados. Los detalles se pueden ver en el Apéndice.

3.4. Manejo del experimento

Se utilizaron 80 animales con peso entre 150 y 450 kg. Los animales fueron entrenados durante 5 días para su adaptación al manejo, especialmente al uso de arneses para las bolsas colectoras de heces. Fueron amarrados al pesebre para recibir la alimentación individualmente, después de lo cual fueron soltados para realizar ejercicio y tomar agua ad libitum. El ganado recibió el forraje picado ad libitum a las 10:00 h y 16:00 h.

La "dosis única" se dió a los animales a las 22:00 h y la "infusión constante" se inició a las 18:00 h dosificando cada 12:00 h. El muestreo de las heces se hizo directamente del recto y el volumen fecal fue medido pesando el contenido de la bolsa colectora dos o tres veces al día.

La dosis única así como el número de días necesarios en el

caso de varias dosis fueron determinados por medio de un ensayo piloto. Cinco animales fueron dosificados con niveles de óxido crómico entre 20 y 100 g en una sola dosis, y dos animales recibieron dosis múltiples. En esta forma se determinó la dosis única necesaria para obtener una concentración adecuada de Cr_2O_3 en las heces y el número de días necesarios para "saturar el tracto digestivo". Se utilizaron 5 animales por tratamiento, repitiéndose la prueba 5 veces (Cuadro 1).

Los días considerados para obtener producción fecal real de materia seca y de proteína, fueron promediados con diferente criterio de acuerdo a los modelos estudiados, correspondiendo a los días de muestreo de heces. La producción fecal medida directamente para comparar el modelo 1 se obtuvo de promediar las excreciones de cuatro. Los días que siguieron al valor máximo de concentración de Cr_2O_3 excretado.

El modelo 2 se comparó con el promedio de la producción fecal de cinco días a partir de un día después de haber iniciado el suministro del indicador.

Se incluyó también, una comparación entre el método de colección total de heces para medir los volúmenes promedio de materia seca y proteína excretados los últimos cinco días, con el método de recolección parcial de heces, mediante la relación [9].

3.5. Análisis de laboratorio

En las heces, se determinaron los contenidos de materia seca y proteína, según los métodos del "Official Agricultural Chemist" (AOAC) (3). El nitrógeno se determinó por el método del Micro-Kjeldahl y se corrigieron los valores obtenidos por pérdidas en el secado con la ecuación de Juko (25).

La concentración del óxido crómico en las heces se determinó con el método sugerido por Czarnocki (15). Las muestras fueron analizadas por duplicado, desechando aquellos duplicados que presentaron diferencias mayores de 5 por ciento y repitiendo el análisis.

3.6. Datos tomados

- a) Concentración del indicador con relación a materia seca y a proteína en las heces excretadas. En el modelo 1 a las 8, 12, 16, 24, 32, 44, 56, 68, 80, 92, 104 y 128 horas después de haber dosificado el indicador. En el modelo 2, durante 10 días y cada 12 horas, a partir del inicio de la dosificación.
- b) Producción diaria de materia seca fecal.

3.7. Análisis estadísticos

Para comparar los promedios de la producción fecal medida con la producción fecal estimada se hicieron pruebas de "t" para observaciones pareadas. Se usaron como parámetros la producción

de materia seca y de proteína. Además se hizo un análisis de regresión de acuerdo al modelo:

$$Y_i = a + bx_i \quad [10]$$

en que:

Y_i = MSF o PF medidas

X_i = MSF o PF estimadas

Los valores r , r^2 y S_{yx} sirvieron para estimar la precisión del método, mientras que los parámetros a y b se usaron como factores de corrección.

4. RESULTADOS

4.1. Ajuste de las funciones

En las figuras 3 y 4 se presentan los gráficos de las curvas típicas de excreción del indicador para los modelos 1 y 2 respectivamente. Para el ajuste de la función en el modelo 1 se desechó los datos al valor máximo.

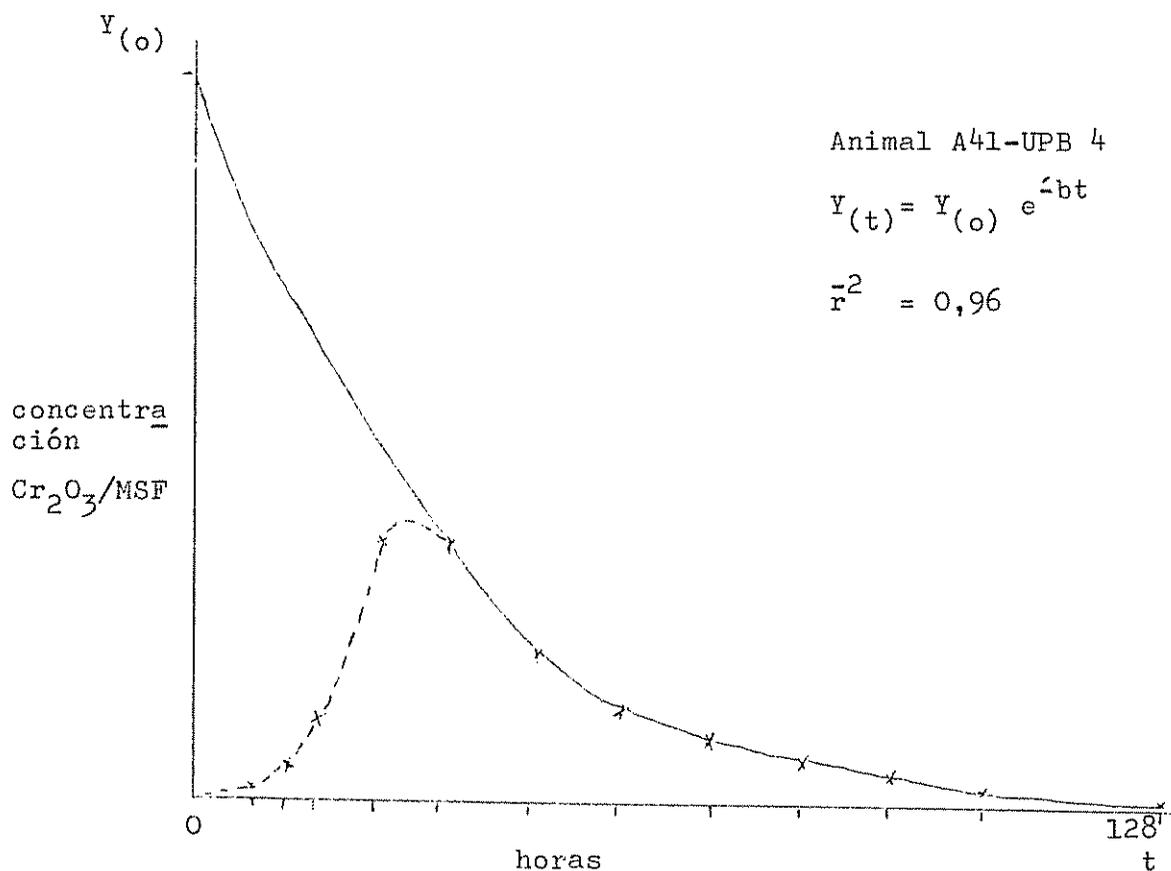


Fig. 3. Curva de excreción del Cr_2O_3 utilizada en el modelo 1.

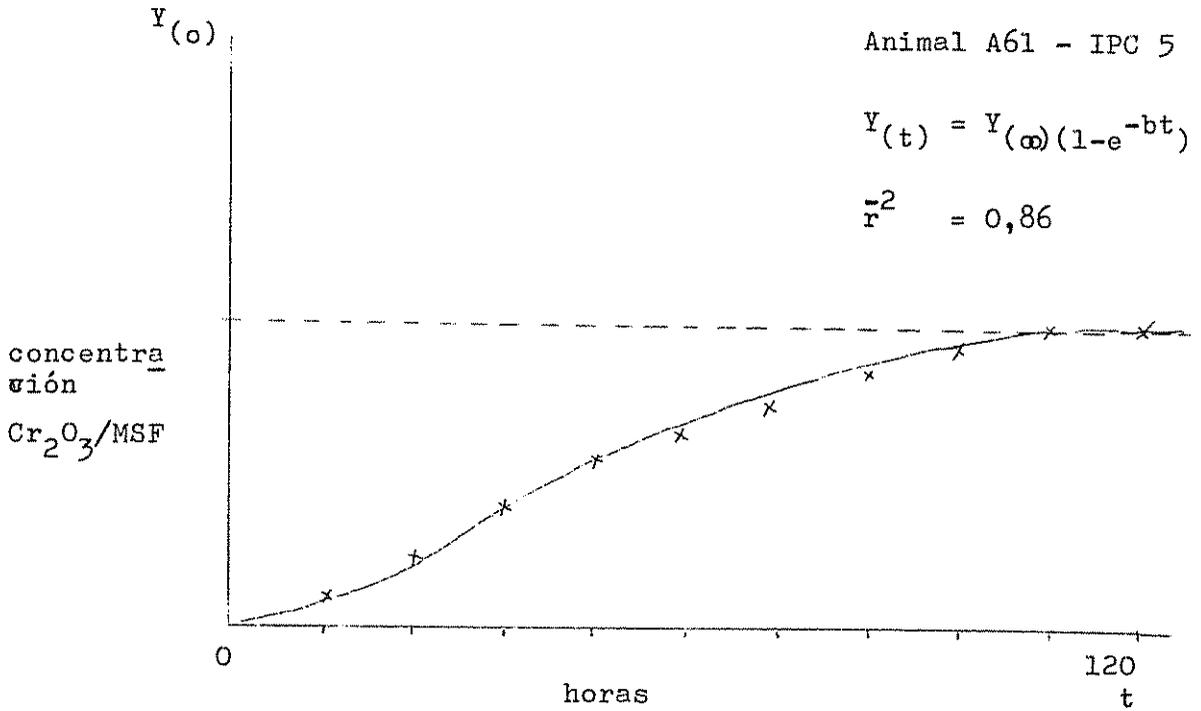


Fig. 4. Curva de excreción del Cr_2O_3 utilizada en el modelo 2.

Las curvas de excreción del indicador, individuales para cada animal, presentadas en las figuras 3 y 4 sirvieron para predecir la producción de MSF. Se usó como variable dependiente la concentración del indicador con relación a MSF (Cr_2O_3/MSF). Para predecir PF se utilizó como variable dependiente la relación Cr_2O_3/PF .

Cuadro 2. Valores promedio de r^2 para el ajuste de los modelos 1 y 2 a las curvas de excreción del indicador con relación a la MSF y PF.

Modelos	<u>Cr₂O₃ en papel</u>		<u>Cr₂O₃ en harina</u>	
	MSF	PF	MSF	PF
1	0,96	0,95	0,95	0,95
2	0,86	0,85	0,67	0,73

Según puede verse en el Cuadro 2 para estimar la producción de MSF la función que describe al modelo 1 se ajustó a los datos con un valor promedio para r^2 de 0,96 en cuanto se suministró el Cr₂O₃ en bolos de papel. Para estimar PF dió un valor promedio para r^2 de 0,95. Cuando se usó harina de trigo como vehículo del indicador la función se ajustó con un r^2 de 0,95 en promedio, para estimar MSF y PF. En el modelo 2 cuando se suministró el indicador el ajuste de la función a los datos en bolos de papel, presentó un r^2 promedio de 0,86 para MSF y de 0,85 para PF. Cuando se suministró el indicador en harina de trigo el ajuste mostró un valor promedio de 0,67 para MSF y de 0,73 para PF.

4.2. Predicción de la producción fecal mediante la administración del indicador en dosis única

La producción promedio de la MSF y PF medida directamente y estimada en forma indirecta dando Cr₂O₃ en bolos de papel se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Comparación entre MSF y PF medidas con MSF y PF estimadas, usando Cr_2O_3 en bolos de papel, modelo 1.

	Método directo	Estimado con Cr_2O_3 en papel	
		Sin corregir	Corregido
MSF promedio kg/día	2,00	1,30**	1,98(a)
PF promedio kg/día	0,23	0,10**	0,22(b)

** Significativo ($P > 0,01$)

(a) Corregido por la ecuación [11]

(b) Corregido por la ecuación [12]

En el Cuadro 3 puede observarse que el promedio de MSF medido en forma directa fue de 2,00 kg/día y el promedio de MSF obtenido en forma indirecta utilizando la relación [6] fue de 1,30 kg/día. Se realizó una comparación de estos promedios mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas encontrándose que las diferencias fueron significativas ($P > 0,01$). El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de MSF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,592 + 1,159X \quad [11]$$

en que:

Y = MSF medida directamente

X = MSF estimada por la relación [6]

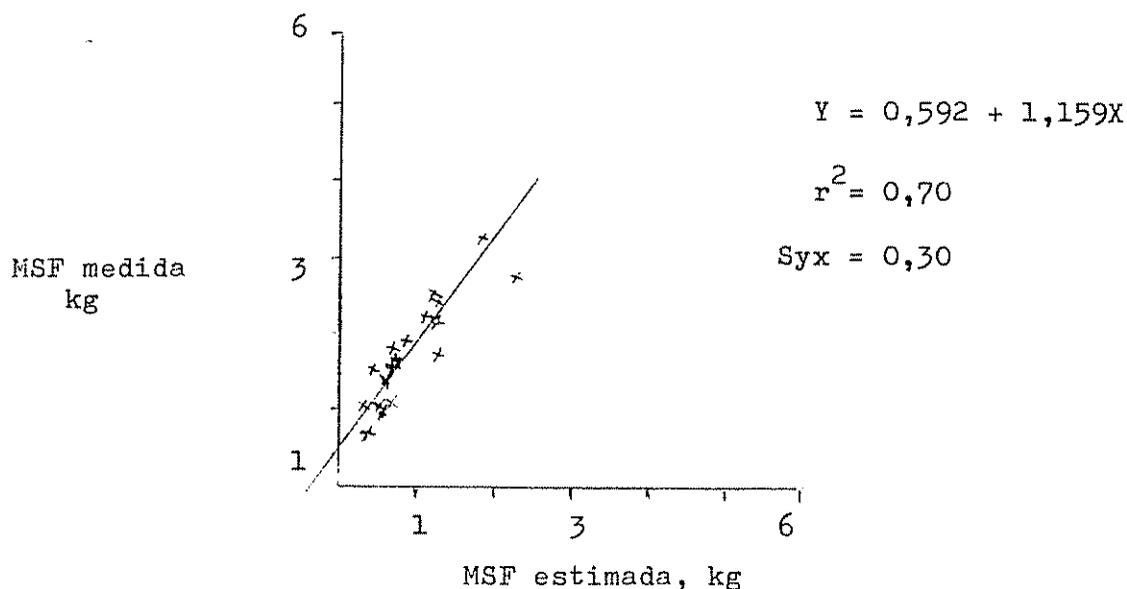


Fig. 5. Relación entre MSF medida y MSF estimada con el modelo 1, usando bolos de papel.

El gráfico de la figura 5 corresponde a la ecuación [11]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos aunque la función no pasa por el origen. El valor $a = 0,592$ es mayor que cero mientras que el valor $b = 1,159$ no es significativamente diferente del valor unitario esperado ($P > 0,01$). La ecuación [10] se ajusta a los datos con un valor de $r^2 = 0,70$ y con un coeficiente de variabilidad para Syx de 14,9 por ciento. El r correspondiente fue significativo ($P > 0,01$). En el Cuadro 3 puede observarse que el promedio de MSF estimado dió un valor de 1,98 kg cuando fue corregida con la ecuación [11]. Al compararse estos

valores corregidos con el promedio de MSF medido directamente, mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas, ya no se detectaron diferencias significativas.

Para el caso de PF el Cuadro 3 puede observarse que el promedio medido en forma directa fue de 0,23 kg/día y el promedio estimado por la relación [6] fue de 0,10 kg/día. La prueba de "t" para observaciones pareadas, demostró diferencias significativas ($P > 0,01$). El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de PF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,026 + 1,875X \quad [12]$$

en que:

Y = PF medida directamente

X = PF estimada por la relación [6]

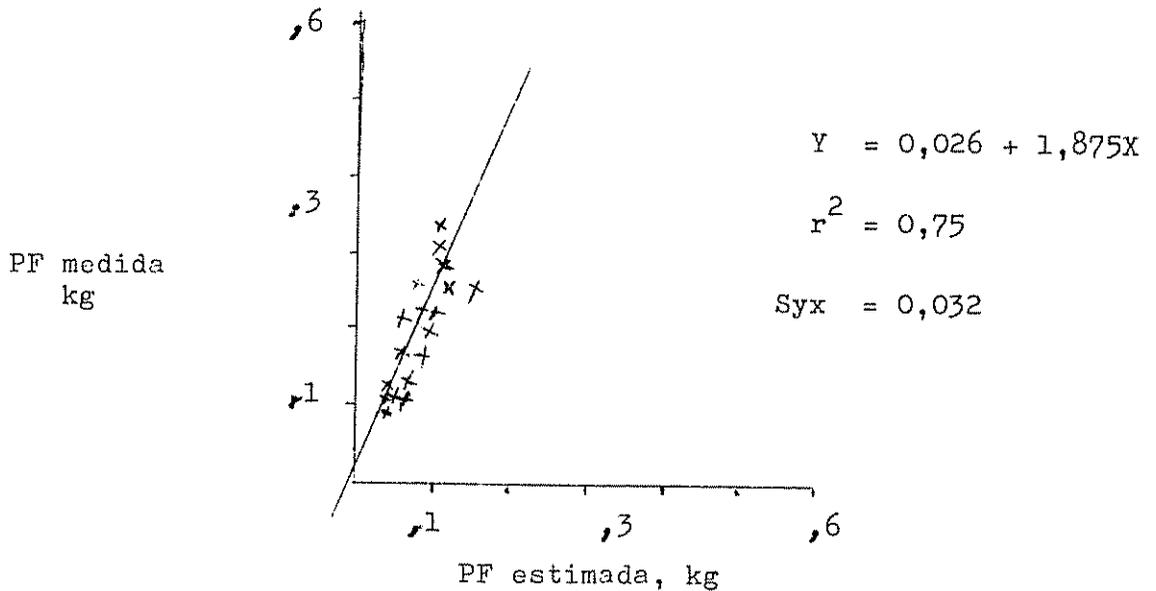


Fig. Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 1, usando bolos de papel.

El gráfico de la figura 6 corresponde a la ecuación [12]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos cuya función presenta un valor $a = 0,026$ no diferente de cero y un valor $b = 1,875$ significativamente diferente del valor unitario esperado ($P > 0,01$). La ecuación se ajusta a los datos con un valor para r^2 de 0,75 y presenta un coeficiente de variabilidad para S_{yx} de 14,9 por ciento. El r correspondiente fue significativo ($P > 0,01$). En el Cuadro 3 se puede observar que el promedio de PF estimado mejoró cuando fue corregido por la ecuación [12] dando un valor de 0,22 kg. Al hacer la comparación de estos valores corregidos con el promedio de PF medido directamente, mediante una prueba de "t" para observaciones pareadas, no se detectaron diferencias significativas.

La producción promedio de MSF y PF medida directamente y estimada en forma indirecta mediante Cr_2O_3 en bolos de harina se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Comparación entre MSF y PF medidas con MSF y PF estimadas usando Cr_2O_3 en bolos de harina, modelo 1.

	Método directo	Estimado con Cr_2O_3 en harina	
		Sin corregir	Corregido
MSF promedio kg/día	1,81	1,30**	1,80 (a)
PF promedio kg/día	0,19	0,13**	0,19 (b)

** Significativo ($P > 0,01$)

(a) Corregido con la ecuación [13]

(b) Corregido con la ecuación [14]

En el Cuadro 4 se puede observar que el promedio de MSF medido directamente fue de 1,81 kg/día y el promedio de MSF estimado en forma indirecta usando la relación [6] fue de 1,30 kg/día. La comparación de estos promedios mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas demostró que las diferencias fueron significativas ($P > 0,01$). El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de MSF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,627 + 0,906X \quad [13]$$

en que:

Y = MSF medida directamente

X = MSF estimada por la relación [6]

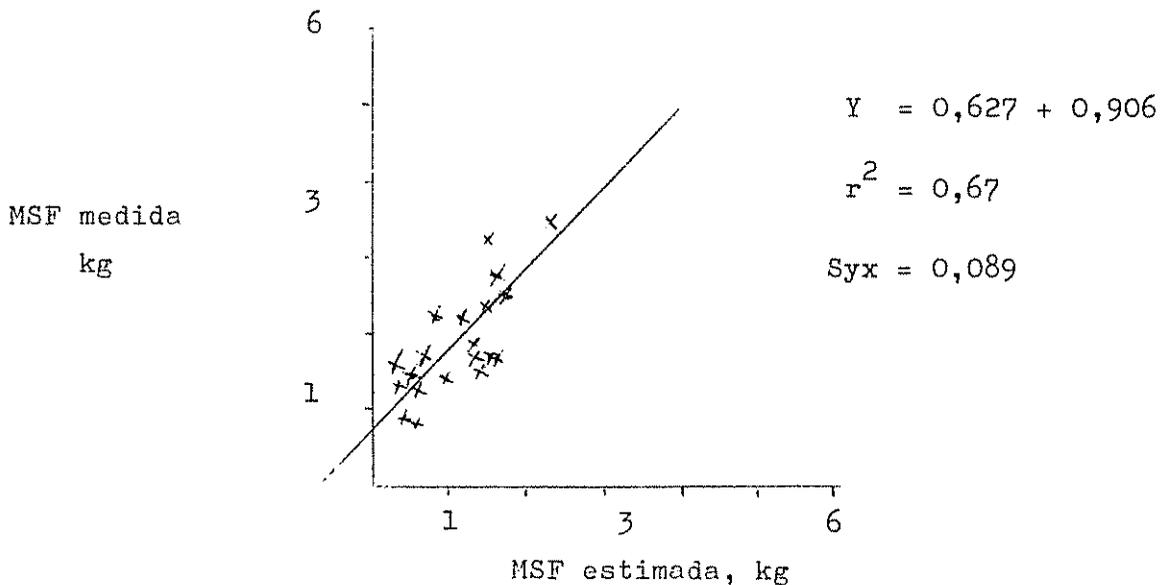


Fig. 7. Relación en MSF medida y MSF estimada con el modelo 1, usando bolos de harina.

El gráfico de la figura 7 corresponde a la ecuación [13]. La tendencia que se observa es lineal y la función presenta un valor $a = 0,627$, diferente de cero ($P > 0,01$) y un valor $b = 0,906$ que no es significativamente diferente del valor unitario esperado. La ecuación [10] se ajusta a los datos con un valor $r^2 = 0,67$ y con un coeficiente de variabilidad para Syx de 9,0 por ciento. El r correspondiente fue significativo ($P > 0,01$).

Según puede observarse en el Cuadro 4 el promedio de MSF estimado dió un valor de 1,80 kg cuando los datos fueron corregidos con la ecuación [13]. La comparación de estos valores corregidos con los medidos directamente mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas no demostró diferencias significativas.

En el Cuadro 4 puede observarse que el promedio de PF medido en forma directa fue de 0,19 kg/día y el promedio de PF obtenido en forma indirecta utilizando la relación [6] fue de 0,13 kg/día. La comparación de estos promedios mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas, detectó diferencias significativas ($p > 0,01$). El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de PF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,071 + 0,932X \quad [14]$$

en que:

Y = PF medida directamente

X = PF estimada por la relación [6]

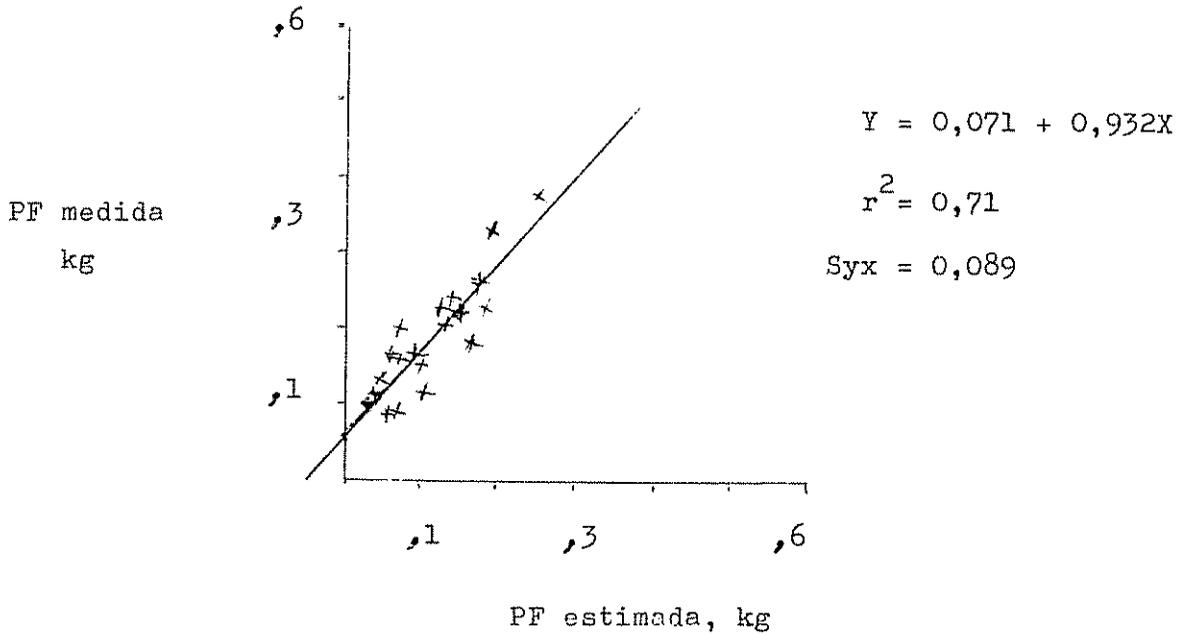


Fig. 8. Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 1, usando bolos de harina

El gráfico de la figura 8 corresponde a la ecuación [14]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos cuya función presenta un valor $a = 0,071$ y un valor $b = 0,932$, los cuales no son diferentes de los valores esperados. La ecuación [10] se ajusta a los datos con un valor de $r^2 = 0,71$ y con un coeficiente de variación de 6,9 por ciento. El r correspondiente fue significativo ($P > 0,01$),

En el Cuadro 4 puede observarse que el promedio de PF estimado cuando fue corregido con la función [14] presentó un valor de 0,19 kg. La comparación de los valores corregidos de PF con los medidos directamente mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas no detectó diferencias significativas.

4.3. Predicción de la producción fecal mediante la administración del indicador en "infusión constante"

La producción promedio de MSF y PF medida directamente y estimada en forma indirecta mediante Cr_2O_3 en bolos de papel se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Comparación entre MSF y PF medidas con MSF y PF estimadas, usando Cr_2O_3 en bolos de papel, modelo 2.

	Método directo	Estimado con Cr_2O_3	
		Sin corregir	Corregido
MSF promedio kg/día	1,85	2,04**	1,82 (a)
PF promedio kg/día	0,20	0,16**	0,20 (b)

** Significativo ($P > 0,01$)

(a) Corregido por la ecuación [15]

(b) Corregido por la ecuación [16]

En el Cuadro 5 se observa que el promedio de MSF medido en forma directa de de 1,85 kg/día y el promedio de MSF obtenido en forma indirecta utilizando la relación [8] fue de 2,04 kg/día. La comparación de estos valores corregidos con los medidos directamente mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas detectó diferencias significativas ($P > 0,01$). El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de MSF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,794 + 0,620X$$

[15]

en que:

Y = MSF medida directamente

X = MSF estimada por la relación [8]

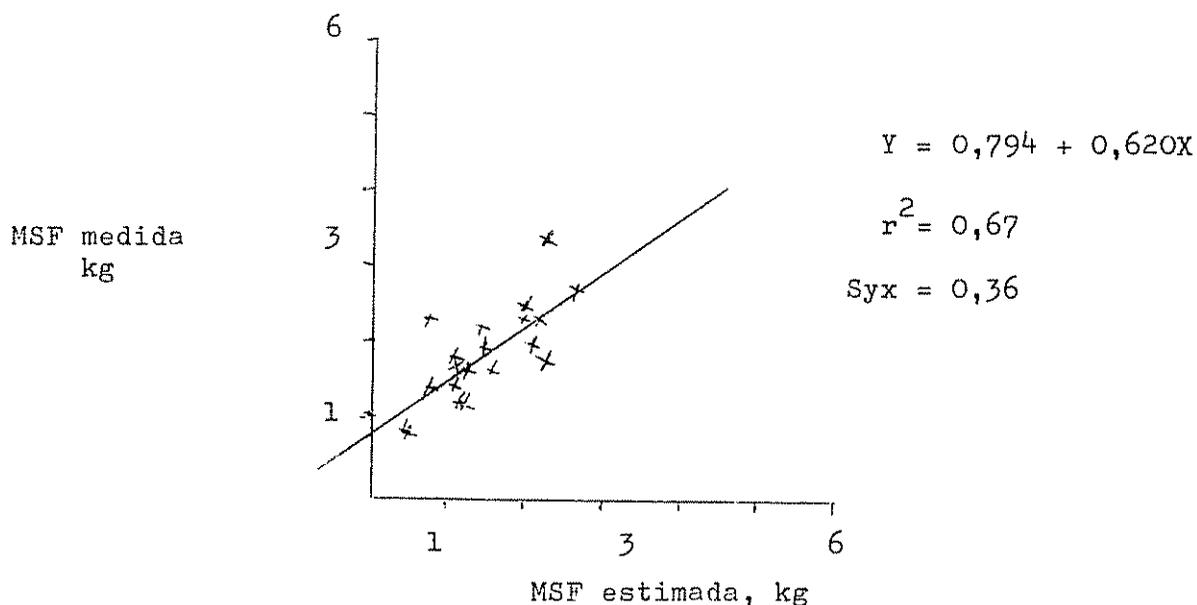


Fig. 9. Relación entre MSF medida y MSF estimada con el modelo 2, usando bolos de papel.

El gráfico de la figura 9 corresponde a la ecuación [15]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos, cuya función presenta un valor $a = 0,794$ y un valor $b = 0,620$ los cuales son diferentes de los valores esperados ($P > 0,01$). La ecuación [10] se ajusta a los datos con un valor $r^2 = 0,67$ y un coeficiente de variación para Syx de 26 por ciento. El r

correspondiente fue significativo ($P > 0,01$).

En el Cuadro 5 se puede observar que el promedio de MSF estimado cuando fue corregido con la función [15], presentó un valor de 1,82 kg. La comparación con el promedio de PF medido directamente mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas no detectó diferencias significativas.

En el Cuadro 5 se observó el promedio de PF medido en forma directa fue de 0,20 kg/día y el promedio de PF obtenido con la relación [8] fue de 0,16 kg/día. La comparación de estos promedios mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas detectó diferencias significativas ($P > 0,01$). El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de PF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,123 + 0,455X \quad [16]$$

en que:

Y = PF medida directamente

X = PF estimada por la relación [8]

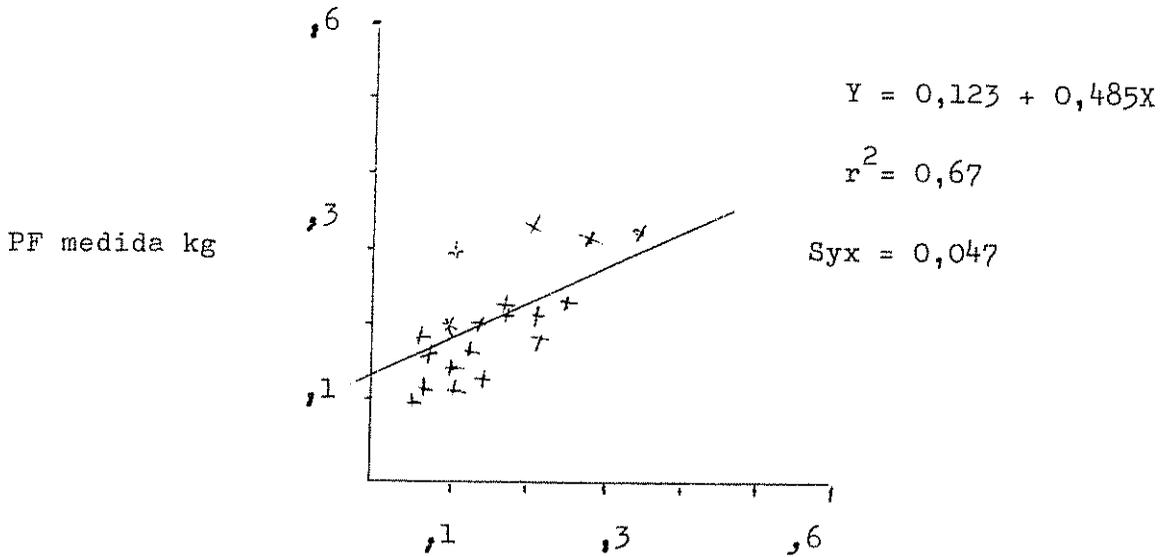


Fig. 10. Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 2, usando bolos de papel.

El gráfico de la figura 10 corresponde a la ecuación [16], se puede observar la tendencia lineal de los datos, cuya función presenta un valor $a = 0,123$ y un valor $b = 0,485$, los cuales son diferentes de los valores esperados ($P > 0,01$). La ecuación [10] se ajusta a los datos con un valor de $r^2 = 0,67$ y un coeficiente de variabilidad de 18,0 por ciento. El r correspondiente fue significativo ($P > 0,01$).

En el Cuadro 5 puede observarse que el promedio de PF estimado cuando los valores fueron corregidos con la función [16], presentó un valor de 0,20 lo cual es igual al medido directamente.

La producción promedio de MSF y PF medida directamente y estimada en forma indirecta mediante Cr_2O_3 en bolos de harina se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Comparación entre MSF y PF medidas con MSF y PF estimadas usando Cr_2O_3 en bolos de harina, modelo 2.

	Método directo	Estimado con óxido crómico	
		Sin corregir	Corregido
MSF promedio kg/día	1,78	2,08	1,79 (a)
PF promedio kg/día	0,20	0,20	0,21 (b)

(a) Corregido con la función [17]

(b) Corregido con la función [18]

En el Cuadro 6 se observa que el promedio de MSF medido directamente fue de 1,78 kg/día y el promedio de MSF obtenido en forma indirecta mediante la relación [8] fue de 2,08 kg/día. La comparación de estos promedios mediante la prueba de "t" para observaciones pareadas no detectó diferencias significativas. Los promedios de PF medida y PF estimado tampoco mostraron diferencias significativas ($P > 0,01$).

El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de MSF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,702 + 0,491X \quad [17]$$

en que:

Y = MSF medida directamente

X = MSF estimada con la relación [8]

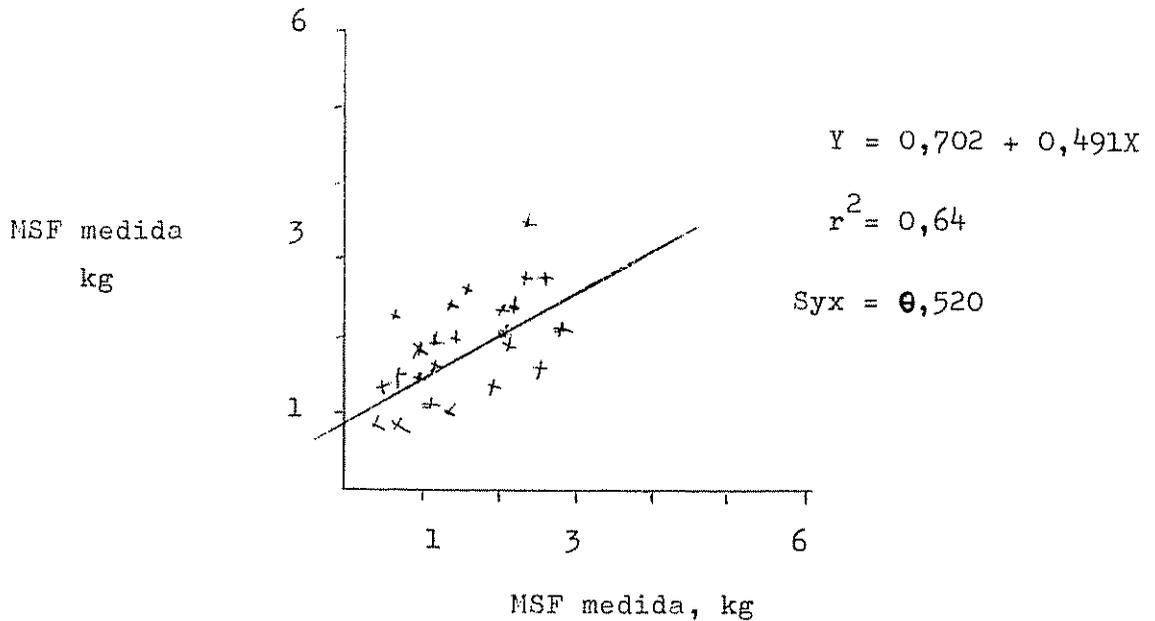


Fig. 11. Relación entre MSF medida y MSF estimada con el modelo 2, usando bolos de harina.

El gráfico de la figura 11 corresponde a la ecuación [17]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos cuya función presenta un valor $a = 0,702$ y un valor $b = 0,491$ los cuales son diferentes de los valores esperados ($P > 0,01$). La ecuación [10] se ajusta a los datos con un valor de $r^2 = 0,64$ y un coeficiente de variación para Syx de 29 por ciento. El r correspondiente fue significativo ($P > 0,01$).

En el Cuadro 6 se puede observar que el promedio de MSF estimado cuando los datos fueron corregidos por la función [17], presentó un valor de 1,79 kg el cual es muy semejante al medido directamente.

En el Cuadro 6 también se puede observar que el promedio de PF medido directamente es de 0,20 kg y el promedio de PF estimado de 0,21 kg. La análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de PF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,070 + 0,573X \quad [18]$$

en que:

Y = PF medida directamente

X = PF estimada por la relación [8]

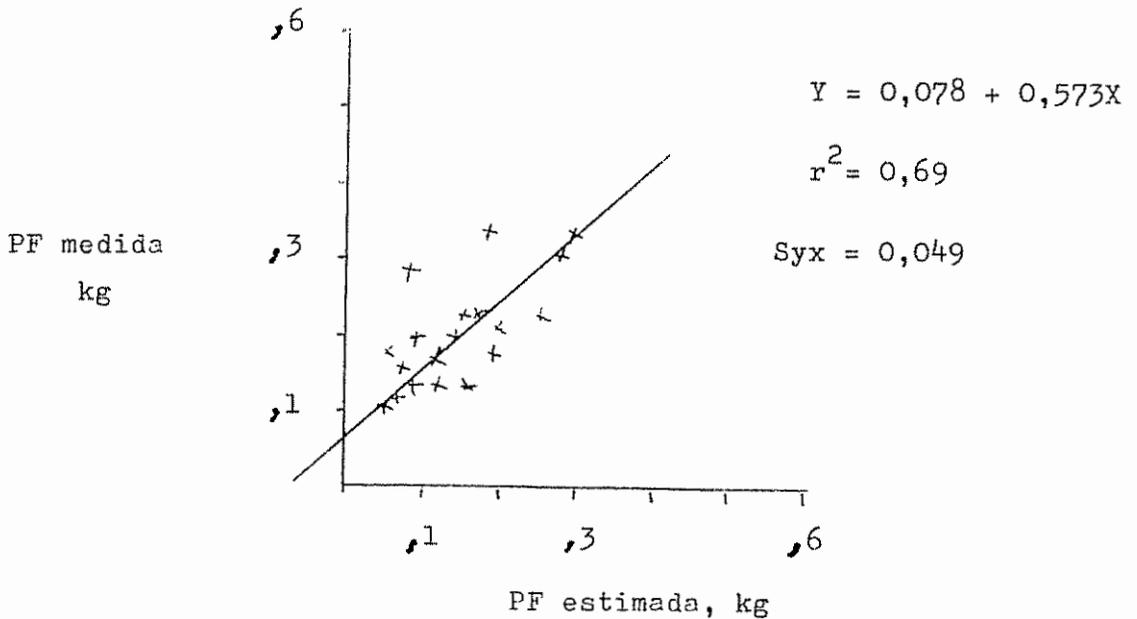


Fig. 12. Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 4, usando bolos de harina.

El gráfico de la figura 12 corresponde a la ecuación [18]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos cuya función presenta un valor $a=0,078$ diferente de cero y un valor $b = 0,573$, no diferente del valor unitario esperado. La ecuación [10] se ajusta a los datos con un valor de $r^2 = 0,69$ y un coeficiente de variación para S_{yx} de 23,0 por ciento. El r correspondiente fue significativo ($P > 0,01$).

En el Cuadro 5 se puede observar que el promedio de PF estimado, cuando los valores fueron corregidos por la función [18] presentó un valor de 0,21 kg.

Como complemento al estudio se decidió comparar en forma empírica los valores de producción fecal estimados con el modelo 2, con los valores obtenidos durante los 5-10 días después de administrado el indicador. En el Cuadro 7 se presentan los resultados cuando se suministró el Cr_2O_3 en bolos de papel.

Cuadro 7. Comparación entre MSF y PF medidas directamente y estimadas usando Cr_2O_3 en bolos de papel.

	Método directo (a)	Estimado con óxido crómico	
		Sin corregir	Corregido
MSF promedio kg/día	2,06	2,04	2,06 (b)
PF promedio kg/día	0,20	0,21	0,20 (c)

(a) Alteración empírica de los días de colección

(b) Corregido con la función [19]

(c) Corregido con la función [20]

En el Cuadro 7 se puede observar que el promedio de MSF medida directamente fue de 2,06 kg/día y el promedio de MSF obtenido en forma indirecta con la relación [8] fue de 2,04 kg/día. La comparación de estos valores mediante la prueba de "t" no detectó diferencias significativas. El promedio de PF medida directamente fue de 0,20 kg/día y el promedio obtenido en forma indirecta con la relación [8] fue 0,21 kg/día. Tampoco se detectaron diferencias significativas. El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de MSF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,982 + 0,667X \quad [19]$$

en que:

Y = MSF medida directamente

X = MSF estimada con la relación [8]

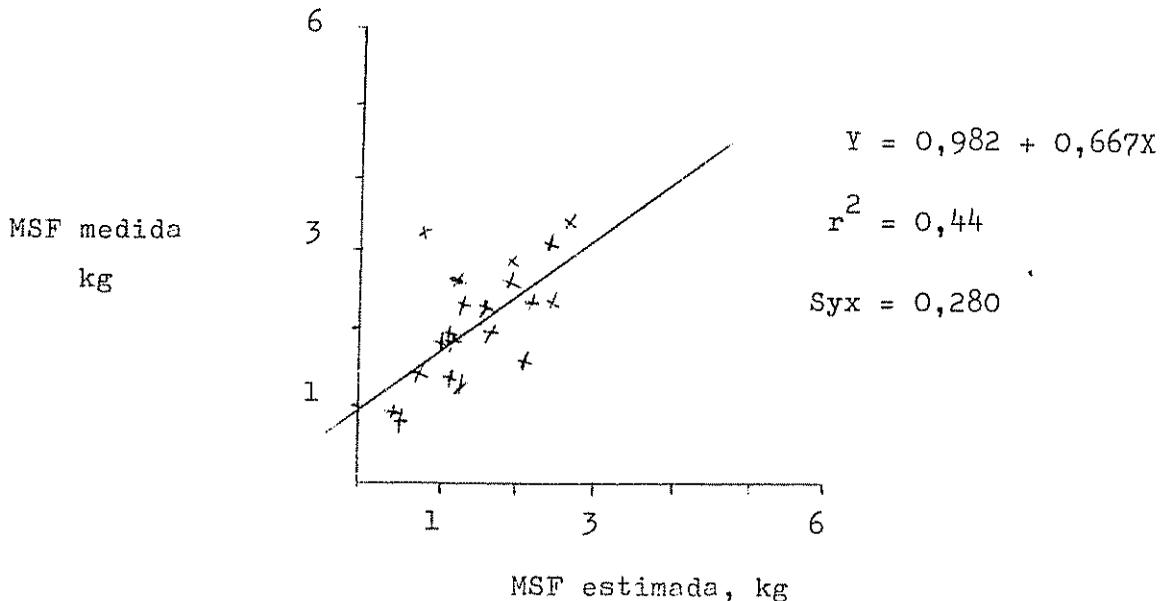


Fig. 13. Relación entre MSF medida y MSF estimada con el modelo 2.

El gráfico de la Figura 13 corresponde a la ecuación [19]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos cuya función presenta un valor $a = 0,982$ significativamente diferente de cero ($P > 0,01$) y un valor $b = 0,667$ el cual no es significativamente diferente del valor unitario esperado. La ecuación [10] se ajusta a los datos con un valor de $r^2 = 0,44$ y un coeficiente de variación de 13,1 por ciento. El valor r fue significativo ($P > 0,01$).

En el Cuadro 7 se puede observar que el promedio de MSF fue de 2,06 kg cuando los datos fueron corregidos por la función [19].

El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de PF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,11 + 0,620X \quad [20]$$

en que:

Y = PF medida directamente

X = PF estimada con la relación [8]

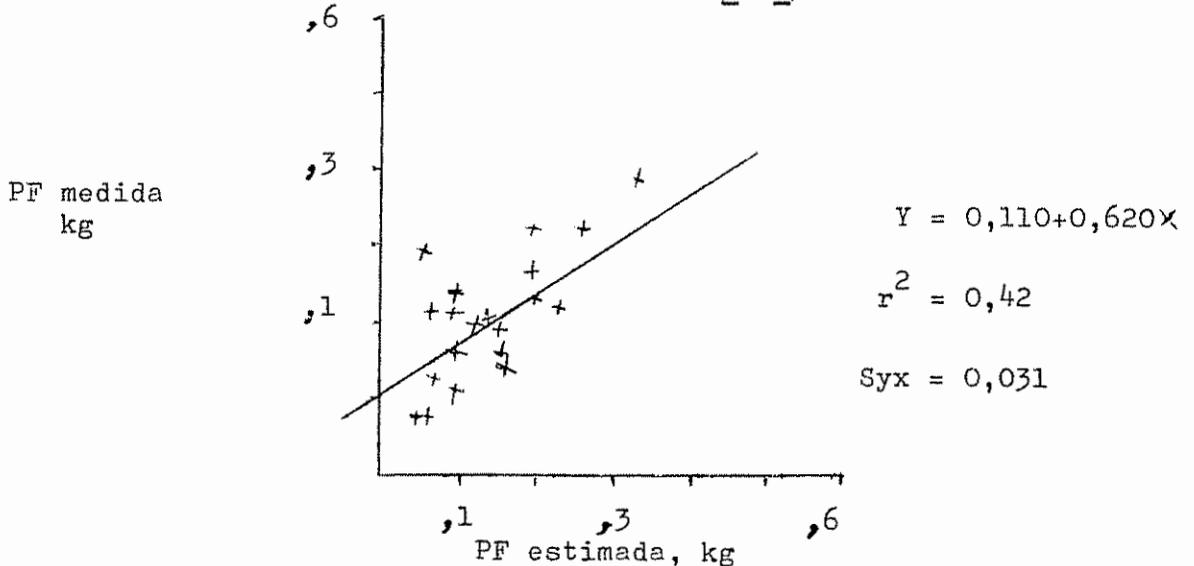


Fig. 14. Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 2.

El gráfico de la figura 14 corresponde a la ecuación [20]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos cuya función presenta un valor $a = 0,110$, significativamente de cero ($P > 0,01$) y un valor $b = 0,620$ el cual no es diferente del valor unitario esperado. La ecuación [10] se ajusta a los datos con un valor r^2 de 0,42 y un coeficiente de variación para S_{yx} de 15,2 por ciento. El valor r fue significativo ($P > 0,01$).

En el Cuadro 7 se puede observar que el promedio de PF fue de 0,20 kg cuando los datos fueron corregidos por la función [20].

La producción promedio de MSF y PF medidas directamente y estimadas en forma indirecta mediante Cr_2O_3 en bolos de harina se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Comparación entre MSF y PF medidos directamente y estimados usando Cr_2O_3 en bolos de harina.

	Método directo (a)	Estimado con óxido crómico	
		Sin corregir	Corregido
MSF promedio kg/día	2,08	2,09	2,08 (b)
PF promedio kg/día	0,21	0,21	--

(a) Alteración empírica de los días de colección

(b) Corregido con la función [21]

En el Cuadro 8 se puede observar que el promedio de MSF medida directamente fue de 2,08 kg/día y el promedio de MSF obtenido en forma indirecta con la relación [8] fue de 2,09 kg/día. La comparación de estos valores mediante la prueba de "t" no detectó diferencias significativas ($P > 0,01$). Los promedios de PF medida directamente y estimada en forma indirecta por la relación [8] presentaron valores de 0,21 kg/día. Los valores de MSF medida y estimada se relacionan con un valor $r^2 = 0,81$ y los de PF con un valor $r^2 = 0,71$. Los valores r respectivos fueron significativos ($P > 0,01$).

El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de MSF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,376 + 0,794X \quad [21]$$

en que:

Y = MSF medida directamente

X = MSF estimada con la relación [8]

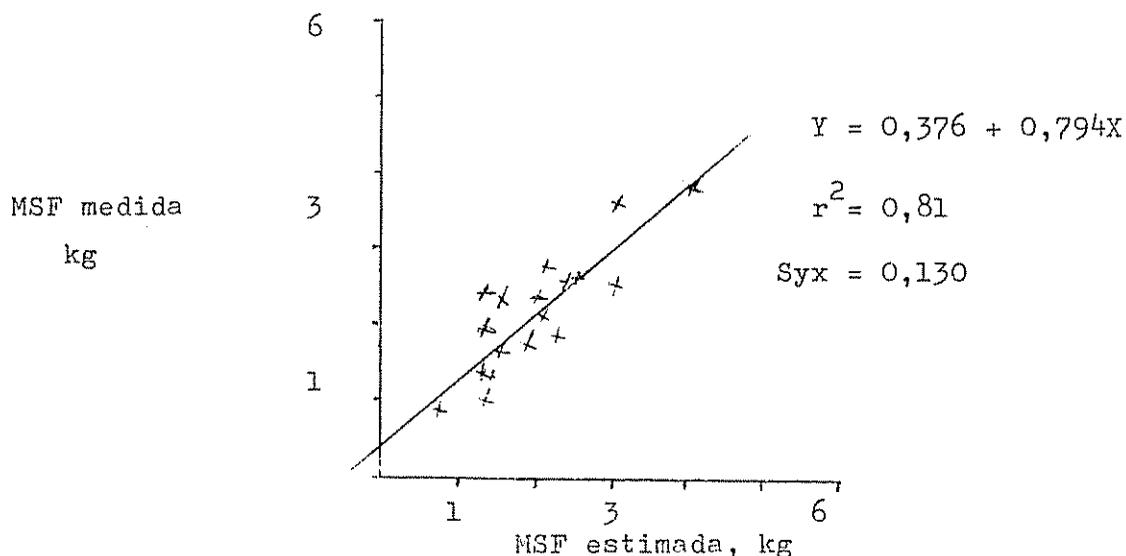


Fig. 15. Relación entre MSF medida y MSF estimada con el modelo 2.

El gráfico de la figura 15 corresponde a la ecuación [21]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos cuya función presenta un valor $a = 0,376$ y un valor $b = 0,794$ los cuales no son significativamente diferentes de los valores esperados ($P > 0,01$). La ecuación se ajusta a los datos con un valor de $r^2 = 0,81$ y un coeficiente de variación para S_{yx} de 6,3 por ciento. El valor de r fue significativo ($P > 0,01$).

En el Cuadro 8 se puede observar que el promedio de MSF fue de 2,08 kg cuando los datos fueron corregidos con la ecuación [21].

El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de PF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,058 + 0,667X \quad [22]$$

en que:

Y = PF medida directamente

X = PF estimada con la relación [8]

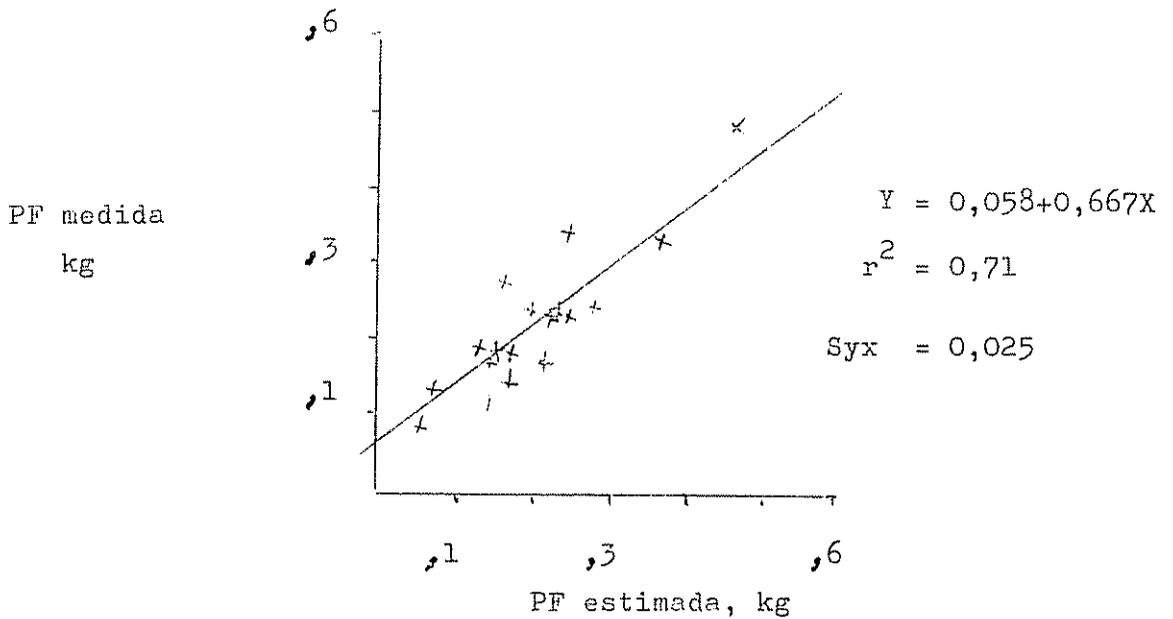


Fig. 16. Relación entre PF medida y PF estimada con el modelo 2,

El gráfico de la figura 16 corresponde a la ecuación [22]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos cuya función presenta un valor $a = 0,058$ y un valor $b = 0,667$, los cuales no son significativamente diferentes de los valores esperados ($P > 0,01$). La ecuación se ajusta a los datos con un valor de $r^2 = 0,71$ y un coeficiente de variación de 11,8 por ciento. El valor r fue significativo ($P > 0,01$).

4.4 Predicción de la producción fecal mediante el método convencional

La producción promedio de MSF y PF medidas directamente y estimadas en forma indirecta mediante Cr_2O_3 en bolos de papel, con el método convencional se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Comparación entre MSF y PF medidas directamente y estimadas usando Cr_2O_3 en bolos de papel, método convencional.

	Método directo	Estimado con óxido crómico	
		Sin corregir	Corregido
MSF promedio kg/día	2,06	2,33	2,02 (a)
PF promedio kg/día	0,21	0,23	0,21 (b)

(a) Corregido con la ecuación [23]

(b) Corregido con la ecuación [24]

En el Cuadro 9 se puede observar que el promedio de MSF medida directamente fue de 2,06 kg/día y el promedio de MSF obtenido en forma indirecta con la relación [9] fue de 2,33 kg/día. La comparación de estos valores mediante la prueba de "t" no detectó diferencias significativas ($P > 0,01$). El promedio de PF medido directamente fue de 0,21 kg/día y el promedio de PF obtenido indirectamente fue de 0,23 kg/día. Tampoco estas diferentes fueron significativas.

El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de MSF generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,307 + 0,753X \quad [23]$$

en que:

Y = MSF medida directamente

X = MSF estimada por la relación [9]

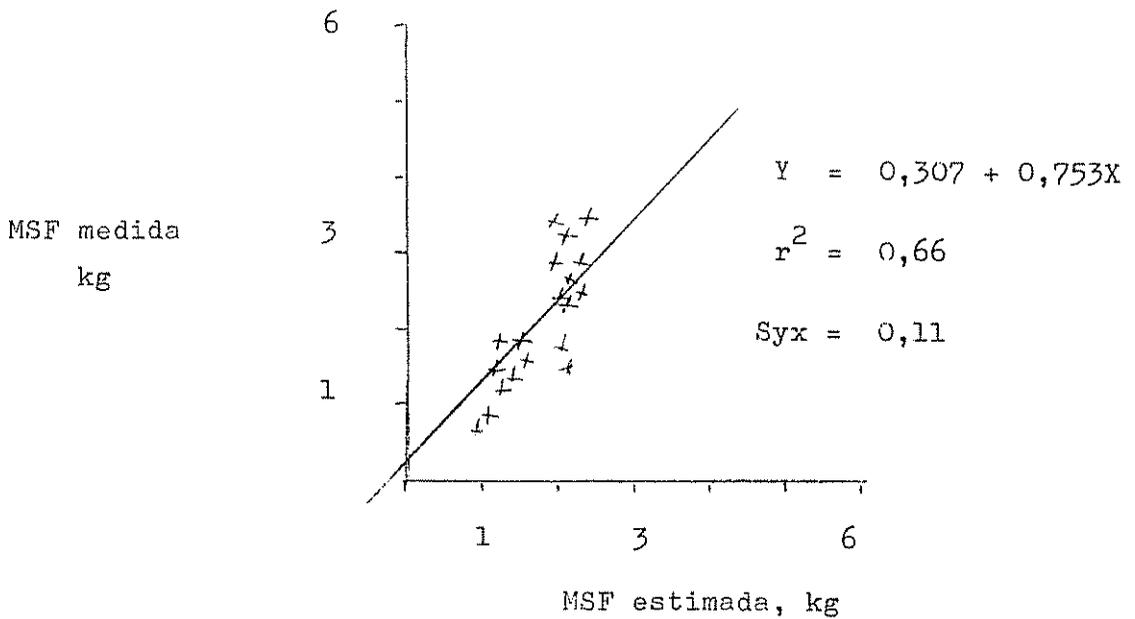


Fig. 17. Relación entre MSF medida y MSF estimada con el método convencional, usando bolos de papel.

El gráfico de la figura 17 corresponde a la ecuación [23]. Se observa la tendencia lineal de los datos, cuya función presenta un valor $a = 0,307$ y un valor $b = 0,753$ los cuales no son significativamente diferentes de los valores esperados. La curva se ajusta con un valor de r^2 de 0,66 y con un coeficiente de variabilidad para S_{yx} de 5,5 por ciento. El valor r correspondiente fue significativo ($P > 0,01$).

En el Cuadro 9 puede verse que el promedio de MSF estimado mejoró cuando datos fueron corregidos por la función [23], presentando un valor de 2,02 kg.

El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de PF generó la siguiente ecuación.

$$Y = 0,026 + 0,796X \quad [24]$$

en que:

Y = PF medida

X = PF estimada por la relación [9]

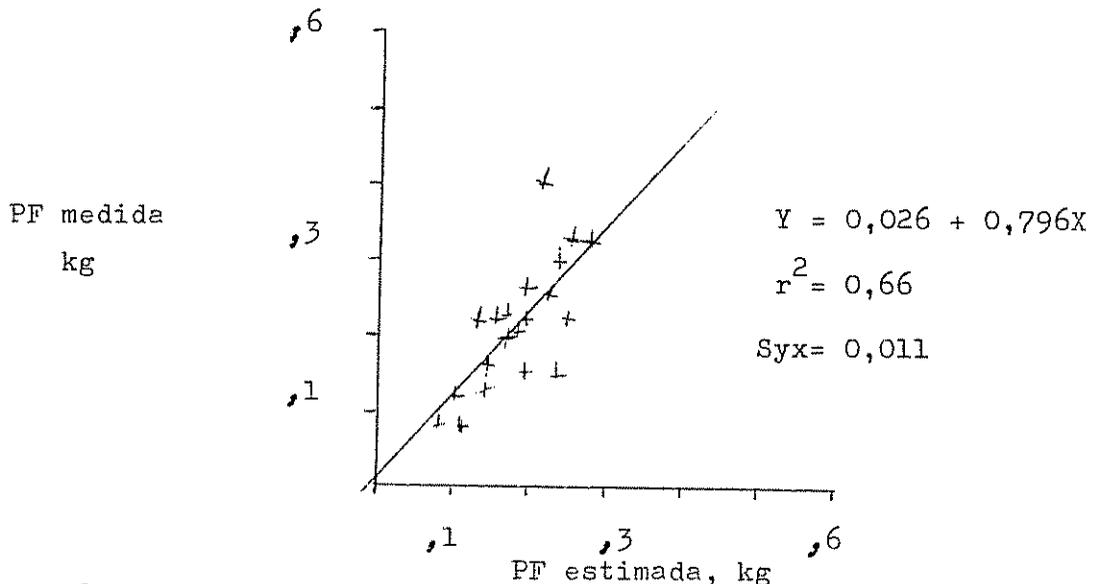


Fig. 18, Relación entre PF medida y PF estimada con el método convencional, usando bolos de papel.

El gráfico de la figura 18 corresponde a la ecuación [24]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos, cuya función presenta un valor $a = 0,026$ y un valor $b = 0,796$ los cuales no son significativamente diferentes de los valores esperados. La curva se ajusta con un valor de r^2 de 0,67 y con un coeficiente de variabilidad de 5,7 por ciento. El valor r correspondiente, fue significativo. En el Cuadro 9 se puede observar que el promedio de PF estimado mejoró cuando los datos fueron corregidos con la función [24] mostrando un valor de 0,21 kg que es igual al promedio medido directamente.

La producción promedio de MSF y PF medida directamente y estimada en forma indirecta mediante Cr_2O_3 en bolos de harina con el método convencional se presentan en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Comparación entre MSF y PF medidas directamente y, estimados usando Cr_2O_3 en bolos de harina, método convencional.

	Método directo	Estimado con óxido crómico	
		Sin corregir	Corregido
MSF promedio kg/día	2,08	3,08**	2,08 (a)
PF promedio kg/día	0,20	0,30**	0,20 (b)

** Significativo ($P > 0,01$)

(a) Corregido con la ecuación [25]

(b) Corregido con la ecuación [26]

En el Cuadro 10 se puede observar que el promedio de MSF medido directamente fue de 2,08 kg/día y el promedio de MSF obtenido en forma indirecta fue de 3,08 kg/día. La comparación mediante la prueba de "t" detectó diferencias significativas ($P > 0,01$). El promedio de PF medida directamente fue de 0,21 kg/día y el promedio de PF estimado fue de 0,30 kg/día cuya comparación mediante una prueba de "t" detectó diferencias significativas ($P > 0,01$). El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de MSF, generó la siguiente ecuación:

$$Y = 0,190 + 0,617X \quad [25]$$

en que:

Y = MSF medida

X = MSF estimada por la relación [9]

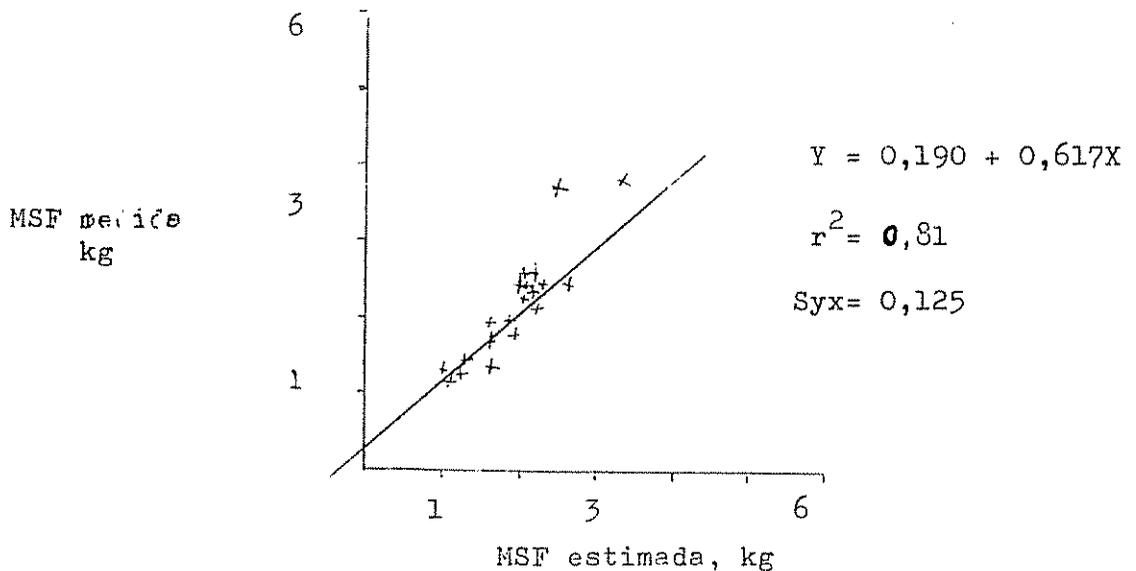


Fig. 19. Relación entre MSF medida y MSF estimada con el método convencional, usando bolos de harina.

El gráfico de la figura 19 corresponde a la ecuación [25]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos cuya función presenta un valor $a = 0,19$ y para $b = 0,617$, los cuales no son significativamente diferentes de los valores esperados. La función [10] se ajusta con un valor para r^2 de 0,81 y un coeficiente de variabilidad de 6,0 por ciento. El valor de r correspondiente fue significativo ($P > 0,01$).

En el Cuadro 10 se puede observar que el promedio de MSF cuando los valores fueron corregidos por la función [25], presentó un valor de 2,08 kg que es similar al promedio medido directamente.

El análisis de regresión [10] para ajustar los valores estimados de PF generó la siguiente ecuación:

$$Y = -0,002 + 0,698X \quad [26]$$

en que:

Y = PF medida directamente

X = PF estimada por la relación [9]

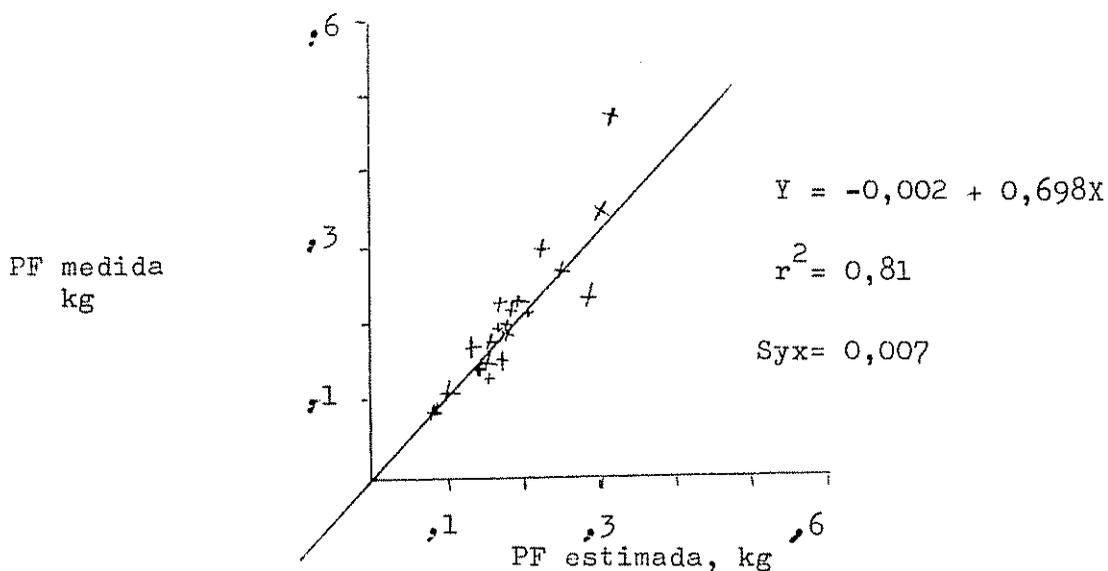


Fig. 20. Relación entre PF medida y PF estimada con el método convencional, usando bolos de harina.

El gráfico de la figura 20 corresponde a la ecuación [26]. Se puede observar la tendencia lineal de los datos, cuya función presenta un valor $a = -0,002$ y un valor $b = 0,698$, los cuales no son significativamente diferentes de los valores esperados. La función [10] se ajusta a los datos con un valor r^2 de 0,81 y un coeficiente de variabilidad de 3,6 por ciento.

En el Cuadro 10 se puede observar que el promedio de PF corregido por la función [26] fue de 0,20 kg que es similar al promedio medido directamente.

5. DISCUSION

Los resultados de la precisión de la predicción de la MSF y PF mediante los métodos estudiados se presentan resumidos a continuación en los Cuadros 11 y 12.

Cuadro 11. Evaluación de la predicción de MSF de acuerdo con los diferentes métodos.

Método	a	b	r ²	C.V. %
Modelo 1, papel	0,592**	1,159	0,70	14,9
Modelo 1, harina	0,627**	0,906	0,67	9,0
Modelo 2, papel	0,794**	0,620**	0,67	26,0
Modelo 2, harina	0,702**	0,491**	0,64	29,0
Modelo 2, papel (a)	0,782**	0,667	0,44	13,1
Modelo 2, harina (a)	0,376	0,794	0,81	6,3
Convencional, papel	0,307	0,753	0,66	5,5
Convencional, harina	0,190	0,617	0,81	6,0

** Significativo (P > 0,01)

(a) Alteración empírica de los días de recolección de heces

Cuadro 12. Evaluación de la predicción de PF de acuerdo con los diferentes métodos.

Método	a	b	r ²	C.V. %
Modelo 1, papel	0,026	1,875**	0,75	14,9
Modelo 1, harina	0,071	0,932	0,71	6,9
Modelo 2, papel	0,123**	0,485**	0,67	18,0
Modelo 2, harina	0,070**	0,573**	0,69	23,0
Modelo 2, papel (a)	0,110**	0,620	0,42	15,2
Modelo 2, harina (a)	0,058	0,667	0,71	11,8
Convencional, papel	0,026	0,796	0,66	5,7
Convencional, harina	-0,002	0,698	0,81	3,6

** Significativo (P > 0,01)

(a) Alteración empírica de los días de recolección de heces

5.1. Curvas de excreción fecal del indicador

Según se puede ver en el Cuadro 2, el análisis de regresión para el modelo 1 no mostró diferencias en los valores de los r² para los ajustes a las curvas de excreción del indicador cuando se usó papel o harina de trigo como vehículo del Cr₂O₃. Los valores de r² fueron muy semejantes para MSF y PF. Para el caso del modelo 2, los valores de r² fueron mayores cuando se usó papel que cuando se usó harina de trigo como vehículo del indicador. No hubo mayores diferencias al comparar MSF y PF. Los resulta-

dos encontrados para el modelo 2 concuerdan con la literatura; las diferencias encontradas en los valores r^2 pueden deberse a las mayores fluctuaciones en la excreción que sufre el Cr_2O_3 en harina (11, 12, 13, 24, 29, 44, 47).

Al comparar el modelo 1 con el modelo 2, se nota una mayor bondad de ajuste en la función [6]. Posiblemente este resultado se encuentre afectado por el hecho de haber desechado los datos iniciales en el modelo 1. En un inicio, el contenido digestivo correspondiente al alimento ingerido con el indicador, contiene más material asimilable. Conforme crece la variable tiempo, disminuye el contenido asimilable y aumenta el contenido de excreción. Por consiguiente, la perturbación producida en la concentración del indicador por la asimilación del alimento debe ser más marcada en el modelo 2, pues ninguno de los dos modelos provee parámetros para tasas de asimilación.

5.2. Predicción de la producción fecal

Según puede observarse en los Cuadros 3, 4, 11 y 12, en los resultados obtenidos mediante el modelo 1 existe una subestimación de la producción fecal, usando indiferentemente papel o harina de trigo como vehículo del indicador. Esta subestimación puede deberse a las diferencias en las tasas de paso entre el forraje y el indicador (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 29, 33, 34, 36, 37), y a simplificaciones excesivas asumidas en la teoría.

En el modelo 2 (Cuadros 5, 6, 11 y 12), cuando se compararon los valores estimados indirectamente con los valores provenientes de la producción fecal de los primeros cinco días, se puede observar que existe una sobrestimación, con excepción de la PF estimada usando bolos de papel. Las mismas consideraciones hechas para el modelo 1 pueden aplicarse para el modelo 2. Sin embargo, el hecho de que en un caso existe subestimación y en el otro sobrestimación se debe a que en el modelo 1 se eliminaron los primeros datos.

Si el indicador tiene una cinética diferente a la del alimento, existirá un error metodológico que no permite hacer coincidir las horas de muestreo del indicador con la correspondiente excreción fecal (4, 5, 6, 18). El error de metodología es incrementado en las mediciones del volumen fecal diario, debido a la variabilidad por recolección de las heces o defecación anticipada (7).

En los dos modelos estudiados no se consideró en la teoría la mezcla lenta del indicador con el contenido digestivo. Esta situación produce un pseudocompartimiento, diagramado en la Figura 1.

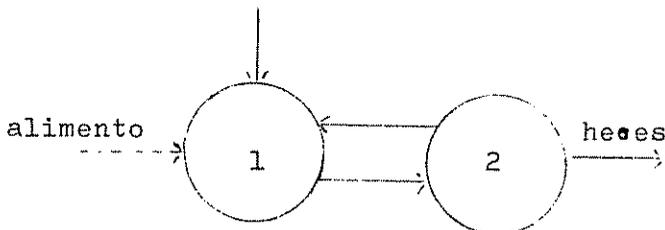


Fig. 1 Pseudocompartimiento de mezcla del indicador en el tracto digestivo

En las relaciones para el modelo 1,

$$\text{Dosis} = Y_{(o)} \quad \text{[a]}$$

$$M_1 = \frac{\text{Dosis}}{Y_{(o)}} \quad \text{[b]}$$

$$P_{10} = b M_1 \quad \text{[c]}$$

la formación del pseudocompartimiento disminuye el tamaño de M_1 , el "contenido de material indigestible". Por consiguiente, según [c] el valor P_{10} para tasa excretoria resulta subestimado. Para el modelo 2, al incluir también los datos iniciales, el valor M_1 estaría igualmente afectado por el pseudocompartimiento de mezcla pero también por el contenido de material asimilable. Este último efecto produciría la sobrestimación.

De los Cuadros 7, 8, 11 y 12, se puede observar que la comparación de la producción fecal estimada mediante el modelo 2, con los promedios de MSF y PF medidos durante los días 5-10 bajo el criterio del método convencional ofreció mejores resultados, mostrando mayor precisión cuando se utilizaron bolos de harina. Esta selección empírica de los días de colección de heces hace pensar que se puede aumentar la precisión con un indicador que tuviera una cinética más semejante a la del alimento que la forma utilizada en el presente estudio. Este resultado despierta interés con respecto al criterio de recolección de heces que deberá emplearse en ensayos futuros. Las diferencias que pueden observarse entre

los resultados de MSF y PF se deben al comportamiento particular de la excreción de PF y a los aportes corporales de este constituyente. (13, 21, 22, 38).

Según puede verse en los Cuadros 9, 10, 11 y 12 el uso del método convencional produjo una sobrestimación de la producción fecal lo cual es debido a las bajas recuperaciones del indicador. Este resultado concuerda con los informes de la literatura (8, 24, 31). Los valores para r^2 y S_{yx} (Cuadros 11 y 12) encontrados cuando se utilizó harina de trigo fueron más altos que con bolos de papel y concuerdan con los resultados de Camargo (8), en el mismo laboratorio. Estos valores son inferiores a los de Smith y Reid (43). Sin embargo a pesar de que los valores para r^2 fueron menores, la estimación promedio de MSF y PF fue mejor cuando se utilizó papel como vehículo del indicador. Esto se debe a que los valores de recuperación son más altos cuando se usa papel (11, 12, 13, 20).

La aplicación del método propuesto, de acuerdo con los modelos 1 y 2, tienen la ventaja de requerir nuevos días para obtener una estimación de la producción fecal que el método convencional. No obstante, al evaluar los valores de a , b , r^2 y C.V. (Cuadros 11 y 12) se puede observar que el método resultó menos preciso al método convencional.

Cuando se compararon los valores estimados mediante el modelo 2, con los medidos bajo el criterio del método convencional

o sea de los 5 a los 10 días después de administrar el indicador, mejoró la precisión, principalmente cuando se usó harina de trigo. En esta forma se obtuvieron promedios muy similares de producción fecal estimada y medida directamente (Cuadro 8). Cuando se usó papel, los promedios fueron similares, pero, la precisión evaluada mediante los valores de a , b , r^2 y C.V., fué más baja. Esto hace pensar que se requiere otro criterio de comparación para la recolección de heces.

Se puede observar en los Cuadros 11 y 12, que el modelo 1 presenta mejores valores de a , b , r^2 y menos C.V. que el modelo 2, sin notarse alguna ventaja aparente entre los vehículos del indicador. El modelo 1, tiene la ventaja de requerir solamente una dosificación masiva, en contraste con el modelo 2 y el método convencional. Sin embargo, para establecer un criterio final sobre los modelos y para mejorar la metodología propuesta, las siguientes recomendaciones son necesarias:

1. Utilizar un vehículo del indicador cuyo comportamiento a través del tracto digestivo sea similar al paso del forraje. Puede ser papel crómico en tiras (11, 12, 13).
2. Suministrar el indicador a la misma hora que el alimento, haciendo las colecciones de heces de acuerdo al orden en el cual se dosifican los animales.

3. En ambos modelos se requiere establecer un horario propio de muestreo de heces de acuerdo al vehículo del indicador. Además, se debe establecer en forma más adecuada los días de colección de la producción fecal con la cual se va a comparar los valores estimados.

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente estudio se realizó en el Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA en Turrialba, Costa Rica. El objetivo fué poner a prueba experimental un método para estimar la producción fecal del ganado, con miras a estimar el consumo en pastoreo. El método propuesto consistió en el estudio matemático de la curva de excreción del óxido crómico cuando se suministró en una dosis única (modelo 1) y cuando la dosificación se hizo diariamente durante 5 días (modelo 2). Se probaron como vehículos del indicador, papel molido y harina de trigo. Se utilizaron 40 animales para probar cada modelo. El muestreo de heces y la medición de la producción fecal se hicieron durante 5 días. Como complemento al estudio se hicieron también estimaciones de la producción fecal mediante el método convencional. Las estimaciones de producción fecal fueron corregidas mediante la función $Y = a + bX$ en que Y = producción fecal medida y X = producción fecal estimada, siendo la hipótesis, $a = 0$ y $b = 1$. La evaluación de los métodos mediante los valores a , b , r^2 y C.V. no demuestra ventajas del método propuesto sobre el método convencional. Las principales causas para las diferencias entre los valores medidos y los estimados fueron debidos a diferencias entre las tasas de peso del indicador y del alimento a través del tracto digestivo. Además, los resultados del presente estudio señalan que deben realizarse algunas modificaciones a la teoría propuesta.

De los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye lo siguiente:

1. Para estimar la producción fecal, el método propuesto requiere menos días que el método convencional. Sin embargo el método convencional, suministrando óxido crómico en harina de trigo es más preciso.
2. Para la aplicación del método propuesto se requiere un vehículo del indicador cuya cinética sea semejante a la del alimento, o en su defecto, la teoría matemática provee para diferencias en dicha cinética.

7. SUMMARY

The present study was carried out at the Tropical Research and Training Center at the Inter American Institute of Agricultural Sciences in Turrialba, Costa Rica. The objective was to experimentally test a method of estimating bovine fecal production for use in estimating pasture consumption. The method proposed involves a mathematical study of the curves of excretion of chromic oxide when administered as a single dose (Model 1) or as daily dosis for 5 days (model 2). Two types of indicator vehicles were tested; ground paper and wheat flour. Each model was tested with 40 animals. Fecal production was measured and samples were taken for periods of five consecutive days. As a complementary study, estimating of fecal production by conventional methods were also made. The estimations of fecal production were corrected using the function $Y = a + bX$; where Y = measured fecal production, X = estimated fecal production; taking the null hypothesis as $a = 0$ and $b = 1.0$. The evaluation of the methods by using the values of a , b , r^2 and C.V. indicated nor advantage of these methods in comparison with the conventional method. The principal cause of the difference between measured and estimated values was due to different rates of passage of the indicator and the feed through the digestive tract. Furthermore, the results of this study indicate that some modifications are

needed in the theory proposed.

The results obtained from this study permit the following conclusions:

1. For estimating fecal production, the method proposed requires fewer days than the conventional method. However the conventional method, using chromic oxide in wheat flour, is more precise.
2. For applying the proposed method method an indicator vehicle is needed whose movement is similar to that of the feed, or otherwise the mathematical theory must account for these differences.

8. LITERATURA CITADA

1. ANRIQUE, G. R. Consumo de pasto Guinea (Panicum maximum) por bovinos en pastoreo directo a diferentes edades y pesos corporales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa. IICA, 1969. 54 p.
2. 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. Uruguay, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Sur. 1967. pp. 61-100.
3. ASSOCIATION OF OFFICIAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 9th ed. Washington, D.C. 1960. 832 p.
4. BALCH, C. C., REID, J. T. y STROUD, J. W. Factors influencing the rate of excretion of administered chromium sesquioxide by steers. The British Journal of Nutrition 11:184-197. 1957.
5. _____, KELLY, A. y HEIM, G. Factors affecting the utilization of feed by dairy cows. 4. The action of the reticuloomasal orifice. The British Journal of Nutrition 5: 207-216. 1951.
6. 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. The British Journal of Nutrition 20(4):1013-1028. 1970.
7. BLAXTER, K. L., MACGRAHAM, M. y WAINMAN, F. W. Some observations on the digestibility of food by sheep and related problems. British Journal of Nutrition 10:69-71. 1956.
8. 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, 1971. 65 p.
9. CAMPLING, R. C., FREER, M. y BALCH, C. C. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 2. Relationship between the voluntary intake of roughages, the amount of digesta in the reticulo-rumen and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract. The British Journal of Nutrition 15:531-540. 1961.

40. RAYMOND, W. F. et al. Studies in the digestibility of herbage. IV. The use of fecal collection and chemical analysis in pasture studies. (a). Ratio and tracer methods. Journal of the British Grassland Society 9 (1):61-82. 1954.
41. REID, J. T. et al. A new indicator method for the determination of digestibility and consumption of forage by ruminants. Journal of Dairy Science 33(1):60-71. 1950.
42. _____. El valor relativo de los resultados agronómicos y con animales en investigaciones sobre pasturas. In Paladines, O. Empleo de animales en las investigaciones sobre pasturas. Uruguay, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Zona Sur, 1966. 106 p.
43. SMITH, A. M. y REID, J. T. Use of chromic oxide as an indicator of fecal output for the purpose of determining the intake of pasture herbage by grazing cows. Journal of Dairy Science 38:515-524. 1955.
44. TROELSEN, J. E. Sustained release of chromic oxide in the rumen of sheep from a Cr_2O_3 -paper pellet. Animal Production 7:239-244. 1965.
45. TURRIZA, L. Consumo por el ganado, digestibilidad y composición química de seis gramíneas tropicales. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 55 p. (mimeo).
46. UTLEY, P. R., BOLING, J. A., BRADLEY, N. N. y ZUCKER, R. E. Recovery of ingested unlabeled and ^{51}C labeled chromic oxide. (Abs.). Journal of Animal Science 31:257. 1970.
47. WILKINSON, J. M. y PRESCOTT, J. H. D. The use of chromic oxide in the measurement of individual feed intake in cattle fed on silage and barley. Animal Production 12: 71-80. 1970.
48. WITTKKE, G. E. Uso del nitrógeno y cromógenos como índices fecales con el óxido crómico para determinar el valor nutritivo de praderas en condiciones de pastoreo. Tesis Mag. Sci. La Estanzuela, Uruguay, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1966. 129 p.

30. KLETT, R. H. y CASTELLANOS, L. Techniques for estimating forages intake by grazing steers. *Journal of Animal Science* 30:322. 1970.
31. LAMBOURNE, L. J. y READON, T. F. The use of chromic oxide to estimate the faecal output of Merinos. *Australian Journal of Agricultural Research* 14:257-271. 1963.
32. LOUISIANA STATE UNIVERSITY COMPUTER RESEARCH CENTER. Single precision non-linear least squares curve fitting program for 7040 (Based on non-linear least squares algorithm by Richard Vogel of Kaman Nuclear revised from I.B.M. 1620:6.0.134). (copia Xerox). 8 p.
33. MACRAE, J. C. y ARMONSTRONG, D. G. Studies on intestinal digestion in the sheep. *The British Journal of Nutrition* 23:15-23. 1969.
34. MAUTZ, W. W. Comparison of the $^{51}\text{CrCl}_3$ ratio and total collection techniques in digestibility studies with a wild ruminant, the white-tailed deer. *Journal of Animal Science* 32:999-1007. 1971.
35. MEYER, J. G., LOFGREEN, G. D. y ITINER, N. R. Further studies on the utilization of alfalfa hay by beef steers. *Journal of Animal Science* 15(1):63-75. 1956.
36. MILSUM, J. H. *Biological control systems analysis*. 1a. ed. New York, McGraw-Hill Book Company, 1966. pp. 208-239.
37. NELSON, A. B. y GREEN, G. R. Excretion of chromic oxide administered in paper to steers fed prairir hay. *Journal of Animal Science* 29:365-369. 1969.
38. NICHOLSON, J. W. et al. Digestibility of various rations by steers as influenced by the lenght of preliminary feeding period. *Journal of Animal Science* 15(4):1174-1179. 1956.
39. PHAR, P. A., BRADLEY, N. W., LITTLE, C. O. y CUNDIFF, L. V. 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* 30:589-592. 1970.

20. HODGSON, J. The development of solid food intake in calves. I. The effect of previous experience of solid food intake after weaning. *Animal Production* 13:15-24. 1971.
21. HOLTER, J. A. y REID, J. T. Relationship between the concentration of crude protein and apparently digestible protein in forages. *Journal of Animal Science* 18(4): 1339-1349. 1959.
22. HOM, J. A. y REID, J. T. Relationship between the concentration of crude protein and apparently digestible protein in forages. *Journal of Animal Science* 11(3):496-500. 1952.
23. HOOGENDOORN, A. L. y GRIEVE, C. M. Chromic oxide in digestibility studies with lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 49:383-388. 1969.
24. ITURBIDE, A. Evaluación del sistema cromógeno-óxido crómico para estimar consumo y digestibilidad de forrages en pastoreo directo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA, 1965. 137 p.
25. _____. El óxido crómico como indicador externo para estimar la producción fecal y consumo en pruebas de digestibilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA. Turrialba 17 (3):~~364-423~~ 1967.
304-313
26. JUKO, C. D., BREDON, R. M. y MARSCHAL, B. The nutrition of the Zebú Cattle. II. The technique of digestibility trials with special reference to sampling preservation and drying of feces. *Journal of Agricultural Science* 56(1):93-98. 1961.
27. KANE, E. A., JACOBSON, W. C. y MOORE, L.A. A study of the use of chromic oxide and lignin as indicators of digestibility. *Journal of Dairy Science* 33(5):385-386. 1950.
28. KENNEDY, N. K., CARTER, A. H. y LANCASTER, R. J. Comparison of faecal pigments and faecal nitrogen as digestibility indicators in grazing cattle studies. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 2(3):627-638. 1959.
29. KIESLING, H. E., BARRY, H. A., NELSON, A. B. y HERBEL, C.H. Recovery of chromic oxide administered in paper to grazing steers. *Journal of Animal Science* 29:361-364. 1969.

10. CORBETT, J. L., REID, G. W. LANGLANDS, J. P. y FLORENCE, E. Further studies on the administration of chromium sesquioxide as a component of paper. Proceeding Nutrition Society 19:XX. 1920b.
11. _____, GREENHALGH, J. F. D. y FLORENCE, E. Distribution of chromium sesquioxide and polyethylene glycol in the reticulo-rumen of cattle. The British Journal of Nutrition 13:337-347. 1959.
12. _____, GREENHALGH, J. F. D., MACDONALD, I. y FLORENCE, E. Excretion of chromium sesquioxide administered as a component of paper to sheep. The British Journal of Nutrition 14:289-299. 1960a.
13. COWLISHAW, S. J. y ALDER, F. E. A comparative study of paper and oil as carriers of chromium sesquioxide administered to grazing steers to determine their fecal output. British Grassland Science Journal 18:328. 1963.
14. CRAMPTON, E. W. Nutrición animal aplicada. Traducido por A. Marcos Banados y M. Abad Gavin. Zaragoza, Acribia, 1961. 415 p.
15. CZARNOCKI, J., SIBBALD, I. R. y EVANS, E. V. The determination of chromic oxide in samples of feed and excreta by acid digestion and spectrophotometry. Canadian Journal of Animal Science 41(2):167-179. 1961.
16. DRENNAN, M. J., HOLMES, J. M. G. y GARRET, W. N. A comparison of markers for estimating magnitude of rumen digestion. The British Journal of Nutrition 25:961-970. 1971.
17. FORBES, R. M. y CARRIGUS, W. P. Further investigations on the relationship between chemical composition digestibility and palability of pasture forages. Journal of Animal Science 7(4):536-537. 1947.
18. FREER, M. y CAMPLING, R. C. Factors affecting the voluntary intake of food by the reticulo-rumen and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract with diets of hay, dried grass or concentrates. The British Journal of Nutrition 17:79-88. 1963.
19. GREENHALGH, J. F. D. y CORBETT, J. L. The indirect estimation of the digestibility of pasture herbage. I. Nitrogen and chromogen as fecal index substances. Journal of Agricultural Science 55(3):371-376. 1960.

A P E N D I C E

Cuadro 1. Valores de MSF y PF medidos directamente y estimados con el modelo 1, usando bolos de papel. Valores r^2 para el ajuste del modelo 1 a la curva de excreción del Cr_2O_3 para MSF y PF

Animal N ^o	Estimado kg/ día		Medidos kg/día		r^2	
	MSF	PF	MSF	PF	MSF	PF
K01 - UPA 1	1,97	0,12	3,39	0,34	0,91	0,87
391 - UPA 2	1,68*	0,13*	4,48	0,48	0,91	0,91
187 - UPA 3	1,09	0,15*	2,30	0,49	0,97	0,98
888 - UPA 4	1,24	0,13	2,42	0,26	0,95	0,96
877 - UPA 5	0,51	0,05	1,56	0,13	0,98	0,98
K12 - UPB 1	2,42	0,10	2,86	0,26	0,97	0,86
806 - UPB 2	1,55	0,13	2,48	0,32	0,98	0,95
A48 - UP*B3	1,37	0,14	2,02	0,28	0,98	0,97
A41 - UPB 4	1,38	0,12	1,81	0,19	0,99	0,99
A59 - UPB 5	0,75	0,07	1,46	0,16	0,99	0,99
K23 - UPC 1	5,75*	0,19	2,30	0,25	0,63	0,64
A75 - UPC 2	0,83	0,08	1,89	0,22	0,99	0,99
H08 - UPC 3	0,91	0,11	1,47	0,22	0,94	0,93
A29 - UPC 4	0,97	0,12	1,87	0,21	0,98	0,55
H14 - UPC 5	0,69	0,06	1,07	0,11	0,77	0,83
F41 - UPD 1	0,85	0,10	1,59	0,16	0,96	0,96
998 - UPD 2	0,46	0,06	0,75	0,10	0,98	0,98
941 - UPD 3	0,58	0,07	1,02	0,12	0,98	0,97
953 - UPD 4	0,57	0,05	1,04	0,09	0,96	0,96
910 - UPD 5	0,44	0,04	1,09	0,11	0,95	0,98

* Datos eliminados

Cuadro 2. Valores de MSF y PF medidas directamente y estimados con el modelo 1 usando bolos de harina. Valores de r^2 para el ajuste del modelo 1 a la curva de excreción del Cr_2O_3 para MSF y PF

Animal N ^o	Estimados kg/día		Medidos kg/día		r^2	
	MSF	PF	MSF	PF	MSF	PF
344 - UHA 1	1,87	0,21	3,15	0,32	0,95	0,95
A08 - UHA 2	1,07	0,09	1,29	0,15	0,89	0,85
448 - UHA 3	1,67	0,05	2,19	0,13	0,96	0,94
631 - UHA 4	2,61	0,27	3,25	0,36	0,97	0,96
F05 - UHA 5	0,40	0,04	1,38	0,14	0,96	0,97
A12 - UHB 1	1,98	0,18	2,76	0,25	0,94	0,95
A06 - UHB 2	1,76	0,07	1,59	0,19	0,97	0,93
976 - UHB 3	1,60	0,16	1,60	0,22	0,97	0,98
269 - UHB 4	1,69	0,18	1,64	0,17	0,84	0,85
A39 - UHB 5	0,63	0,07	1,51	0,16	0,99	0,99
A29 - UHC 1	2,00	0,22	2,40	0,22	0,96	0,94
A72 - UHC 2	0,25	0,11	1,52	0,16	0,96	0,96
L21 - UHC 3	1,10	0,14	2,14	0,23	0,99	0,99
H11 - UHC 4	1,39	0,15	2,09	0,24	0,96	0,96
A79 - UHC 5	0,39	0,04	1,22	0,12	0,98	0,99
F44 - UHD 1	1,40	0,15	1,91	0,23	0,97	0,97
938 - UHD 2	0,69	0,08	0,82	0,09	0,98	0,98
960 - UHD 3	0,83	0,11	1,29	0,16	0,95	0,96
971 - UHD 4	1,45	0,12	1,48	0,12	0,91	0,92
938 - UHD 5	0,54	0,06	0,90	0,09	0,99	0,99

Cuadro 3. Valores de MSF y PF medidos directamente y estimados con el modelo 2, usando bolos de papel. Valores de r^2 para el ajuste del modelo 2 o la curva de excreción del Cr_2O_3 para MSF y PF

Animal N°	Estimados kg/día		Medidos kg/día		r^2	
	MSF	PF	MSF	PF	MSF	PF
239 - IPA 1	1,45	0,10	2,13	0,20	0,89	0,90
769 - IPA 2	1,79	0,23	1,59	0,21	0,85	0,87
K01 - IPA 3	2,99	0,36	2,86	0,31	0,87	0,82
448 - IPA 4	2,09	0,10	2,12	0,20	0,82	0,86
344 - IPA 5	2,33	0,14	2,26	0,20	0,92	0,93
665 - IPA 1	2,63	0,22	3,32	0,33	0,88	0,85
798 - IPB 2	1,33	0,22	1,52	0,17	0,88	0,76
H07 - IPB 3	2,84	0,31	2,53	0,30	0,79	0,73
904 - IPB 4	1,45	0,13	1,70	0,16	0,82	0,86
K12 - IPB 5	0,98	0,05	2,32	0,19	0,92	0,91
L13 - IPC 1	2,17	0,18	2,30	0,22	0,85	0,87
F24 - IPC 2	1,05	0,17	1,73	0,22	0,93	0,89
F19 - IPC 3	2,42	0,27	1,99	0,22	0,85	0,86
F23 - IPC 4	1,05	0,11	1,43	0,14	0,73	0,72
A61 - IPC 5	1,57	0,07	1,90	0,29	0,94	0,89
J15 - IPD 1	0,84	0,08	1,43	0,16	0,91	0,84
910 - IPD 2	0,43	0,06	0,82	0,11	0,93	0,92
972 - IPD 3	1,31	0,13	1,02	0,13	0,85	0,80
998 - IPD 4	0,49	0,05	0,84	0,10	0,81	0,79
971 - IPD 5	1,21	0,10	1,19	0,11	0,83	0,81

Cuadro 4. Valores de MSF y PF medidos directamente y estimados con el modelo 2, usando bolos de harina. Valores de r^2 para el ajuste del modelo 2 a la curva de excreción del Cr_2O_3 para MSF y PF

Animal N ^o	Estimados kg/día		Medidos kg/día		r^2	
	MSF	PF	MSF	PF	MSF	PF
888 - IHA 1	4,26	0,26	2,94	0,26	0,69	0,67
389 - IHA 2	3,60	0,50	1,81	0,39	0,89	0,85
344 - IHA 3	2,75	0,23	1,53	0,27	0,71	0,72
K18 - IHA 4	2,47	0,26	1,94	0,20	0,61	0,60
239 - IHA 5	0,03*	0,00*	1,91	0,13	--	0,00
269 - IHB 1	3,58	0,34	2,86	0,29	0,76	0,81
L16 - IH*B2	1,16	0,18	1,90	0,25	0,91	0,86
A12 - IHB 3	2,85	0,44	2,14	0,26	0,61	0,30
993 - IHB 4	2,52	0,23	2,02	0,20	0,62	0,66
665 - IHB 5	0,00*	0,00*	1,87	0,16	0,87	0,00
A77 - IHC 1	1,79	0,14	1,89	0,17	0,84	0,81
H15 - IHC 2	2,00	0,26	1,58	0,20	0,72	0,66
H12 - IHC 3	2,43	0,25	2,40	0,29	0,75	0,80
L20 - IHC 4	1,35	0,15	1,43	0,15	0,56	0,54
A66 - IHC 5	2,21	0,17	2,09	0,18	0,93	0,93
H27 - IHD 1	1,39	0,08	1,37	0,15	0,89	0,92
947 - IHD 2	1,27	0,19	0,97	0,13	0,79	0,74
932 - IHD 3	1,67	0,18	1,21	0,15	0,80	0,82
941 - IHD 4	1,45	0,16	0,96	0,11	0,59	0,64
953 - IHD 5	0,72	0,05	0,96	0,08	0,79	0,84

* Datos eliminados

Cuadro 5. Valores de MSF y PF medidos directamente y estimados con el método convencional con bolos de papel

Animal N ^o	<u>Estimado, kg/día</u>		<u>Medidos, kg/día</u>	
	MSF	PF	MSF	PF
239 - IPA 1	2,58	0,25	2,75	0,25
769 - IPA 2	1,35	0,15	1,96	0,23
K01 - IPA 3	2,32	0,28	3,32	0,40
448 - IPA 4	2,30	0,19	2,80	0,22
344 - IPA 5	2,74	0,21	2,78	0,19
665 - IPB 1	2,40	0,34	3,07	0,32
798 - IPB 2	1,87	0,24	1,92	0,25
H07 - IPB 3	2,61	0,34	2,45	0,31
904 - IPB 4	2,24	0,17	2,18	0,19
K12 - IPB 5	2,77	0,27	3,23	0,29
L13 - IPC 1	2,43	0,25	1,33	0,13
F24 - IPC 2	1,73	0,20	1,70	0,19
F19 - IPC 3	2,19	0,22	2,14	0,21
F23 - IPC 4	2,28	0,21	1,71	0,15
A61 - IPC 5	2,37	0,19	2,23	0,23
J15 - IPD1	1,37	0,15	1,15	0,12
910 - IPD 2	1,04	0,09	0,96	0,08
972 - IPD 3	1,33	0,16	0,46	0,17
998 - IPD 3	0,98	0,11	0,75	0,08
971 - IPD 5	1,51	0,12	1,39	0,11

Cuadro 6. Valores de MSF y PF medidos directamente y estimados con el método convencional con bolos de harina

Animal N ^o	<u>Estimados, kg/día</u>		<u>Medidos, kg/día</u>	
	MSF	PF	MSF	PF
888 - IHA 1	3,76	0,35	3,79	0,33
389 - IHA 2	2,66	0,36	3,61	0,47
344 - IHA 3	2,02	0,22	2,11	0,22
K18 - IHA 4	2,42	0,19	2,65	0,21
239 - IHA 5	2,11	0,16	2,07	0,16
269 - IHB 1	3,02	0,33	2,30	0,24
L16 - IHB 2	2,32	0,29	2,12	0,26
A12 - IHB 3	2,16	0,26	2,40	0,28
993 - IHB 4	2,05	0,17	1,92	0,15
665 - IHB 5	2,36	0,18	2,08	0,15
A77 - IHC 1	2,41	0,18	2,31	0,17
H15 - IHC 2	1,81	0,20	1,77	0,22
H12 - IHC 3	2,00	0,22	2,00	0,22
L20 - IHC 4	1,90	0,19	1,97	0,19
A66 - IHC 5	2,31	0,17	2,40	0,18
H27 - IHD 1	1,61	0,15	1,32	0,13
947 - IHD 2	1,02	0,13	1,20	0,17
932 - IHD 3	1,40	0,15	1,40	0,15
941 - IHD 4	1,33	0,10	1,20	0,10
953 - IHD 5	1,10	0,08	0,96	0,08

Cuadro 7. Pesos de los animales utilizados en el ensayo del modelo 1

Animal N ^o	Pesos, kg		Animal N ^o	Peso, kg	
	Inicial	Final		Inicial	Final
K01 - UPA 1	396	380	344 - UHA 1	400	388
391 - UPA 2	413	410	A08 - UHA 2	395	382
187 - UPA 3	466	420	448 - UHA 3	482	448
888 - UPA 4	454	414	631 - UHA 4	480	443
877 - UPA 5	398	388	F05 - UHA 5	398	390
K12 - UPB 1	352	340	A12 - UHB 1	339	320
806 - UPB 2	366	365	A06 - UHB 2	353	338
A48 - UPB 3	328	305	976 - UHB 3	360	339
A41 - UPB 4	350	303	269 - UHB 4	365	340
A59 - UPB 5	272	265	A39 - UHB 5	384	380
K23 - UPC 1	263	250	A29 - UHC 1	244	240
A75 - UPC 2	289	270	A72 - UHC 2	288	269
H08 - UPC 3	252	229	L21 - UHC 3	239	233
A29 - UPC 4	263	232	H11 - UHC 4	250	225
H14 - UPC 5	242	240	A79 - UHC 5	236	225
F41 - UPD 1	156	145	F44 - UHD 1	153	146
998 - UPD 2	125	114	938 - UHD 2	147	147
941 - UPD 3	134	122	960 - UHD 3	137	129
953 - UPD 4	126	118	971 - UHD 4	125	117
910 - UPD 5	139	138	938 - UHD 5	137	130

Cuadro 8. Pesos de los animales utilizados en el ensayo del modelo 2 y el método convencional.

Animal N ^o	Peso, kg		Animal N ^o	Peso, kg	
	Inicial	Final		Inicial	Final
239 - IPA 1	386	369	888 - IHA 1	443	420
769 - IPA 2	435	430	389 - IHA 2	454	447
K01 - IPA 3	415	375	344 - IHA 3	409	387
448 - IPA 4	460	447	K18 - IHA 4	416	405
344 - IPA 5	415	409	239 - IHA 5	398	393
665 - IPB 1	335	310	269 - IHB 1	360	340
798 - IPB 2	380	360	L16 - IHB 2	352	334
H07 - IPB 3	345	302	A12 - IHB 3	356	321
904 - IPB 4	296	285	993 - IHB 4	329	320
K12 - IPB 5	390	382	665 - IHB 5	345	339
L13 - IPC 1	273	255	A77 - IHC 1	246	240
F24 - IPC 2	239	236	H15 - IHC 2	243	241
F19 - IPC 3	281	251	H12 - IHC 3	225	231
F23 - IPC 4	241	235	L20 - IHC 4	273	250
A61 - IPC 5	265	264	A66 - IHC 5	299	292
J15 - IPD 1	150	138	H27 - IHD 1	147	131
910 - IPD 2	134	130	947 - IHD 2	143	130
972 - IPD 3	132	111	932 - IHD 3	128	122
998 - IPD 4	130	121	941 - IHD 4	132	125
971 - IPD 5	140	137	953 - IHD 5	130	128