

CATEDRA DE FISIOLOGIA ANIMAL

Prof. Dr. G. Varela Mosquera

CATEDRA DE TECNICA FISICA

Prof. Dr. J. M.^a Clavera

**Estudio comparativo de los valores de digestibilidad y
rendimiento energético de una ración en cerdos por las
técnicas calorimétricas y de los coeficientes
de digestibilidad**

por

J. Fonollá, M. Truyols (1), J. Thomas y G. Varela

Según es sabido es posible conocer la energía metabolizable en función de los coeficientes de digestibilidad de los diferentes nutrientes de un alimento. Pero también lo es si conocemos el calor de combustión del alimento ingerido por un animal y el de las heces correspondientes al mismo.

Ambos procedimientos necesitan recurrir a la experimentación animal en células de balance, ya que es necesario por un lado conocer la ingesta diaria, y por otro las heces del mismo período, lo que naturalmente está condicionado por la necesidad de una correcta separación de la orina y las heces.

La circunstancia de tener en la Estación Experimental del Zaidín,

(1) M. Truyols agradece a Eloisa Pérez Piaya la concesión de la Beca de Investigación Farmacéutica que lleva su nombre y que le ha permitido su participación en este trabajo.

como técnicas de rutina, la determinación de los coeficientes de digestibilidad y energía metabolizable de diferentes piensos en distintas especies animales, y la de que también en rutina estamos trabajando en el laboratorio de Técnica Física de la Facultad de Farmacia en la determinación del calor de combustión de diferentes alimentos, nos sugirió la idea de estudiar comparativamente ambos procedimientos.

Si bien es cierto que con la técnica de la bomba calorimétrica podemos conocer solamente la digestibilidad de la sustancia seca, también lo es que de una manera muy precisa y relativamente cómoda, por el ahorro de tiempo que significa, conocemos por este método la energía metabolizable que es en definitiva uno de los objetivos más importantes buscados en este tipo de estudios, ya que con este dato y con un sencillo cálculo matemático sabemos la valoración en unidades de una ración.

Para este estudio comparativo hemos utilizado los datos de balance con cuatro cerdos en las células de digestibilidad de la Estación Experimental del Zaidín correspondientes a la tesis doctoral de uno de nosotros (J. F. C.), y sobre el alimento y heces de los distintos ensayos se han hecho las determinaciones calorimétricas correspondientes.

Material y métodos

Sobre cuatro cerdos mestizos (Large White por Negra Lampiña), machos castrados y propiedad de la Estación Experimental del Zaidín, se han determinado los coeficientes de digestibilidad y la energía metabolizable de una mezcla de alimentos por el procedimiento de balance y por la bomba calorimétrica.

Se han realizado cuatro experiencias de digestibilidad cuando los cerdos tenían las siguientes edades: 3, 6, 9 y 12 meses, con los pesos medios de: 17,6; 42,1; 77,9 y 110,7 kilogramos.

Se ha seguido para determinar los coeficientes del pienso la técnica de Völkenröde, por el método directo, o sea, empleando únicamente mezcla alimenticia.

A los animales se les marcó para poder identificarlos a lo largo de las cuatro experiencias y antes de cada una de ellas se les suministró un antiparasitario interno, al objeto de que la posible parasitosis no enmascara los resultados obtenidos.

Pasado el periodo de adaptación a la célula de digestibilidad, los

cerdos entraban en el período experimental, cada uno constaba de 15 días, cinco previos o preparatorios en los que consumían la cantidad establecida de la mezcla pero no se controlaban las heces, esta fase sirve para que el animal elimine de su tractus digestivo posibles restos de una alimentación anterior; y diez días de período principal en el que se hacen rigurosas y frecuentes recogidas de heces.

La composición de la mezcla empleada durante las cuatro experiencias, permaneció invariable, y estaba integrada por los siguientes alimentos:

	Kgms.
Cebada	38,0
Maiz	22,0
Salvado de trigo	20,5
Torta de soja	12,0
Harina de carne.	5,0
Conchas molidas	2,0
Harina de huesos	0,5
TOTAL	100,0

Un kilogramo de esta muestra contiene un valor calculado de 0,92 unidades alimenticias y 131,7 grs. de proteína digestible.

Como puede verse la composición de la mezcla es rica y propia de animales en crecimiento, que coincide con la primera fase de las experiencias.

Las raciones administradas fueron:

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1.ª Experiencia: Cerdos números 1 y 4 | 900 gr. con 0,83 U. A y 118,5 y P.O. |
| 1.ª Experiencia: Cerdos números 2 y 3 | 1000 gr. con 0,92 U. A y 137,7 y » |
| 2.ª Experiencia: Los cuatro cerdos | 2.000 gr. con 1,84 U. A y 263,4 y » |
| 3.ª Experiencia: Los cuatro cerdos | 2.500 gr. con 2,30 U. A y 329,5 y » |
| 4.ª Experiencia: Los cuatro cerdos | 3.000 gr con 2,76 U. A y 395,1 y » |

El rebajar la cantidad de alimento a los cerdos n.º 1 y 4, durante la primera experiencia se debió a la comprobación de que en el periodo de adaptación, no llegaban a consumir los 1.000 gr.

Los alimentos integrantes de la mezcla corresponden a una sola partida y permanecieron, formada aquélla, en cajones de madera totalmente cerrados y que únicamente se han abierto en el momento de realizar las experiencias.

Las determinaciones en el pienso se verifican sobre materia normal y las de las heces previamente desecadas a 60° C, pero los resultados se expresan en sustancia seca a 103° ± 2° C.

Determinación de los coeficientes de digestibilidad y energía metabolizable a partir de los análisis químicos.

Las determinaciones en el pienso se realizaron por cuadruplicado y fueron las siguientes: Humedad, proteína, grasa, fibra bruta, cenizas y materias extractivas libres de nitrógeno.

En las heces se verificaron las mismas determinaciones pero por triplicado.

Sobre las medias obtenidas de estos valores se realiza el cálculo de los coeficientes de digestibilidad, partiendo de la sustancia seca del alimento ingerido y de las heces a 103° ± 2° C.

La fórmula empleada, de acuerdo con el criterio de CRAPLET, es la siguiente:

$$C. D. = \frac{I - H}{I} 100$$

I = Nutriente de ingesta.

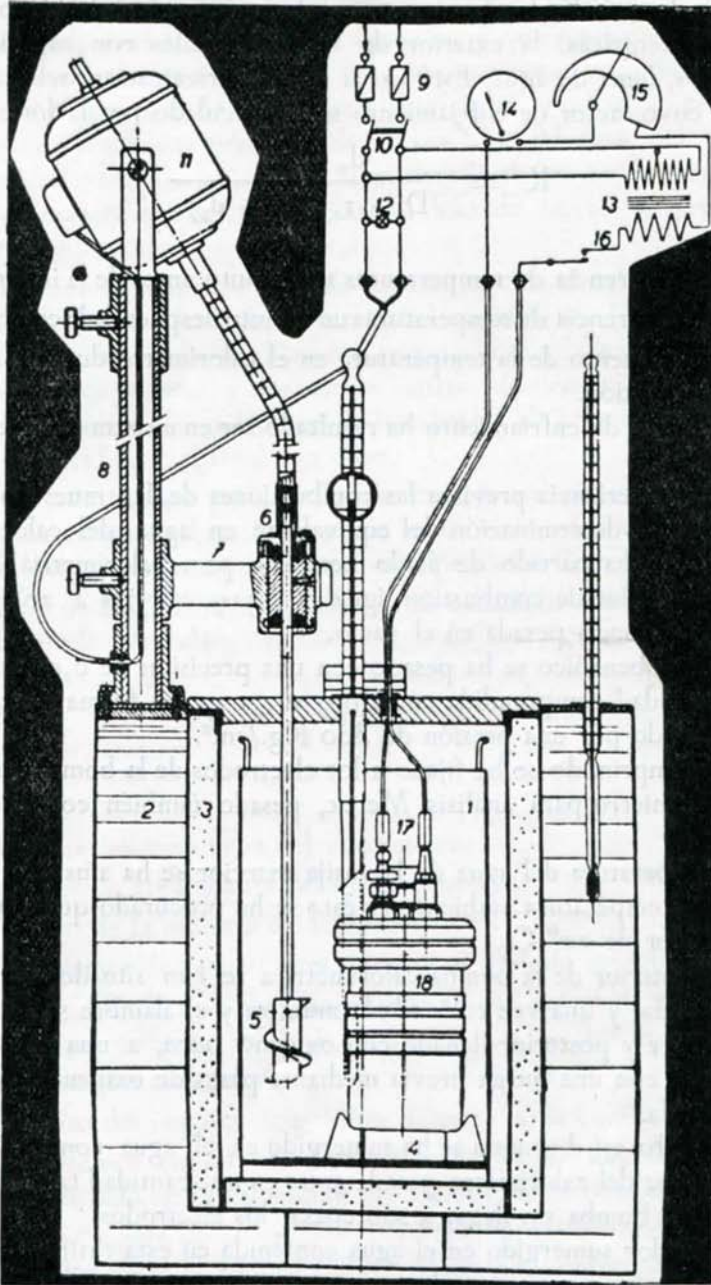
H = » » heces.

La energía metabolizable, determinada a partir del dato químico se ha calculado a expensas del coeficiente de digestibilidad y de los datos cuantitativos de la mezcla.

Hemos seguido el método preconizado por LEROY en el que, Energía metabolizable = [Materias nitrogenadas digestible + (Grasa digestible x 2,25) + Extractivas libres de nitrógeno digestible + fibra digestible] x 4. El resultado se expresa en calorías por 100 grs. de la muestra.

Determinación del calor de combustión de la muestra.

Se ha utilizado una bomba calorimétrica KOVO, fabricada de material anticorrosivo Poldi, de una capacidad de 310 ml. y resistente a



Esquema de la bomba calorimétrica

presiones de 300 Kg/cm², con vasija calorimétrica constituida por tres vasijas concéntricas, la exterior de dobles paredes con capacidad de 15,5 litros, llena de agua. Esta vasija calorimétrica está provista de una cubierta cuyo factor de enfriamiento se ha calculado por la fórmula:

$$K = \frac{d_1 - d_2}{D_i + 1,5 (d_1 + d_2)}$$

en la que

d_1 = diferencia de temperaturas un minuto antes de la inflamación.

d_2 = diferencia de temperaturas un minuto después de la combustión.

D_i = aumento de la temperatura en el calorímetro durante la combustión.

Este factor de enfriamiento ha resultado ser en nuestra experiencia = 0,0025.

Como experiencia previa a las combustiones de las muestras se ha procedido a la determinación del equivalente en agua del calorímetro, y para ello se ha partido de ácido benzóico para calorimetría Rhone-Poulenc, de calor de combustión igual a 6319 calorías a 20° C por gramo de sustancia pesada en el vacío.

El ácido benzóico se ha pesado con una precisión de 0,0002 gr. y en una cantidad comprendida entre 0,9 y 1,1 gr. en forma de comprimido obtenido por una presión de 300 Kg./cm².

Este comprimido se ha fijado a los electrodos de la bomba mediante alambre de hierro para análisis Merck, pesado también con la misma precisión.

La temperatura del agua de la vasija exterior se ha ajustado $\pm 0,5^\circ$ C sobre la temperatura ambiente, y ésta se ha procurado que sea siempre alrededor de 20° C.

En el interior de la bomba calorimétrica se han situado 10 ml. de agua destilada, y una vez colocada la muestra y el alambre se ha procedido al cierre y posterior llenado con oxígeno puro, a una presión de 27 Kg/cm² con una purga previa mediante pases de oxígeno a presión más reducida.

La bomba así dispuesta se ha sumergido en el agua contenida en la vasija interior del calorímetro pesada antes en una cantidad tal que cubra la tapa de la bomba sin llegar a sobrepasar los electrodos.

El agitador sumergido en el agua contenida en esta vasija interior se ha puesto en funcionamiento durante unos cinco minutos, y una vez que la temperatura se ha estabilizado se han comenzado a tomar lecturas en un termómetro Beckmann.

La medición calorimétrica se ha dividido en tres períodos:

1.—Período inicial, anterior a la ignición, y que tiene por finalidad determinar el intercambio calorífico del calorímetro con su ambiente. En este período se han tomado las temperaturas cinco veces con intervalo de un minuto, y con una precisión de $0,002^{\circ}$ C. Al final del último minuto se ha llevado a cabo la ignición, ajustando el sistema de encendido eléctrico de manera que la combustión del hilo de hierro se produzca en un segundo.

2.—Período principal, o período durante el cual el calor producido por la combustión del ácido benzóico y del alambre de hierro pasa a todo el sistema calorimétrico. Durante este período se han tomado las temperaturas cada minuto, y durante un espacio de tiempo comprendido entre 4 y 6 minutos. Estas lecturas se han hecho al principio con una precisión de $0,1^{\circ}$ C y al final con $0,002^{\circ}$ C.

3.—Período final, o período de intercambio calorífico del sistema calorimétrico con su ambiente. También se ha efectuado durante 5 minutos con lecturas cada minuto, y con una precisión de $0,002^{\circ}$ C.

A partir de las lecturas realizadas se ha calculado el equivalente en agua mediante la fórmula:

$$K = \frac{Q \cdot a + \Sigma c}{D_t - k} \text{ cal.}$$

en la que

K = equivalente en agua del calorímetro.

Q = calor de combustión del ácido benzóico.

a = peso de la muestra de ácido benzóico.

D_t = aumento de temperatura durante el período principal.

Σ = suma de correcciones, expresada en cal, calculada a partir de la expresión $\Sigma c = (b_1 \cdot b_2) 1610 + c \cdot 1,43$ donde

b_1 = peso del alambre, en gr.

b_2 = peso del residuo de alambre después de la combustión.

c = volumen en ml. de disolución $0,1$ N de hidróxido bórico utilizado en la valoración del residuo de la bomba.

k = coeficiente de corrección, correspondiente al intercambio de calor entre el sistema calorimétrico y el ambiente, calculado por la fórmula de Mahler.

$$k = 0,5 (d_1 + d_2) + (n-1) \cdot d_3$$

donde

d_1 = diferencia media de temperatura, por minuto, correspondiente al período inicial.

d_2 = diferencia media de temperatura, por minuto, correspondiente al período final.

n = número de minutos del período principal.

El calor de combustión de las muestras (comprimidas en prensa bajo presión de 300 Kg/cm²) se ha medido siguiendo las pautas señaladas para la determinación del equivalente en agua del calorímetro, pero determinando también las cantidades de ácidos nítrico y sulfúrico originadas durante la combustión.

La fórmula utilizada ha sido la siguiente:

$$Q = \frac{K (D_t - k) - \Sigma c}{a}$$

Q = calor de combustión en cal/g.

K = equivalente en agua del calorímetro en cal/g.

D_t = aumento total de la temperatura en el período principal.

k = factor de corrección deducido por la fórmula de Mahler.

Σc = suma de las correcciones en cal.

a = peso en g. de la muestra.

La corrección Σc equivale a la suma de las correcciones siguientes:

1.—Corrección por la combustión del alambre de hierro, dada por la fórmula $(b_1 - b_2) \cdot 1610$ cal., donde b_1 es el peso del alambre antes de la combustión y b_2 el residuo del mismo una vez quemado.

2.—Corrección debida al ácido sulfúrico y al ácido nítrico originados durante la combustión de la muestra, y que viene dada por las expresiones siguientes:

$$c_1 = (20 - f) \cdot 1,43 \text{ cal. y}$$

$$c_2 = (e + f - 20) \cdot 3,6 \text{ cal.}$$

en las que

e = ml. de disolución N/10 de Ba(OH)₂ gastados en la titulación de la disolución.

f = ml. de la disolución N/10 de ClH utilizadas en la titulación.

Los resultados obtenidos por este método no han diferido en más de 20 calorías para la misma muestra.

Cálculo de los coeficientes de digestibilidad y de la energía metabolizable, a expensas de los datos calorimétricos.

Se han calculado los coeficientes de digestibilidad a partir del calor de combustión del pienso al que se le ha sustraído el calor de combustión de las heces, y la diferencia se ha dividido por el minuendo, expresando el resultado en tanto por ciento.

La energía metabolizable se ha calculado a partir del coeficiente de digestibilidad particular para cada pienso multiplicado por el calor de combustión del mismo, y refiriendo el resultado a 100 g. de muestra y expresado en cal/g.

Resultados experimentales

Tabla 1

Alimento ingerido y heces de las cuatro experiencias expresados en sustancia seca a $103^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$.

Experiencias	Cerdos	Alimento ingerido	Heces
I	1	794,2 gr.	226,8 gr.
	2	882,5 »	258,6 »
	3	882,5 »	246,1 »
	4	794,2 »	233,8 »
II	1	1.765,0 gr.	464,6 gr.
	2	» »	440,2 »
	3	» »	417,0 »
	4	» »	442,2 »
III	1	2.206,2 gr.	596,3 gr.
	2	» »	549,5 »
	3	» »	584,6 »
	4	» »	534,1 »
IV	1	2 647,5 gr	622,0 gr.
	2	» »	586,8 »
	3	» »	606,4 »
	4	» »	614,7 »

Tabla II

Calores de combustión de los piensos y heces, desecados a $103^{\circ} + 2^{\circ}\text{C}$. determinados a 20°C .

Experiencias	Cerdo	Calor de combustión	Desviación
I Pienso Heces » » »	1 2 3 4	4048,3 (cal / g)	+ 39,8
		4024,0 »	+ 16,0
		3944,8 »	+ 17,0
		4011,6 »	+ 23,1
		4014,6 »	+ 17,8
II Pienso Heces » » »	1 2 3 4	4347,1 (cal / g)	+ 11,4
		4352,2 »	+ 46,8
		4308,4 »	+ 21,4
		4306,0 »	+ 35,8
		4270,5 »	+ 43,0
III Pienso Heces » » »	1 2 3 4	4104,9 (cal / g)	+ 27,9
		3949,7 »	+ 15,2
		4137,4 »	+ 13,6
		3918,9 »	+ 7,6
		3961,8 »	+ 18,2
IV Pienso Heces » » »	1 2 3 4	4395,1 (cal / g)	+ 25,8
		4259,3 »	+ 24,0
		4258,9 »	+ 30,2
		4276,7 »	+ 20,9
		4126,0 »	+ 29,3

Tabla III

Coefficientes de digestibilidad determinados a partir de los resultados del análisis químico de las muestras de pienso y heces desecadas a $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

Cerdo	Experiencia I	Experiencia II	Experiencia III	Experiencia IV
1	71,44	73,68	72,97	76,51
2	71,71	75,06	75,09	77,84
3	72,11	76,37	73,50	77,10
4	70,56	74,95	75,79	76,78

Tabla IV

Coefficientes de digestibilidad determinados a partir de los calores de combustión del pienso y de las heces desecados a $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

Cerdo	Experiencia I	Experiencia II	Experiencia III	Experiencia IV
1	71,61	73,62	73,96	77,11
2	71,44	75,22	74,86	78,40
3	72,36	76,59	74,67	77,59
4	70,80	75,51	76,60	78,08

Tabla V
Energías metabolizables

Expe- riencia	Cerdo	A partir del valor medio del calor de combustión del pienso	A partir del valor deducido por método químico	A partir del valor particular del calor de combustión de cada muestra de pienso.
I	1	302,56	291,88	289,89
	2	301,74	289,48	289,21
	3	305,63	294,20	292,93
	4	399,04	288,80	286,62
II	1	310,95	293,72	320,03
	2	317,71	298,72	326,99
	3	325,50	302,16	332,94
	4	318,93	298,52	328,25
III	1	312,39	296,64	303,59
	2	316,19	301,20	307,29
	3	315,39	297,88	306,51
	4	323,54	305,84	314,43
IV	1	325,69	301,80	338,90
	2	331,14	306,48	344,57
	3	327,72	305,20	341,01
	4	329,79	306,76	343,17

NOTA: Se observará en la tabla II, que la técnica calorimétrica aprecia muy ligeras variaciones entre el pienso analizado en los cuatro períodos, que no son encontrados por el método químico. En la presente tabla (V) incluimos los datos encontrados a partir del valor medio del pienso y los del valor particular.

El estudio comparativo está hecho sobre este último valor.

Tratamiento Estadístico**Tabla VI**

Correlación entre los coeficientes de digestibilidad de la materia seca determinados por métodos químicos y los hallados por calorimetría directa.

$S(x)$	=	1191,46
$S(y)$	=	1198,42
\bar{x}	=	74,46
\bar{y}	=	74,90
$S(x^2)$	=	88799,11
$S(y^2)$	=	89852,49
$S(xy)$	=	89322,66
r	=	0,981
S_r	=	0,053
t	=	18,490
t'	=	4,140
P	>	0,001

Tabla VII

Correlación entre los valores calculados en la Tabla V

$S(x)$	=	4.779,28
$S(y)$	=	5.066,33
\bar{x}	=	298,70
\bar{y}	=	316,64
$S(x^2)$	=	1428120,9152
$S(y^2)$	=	1610620,2137
$S(xy)$	=	1514869,5412
r	=	0,82
s_r	=	0,15
t	=	5,466
t'	=	4,140
P	>	0,001

Discusión de Resultados

En la tabla II figuran los resultados medios obtenidos para los calores de combustión de piensos y heces junto con las desviaciones standards. Como era de esperar de una técnica físico-química, y a pesar de la relativa heterogeneidad de las muestras analizadas, los resultados son muy satisfactorios y las desviaciones muy pequeñas, especialmente si pensamos que se trata de estudiarlas comparativamente con técnicas biológicas.

En las tablas III y IV figuran los valores de los coeficientes de digestibilidad de la sustancia seca, obtenidos por los dos métodos estadia-

dos; y en la tabla VI se hace el tratamiento estadístico de ambas, encontrándose que la correlación entre las mismas es muy alta, t calculada = 18,490, mientras que la más alta encontrada en las tablas es de 4,140, es decir, que la correlación está muy por encima de 0,001.

En la tabla VII se hace el estudio de la misma correlación para los valores de la energía metabolizable encontrada por los dos procedimientos. También aquí, como era de esperar, la correlación es muy alta, con una probabilidad mayor de 0,001.

Resumen y conclusiones

Se estudian comparativamente en cuatro cerdos mestizos (Large White x Negra Lampiña) los valores de los coeficientes de digestibilidad de la sustancia seca y la energía metabolizable de un pienso standard, obtenidos por el cálculo de los calores de combustión en bomba calorimétrica o por la técnica de determinación de los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes.

En las cuatro experiencias realizadas la técnica de balance seguida fue la de Völkenröde, y sobre el alimento ingerido y las heces procedentes del mismo se realizan las determinaciones químicas o calorimétricas.

De nuestros ensayos concluimos:

1.º.—Existe una correlación muy alta entre los coeficientes de digestibilidad de la sustancia seca obtenidos por ambos procedimientos ($P > 0,001$).

2.º.—Como era de esperar esta correlación se da también para los valores de energía metabolizable ($P > 0,001$).

3.º.—La técnica calorimétrica permite el conocimiento preciso y cómodo de estos dos valores siempre y cuando se opere a partir de muestras de alimentos y heces procedentes de ensayos de balance correctamente realizados.

A comparative study of digestibility and energetic yield values of a ration used on pigs by means of calorimetric techniques, and of digestibility co-efficients.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

A comparative study is made, using 4 cross-bred pigs (Large White x Negra Lampiña), of the values of the digestibility co-efficients of the dry matter and the metabolizable energy of a standard food, obtained by means of the combustion heat in a calorimetric bomb or by the technique of the determination of the digestibility co-efficients of the nutrients.

In the 4 experiments which were carried out the balance techniques followed was that of Volkenrode, and chemical or calorimetric determinations were carried out on the food eaten and the faeces produced from it.

From our tests we conclude:

1. There is a high correlation between the digestibility co-efficients of the dry matter obtained by both methods ($P > 0.001$).
2. As was to be expected this correlation also occurs in the values of metabolizable energy ($P > 0.001$).
3. The calorimetric technique permits the exact and easily obtained knowledge of these two values always provided that samples of food and the faeces produced therefrom are used as a starting point of correctly carried out balance tests.

Este trabajo ha sido realizado, además de en la Cátedra, en la Sección de Fisiología Animal Ganadera de la Estación Experimental del Zaidín del C. S. I. C.

BIBLIOGRAFIA

- BARRERO, A.—An. Inst. Invest. Veterinarias,—Madrid, V-(1953) 129.
 BRATZLER, J. W. y SWIFF, R. W.,—J. Dairy Sci. 42 (1959) 686.
 CRAMPTON, E. W.—Nutrición Animal Aplicada.—Zaragoza.—1962.
 FONOLLA DE CUEVAS, J.—Tesis doctoral, Facultad de Veterinaria de Córdoba, 1963.
 GALVEZ, N.—An. Fac. Veterinaria.—Madrid. IV. (1952) 133.
 LEROY, A. M.—Cría Racional del Ganado.—(Zootecnia General). Barcelona 1956.
 MILLER, D. S. y PAYNE, P. R.—Brit. J. Nutrition, 13 (1959) 501.
 SCHUBERT, G.—Nutritio et Dieta. 1 (1960), 195.
 THORBEK, Grete.—The National Research Institute, Department of Animal Physiology.—Copenhagen.—1961.