

DIETAS BAJAS EN PROTEINA PARA CERDOS EN FINALIZACION. EFECTO DE LA ALIMENTACION RESTRINGIDA Y DE LA SOLUBILIDAD DE PROTEINA. a, b.

GERARDO MARISCAL L. ^c
JOSE A. CUARON I. ^d

RESUMEN.

Se realizaron dos estudios de balance de nitrógeno (N) con un total de 38 cerdos, machos castrados, con un peso inicial de 58.6 kg. En el primero, se midió el requerimiento de lisina de cerdos alimentados con dietas bajas en proteína (PC) ante un sistema de alimentación restringida (85% de *ad libitum*). Al formular con sorgo, pasta de soya y harina de pescado, se obtuvieron cinco dietas: control 13% PC y 0.57% de lisina y cuatro bajas en PC (11%) con niveles crecientes de lisina (0.33, 0.41 y 0.57%), logrados con la adición de L-lisina. HCl. La digestibilidad del N resultó mayor (P 0.01) en el control que en las bajas en PC (69.12 vs. 64.69). La adición de lisina disminuyó en forma lineal (P 0.01) la concentración de urea sérica, mientras que la retención de N, en función del digerido, respondió en forma cuadrática (P 0.10), con inflexión entre el 0.47 y 0.49% de lisina, aquí se define el requerimiento. En el segundo trabajo, se evaluó el efecto de la frecuencia de alimentación (1 vs. 2 veces/día) y de la solubilidad de PC: pasta de soya, proteína unicelular y de un sustituto de harina de pescado, al formular al 0.45% de lisina disponible (TNBS). No se encontraron efectos (P 0.10) más que en la retención de N en función de lo consumido o digerido, que, independientes de la frecuencia de alimentación, fueron menores (P 0.10) para la pasta de soya.

a Recibido para su publicación el 10 de septiembre de 1987.

b Trabajo en parte financiado por el Patronato de Apoyo de la Investigación y Experimentación Pecuaría en México, A.C.

c Parte del trabajo de tesis presentado por el primer autor para la obtención del grado de Maestro en Ciencias, Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, UNAM.

d Centro Nacional de Investigación Disciplinaria-Fisiología, INIFAP-SARH. Apdo. Postal 29-A Querétaro, Qro. 76020.

Téc. Pec. Méx. Vol. 26, No. 2 (1988)

INTRODUCCION.

Las recomendaciones actuales²⁹ de proteína en dietas para cerdos, se basan en el valor de complementación entre la proteína de un cereal (maíz) y la de la pasta de soya para cubrir las demandas de aminoácidos esenciales.

Sin embargo, desde 1976³⁷, se demostró la factibilidad de reducir el nivel de proteína, siempre y cuando se cubrieran las demandas de los aminoácidos limitantes. Más tarde, Easter y Baker¹⁵, al considerar sólo el primer aminoácido limitante, la lisina típica, concluyeron que la proteína de una ración maíz-soya puede ser reducida en un 2% y que la adición de lisina puede ser menor (0.02% por unidad porcentual de la reducción de proteína), al alcanzar un mejor balance de aminoácidos por la restricción el aporte de los excedentes; estos datos fueron corroborados con raciones sorgo-soya³².

El uso de lisina sintética en raciones bajas en proteína para cerdos alimentados a libertad está bien fundamentado, pero si se considera que la lisina

sintética tiene mayor solubilidad que la de los aminoácidos integrados a la proteína de la dieta, lo que provoca una mayor y más rápida concentración de lisina en los sitios de absorción^{33,47}, hace que el uso del aminoácido cristalino por el animal se pueda ver afectado por la frecuencia de alimentación. Así Batterham y O'Neill⁴, encontraron una interacción entre la suplementación de lisina sintética y la frecuencia de alimentación para velocidad de crecimiento y conversión alimenticia, ésta consistió en una mejor respuesta a la adición de lisina cuando la alimentación fue más frecuente. Cuando los cerdos se alimentaron una vez al día, la eficiencia de utilización de la lisina fue equivalente al 67% al compararla con una alimentación cada tres horas, por lo que Batterham y Murison⁶, recomendaron que, en condiciones prácticas debe considerarse un desperdicio equivalente al 50% de la lisina sintética cuando los cerdos se alimenten una vez al día.

Lo anterior resulta de relevancia ya que con el uso de alimentación restringida, se podría limitar la frecuencia de consumo de alimento por el cerdo, que a libertad va de 9 a 10 comidas por día al momento del destete a 3 ó 6 durante la etapa de finalización²¹, lo que hace suponer un diferente nivel de lisina, suplementaria en los cerdos bajo alimentación restringida.

Uno de los procedimientos más sencillos para mejorar la eficiencia alimenticia de los cerdos es la introduc-

ción de programas de alimentación restringida, con éstos además se logra mejorar el rendimiento magro de la canal^{12,19,46,48}. Al revisar información previa, varios autores^{12,19,46,48} concluyeron que con disminuciones en el consumo de alimento de hasta un 15.8%, las ganancias diarias de peso se reduce en un 12%, pero a cambio, la grasa dorsal disminuye en un 8% y la conversión alimenticia se mejora en un 5%.

En la alimentación restringida se provoca una disminución en el consumo de energía, baja la deposición de grasa, lo que aumenta la proporción del tejido magro, que al estar asociado con 3.5 a 4.5 veces su peso en agua, hace que la ganancia de peso en tejido muscular sea menos costosa en términos energéticos, que aunada al estado anabólico del período **post-prandium**, con una mayor tasa de síntesis de proteína²⁵, provocada por una mayor concentración y prevalencia de hormona del crecimiento y menor de insulina⁴⁵, explica la mayor eficiencia en animales bajo alimentación restringida.

Por lo tanto se concluye que se pueden usar dietas bajas en proteína, siempre y cuando se suplemente el o los aminoácidos limitantes y que la eficiencia con que los animales utilizan la dieta estará influida por el perfil y disponibilidad de los aminoácidos, que pueden modificarse por la frecuencia y el sistema de alimentación, sin que se sepa a detalle cómo in-

teractúan estos factores, por lo que se plantearon dos experimentos de balance de nitrógeno (como el método más sensible de medir la calidad de proteína a nivel digestivo y metabólico) para obtener información sobre su interrelación; los objetivos fueron:

1. Definir el requerimiento de lisina para cerdos en finalización (60-100 kg) alimentados con dietas bajas en proteína (11%) y bajo un sistema de alimentación restringida (85% del consumo a libertad).
2. Comparar el efecto de ingredientes con diferentes solubilidades de proteína sobre la retención de nitrógeno.
3. Determinar la influencia de la frecuencia de alimentación (1 vs. 2 veces día) sobre la eficiencia de utilización del nitrógeno ante la alimentación restringida.

MATERIAL Y METODOS'

Los cerdos (machos castrados) se obtuvieron de las pjaras del INIFAP, producto de cruzamientos alternos Landrace x Duroc, que a su recepción fueron alojados en corraletas con piso de concreto, bebedero automático y comedero de tolva. Quince días previos al período de instalación en jaulas metabólicas, los animales se alojaron en jaulas individuales, en las que se les suministró el alimento a intervalos de 12 h (7:00 am y 7:00 pm), tu-

vieron acceso al mismo durante 1 h, se midió el consumo máximo voluntario ante el uso de una ración convencional sorgo-pasta de soya (control, Cuadro 1); el agua se ofreció a libertad.

Luego, los animales se alojaron en jaulas metabólicas²⁷, en donde se realizaron los estudios de retención de nitrógeno, que consistieron en un período de adaptación y otro de colección (14 días en cada fase). El alimento en las jaulas metabólicas se les suministró a razón del 85% del consumo máximo previamente observado, fue respetado el horario y el tiempo de acceso al alimento; el alimento se proporcionó húmedo, se cuidó que tuviesen agua todo el tiempo, pero sin exceder una proporción 2:1, agua: alimento. Durante el período de colección se midió el consumo de materia seca. La orina se colectó a intervalos de 24 h a partir de la primera comida de la fase de muestreo; la muestra se filtró a través de lana de vidrio para recibirse en un recipiente plástico que contenía 30 ml de HCl 6N como conservador. La orina acumulada durante el día se diluyó con agua bidestilada y previo mezclado se obtuvo una alícuota de 100 ml por día, que fue mezclada con las cuatro restantes del período de colección, las muestras en congelación se almacenaron en botellas de vidrio ámbar a -15°C hasta su análisis. Para determinar el inicio y término del período de colección de heces se usó óxido férrico como indicador, que se suministró en la primera y última comida del período a razón del 1% del alimento

Cuadro 1. Composición de las raciones experimentales

Ingrediente, %	Experimento 1.		Experimento 2		
	Control	Basal	P.de soya	Levaduras	Sustituto de pescado
Sorgo	91.05	94.35	90.12	90.12	90.12
Harina de pescado	3.40	1.40	—	—	—
Pasta de soya	3.40	1.40	5.88	—	—
Proteína unicelular	—	—	—	5.36	—
Sustituto de pescado	—	—	—	—	3.44
L-lisina.HCl	0.10	—	0.11	0.11	0.11
L-glutamato monosódico	—	—	0.11	—	0.93
Almidón de maíz	—	—	0.12	0.64	2.50
Aceite	—	—	1.79	2.00	1.44
Sal mineralizada ¹	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Vitaminas ²	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Roca fosfórica	1.00	1.20	1.42	0.54	0.99
Carbonato de calcio	—	—	—	0.78	0.05
Ortofosfato de calcio	0.60	1.20	—	—	—
Composición analizada, %					
Proteína cruda (N X 6.25)	13.75	11.56	11.19	11.34	11.33
Lisina disponible (TNBS)	0.57	0.31	0.45	0.44	0.43

¹ Cada kg de premezcla aportó: Mn, 5.71g; Mg, 2.70g; Zn, 28.5g; Fe, 25.5g; Cu, 2.20g; I, 0.10g; Co, 0.21g; Se, 0.02g; K, 0.08g; NaCl, 715g.

² Cada kg de premezcla aportó: Vit. A, 3 300 000 UI; D₃, 330 000 UI; E, 22 000; B₂, 1.10g; B₁₂, - 17.6 mg; Niacina, 27g; D-pantotenato de calcio, 6.58g; cloruro de colina, 175g.

Cuadro 2. Resultados del balance de nitrógeno y de la química sanguínea, experimento 1.

Proteína, %	13.00	11.00	11.00	11.00	11.00	
Lisina, %	0.57	0.33	0.41	0.49	0.57	EEM
Digestibilidad de la M.S., %	81.09	82.29	80.97	81.19	80.49	0.5902
Consumo de N, g/día ^a	53.87	47.39	45.75	40.13	43.27	1.5215
N digerible, % ^a	69.12	65.28	64.54	63.87	65.06	0.8456
N urinario, g/día ^b	10.60	10.69	8.68	7.19	7.77	0.4555
N retenido, g/día ^a	27.00	20.25	20.83	18.43	20.43	0.9206
N retenido, % del consumo ^{a,c}	50.10	42.71	45.50	45.90	47.10	0.9811
N retenido, % del digerido ^d	71.87	65.30	70.56	71.89	72.34	1.1683
N de urea, mg/100 ml suero ^c	11.86	16.37	11.25	10.25	8.54	0.8559
Proteína sérica, g/100 ml.	6.91	6.67	6.23	7.04	6.33	0.4000

^a

Control (13 % PC, 0.57% Lis) fue diferente (P<0.01) del promedio del resto.

^b

Efecto cuadrático (P<0.05) dentro de las dietas bajas en proteína.

^c

Efecto lineal (P<0.05) dentro de las dietas bajas en proteína.

^d

Efecto cuadrático (P<0.10) dentro de las dietas bajas en proteína.

ofrecido, se colectó a partir de la aparición de las primeras heces teñidas (producto de la primera comida) y hasta la aparición del indicador como producto de la última comida. Las muestras diarias de heces (colectadas cada 12 h) se secaron en una estufa de aire forzado (56°C) para 48 h, se estabilizaron a temperatura ambiente por 24 h para ser pesadas, molidas hasta pasar por una criba de 2 mm y ser homogeneizadas, fue tomada una muestra para su posterior análisis.

Doce horas después del último alimento en las jaulas metabólicas se obtuvieron de cada cerdo 10 ml de sangre por punción de la vena cava anterior. La muestra se coaguló (24 h) y centrifugó (300 x g/10 min) para obtener el suero en el que se determinó el nitrógeno de urea¹⁷ y proteínas totales²⁰

Los alimentos, heces y orina se sujetaron a una determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl², las determinaciones se realizaron por triplicado. La composición proximal de los ingredientes y las dietas utilizadas se analizó según las recomendaciones de Tejada⁴³, se determinó lisina como lisina disponible en forma química³¹.

Experimento 1.

En este trabajo se buscó titular el requerimiento de lisina por cerdos en finalización ante el uso de dietas bajas en proteína y bajo alimentación restringida. Los cerdos (20) con un peso

inicial promedio de 59.7 ± 5.7 kg. se agruparon en cuatro períodos de 15 días cada uno, se atendió el peso inicial y camada de origen (bloques). Un cerdo de cada bloque recibió al azar uno de los siguientes cinco tratamientos: Control, 13% PC y 0.57% de lisina²⁹; Basal, 11%PC y 0.33% de lisina; Basal más 0.10% de L-lisina; HCL; Basal más 0.20% de L-lisina. HCl y Basal más 0.30% de L-lisina. HCl, los cuatro últimos resultaron con 0.30, 0.41, 0.49 y 0.57% de lisina total calculada. Las dietas conformaron los tratamientos se formularon con base en sorgo, pasta de soya y harina de pescado (Cuadro 1). La formulación de las dietas bajas en proteína fue constante a excepción de la adición de L-lisina HCl (78% de lisina) y la relación pasta de soya: harina de pescado fue similar a lo usado en la dieta control (13% PC, 0.57% lisina) para buscar una similar calidad de proteína en el aporte dado por el suplemento proteico para el sorgo.

El experimento se realizó bajo un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos, cuatro bloques y una observación de un animal por celda. Los criterios de respuesta que mostraron diferencias ($P < 0.10$) se sujetaron a una prueba de comparación múltiple entre medias (Student Newman-Keuls) y se usaron polinomios ortogonales para encontrar la superficie de respuesta ante el efecto de los tratamientos³⁹. En los criterios en los que se detectó una respuesta cuadrática, se usó un análisis de "línea quebra-

da^{1,23} para determinar el punto matemático de inflexión de la curva.

Experimento 2.

Para revisar el efecto de la fuente de proteína y la frecuencia de alimentación se usaron 18 cerdos con un peso inicial promedio de 59.8 ± 3.4 kg. De acuerdo al procedimiento descrito en el experimento 1, se plantearon tres bloques, a los que se les impusieron de manera factorial tres fuentes de proteína (pasta de soya, proteína unicelular y un sustituto de harina de pescado) y dos frecuencias de alimentación (1 y 2 veces/día).

La pasta de soya se incluyó como proteína vegetal de alta solubilidad; la proteína unicelular se obtuvo de levaduras (*Candida sp*) crecidas en n-parafina; el sustituto de harina de pescado^a como compuesto de productos de origen animal y marino, que por su proceso de producción, se esperaba de baja solubilidad, resultaron con una proteína cruda, nitrógeno soluble en agua y lisina disponible como % de la proteína de : 43.77%, 1.06% y 6.40%; 49.18% , 1.32% y 6.04%; 61.20% , 1.92% y 6.98% , en forma respectiva.

Las dietas se formularon a 11% de PC y 0.45% de lisina disponible para no exceder al requerimiento determinado en el Experimento 1. Para alcanzar el mismo contenido de PC y lisina se usa-

a Pro-pep, Pesquera Zapata, S.A. de C.V., Ensenada, B.C. México.

ron sorgo, el suplemento proteico, L-lisina. HCl y glutamato monosódico, se ajustó energía, calcio y fósforo con almidón de maíz, aceite vegetal, roca fosfórica y carbonato de calcio, se mantuvieron constantes las premezclas de vitaminas y minerales traza (Cuadro 1).

La metodología y procedimientos fueron similares a los del Experimento 1, excepto que los alimentos se ofrecieron una sola vez (7:00 am) o dos veces al día (7:00 am y 7:00 pm).

Los resultados se analizaron según las recomendaciones de Steel y Torrie³⁹ para un diseño de bloques al azar en un arreglo factorial 3 (fuentes de proteína) x 2 (frecuencias de alimentación) las comparaciones planteadas (ante análisis de varianza) fueron las correspondientes a los efectos principales y de la interacción.

RESULTADOS Y DISCUSION.

Experimento 1.

Los animales asignados a los diferentes tratamientos completaron el período experimental y del análisis de las muestras en laboratorio, los resultados se resumen en el Cuadro 2.

Con similares consumos de alimento, la digestibilidad promedio de la materia seca resultó ser del 81.21%, que es lo esperado con raciones convencionales grano de cereal-pasta de soya. El consumo de nitrógeno, por la

Cuadro 3. Interacciones y análisis de varianza del modelo de línea "quebrada".

Interacción	Fase interactiva no lineal ^a			
	A	B	C	S.C. residual
0	20.950	196.750	-187.500	60.151
1	12.551	238.847	-238.782	58.966
2	6.784	268.039	-274.732	58.655
3	4.497	279.694	-289.198	58.624
4	4.435	280.636	-289.661	58.624
5	4.434	280.037	-289.662	58.624

Análisis de varianza			
FV	G.L.	S.C.	C.M.
Regresión	3	78 578.580	26 192.860
Residual	13	58.624	4.510
Total	16	78 637.204	
Total corregido	15	183.995	

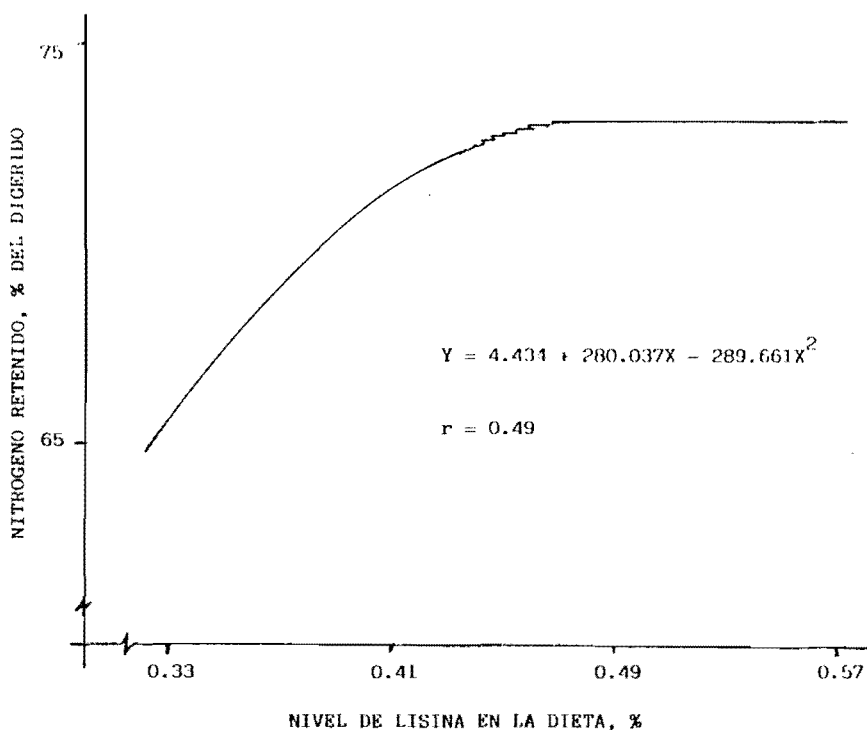
^a Mínimos cuadrados.

definición de los tratamientos, fue mayor ($P < 0.01$) en los animales alimentados con la dieta control (13% PC, 0.57% lisina), también mayor ($P < 0.01$) fue la digestibilidad del nitrógeno: 69.12 vs. 64.69% como promedio de las dietas bajas en proteína. Esta diferencia en la digestibilidad de nitrógeno pudo deberse al hecho de que en las dietas bajas en proteína, alrededor del 85% del nitrógeno total fue aportado por el sorgo, mientras que en la dieta control, este aporte fue del 69%, por lo que, al presumir una mayor digestibilidad del nitrógeno en los suplementos protéicos (pasta de soya y harina de pescado), esta diferencia resultaba predecible. Los coe-

ficientes de digestibilidad, aunque bajos, se encuentran dentro de los rangos mencionados por otros autores con otros granos de cereales^{24, 35, 36} o con sorgo y bajo alimentación restringida^{11, 13, 28, 41}.

La excreción metabólica de nitrógeno (N urinario) mostró una respuesta cuadrática ($P < 0.05$) dentro de las dietas bajas en proteína, respuesta que se debió a la satisfacción de la demanda de lisina del animal, esta observación se confirmó por la disminución en la concentración de urea sérica ($P < 0.01$), que sugiere ante la adición progresiva de lisina, un mejor balance de aminoácidos^{9, 10, 15}. La proteína

FIGURA 1. NITROGENO RETENIDO EN FUNCION DEL DIGERIDO



plasmática fue similar entre tratamientos, lo que resultó ser un criterio menos sensible a la deficiencia de aminoácidos, por mecanismos de homeostasis, que el nitrógeno de urea en plasma o el balance de N^{14}

La similitud en la excreción urinaria de nitrógeno, aunada a la excreción fecal y al consumo, provocó que la retención fuese mayor ($P < 0.01$) en la dieta control: 27 vs. 20 g/día. Esta diferencia es congruente con aquella encontrada en el consumo de nitrógeno, ya que a mayor consumo, por lo común se obtiene una mayor retención⁸, por lo que la retención de nitrógeno en función del consumo o en función

del nitrógeno digerido resultan en un mejor criterio de comparación; en este último caso, la diferencia desapareció, lo que confirma que la calidad de la proteína consumida se refleja en la cantidad de nitrógeno retenido, dada ésta por el perfil de aminoácidos requeridos por el animal, y que los aminoácidos excedentes actúan contra la eficiencia de utilización de la proteína alimentada.

Dentro de las dietas bajas en proteína, se encontró un efecto cuadrático ($P < 0.10$) al expresar la retención en función del nitrógeno digerido; este efecto se define por el hecho de que al cubrir los requerimientos de lisina,

Cuadro 4. Balance de nitrógeno y química sanguínea de cerdos alimentados con 3 fuentes de proteína y bajo dos frecuencias de alimentación experimento 2.

Criterio de respuesta	Fuente de proteína ^a /frecuencia de alimentación ^b						E E M
	P. Soya		P. Unicelular		S.H. Pescado		
	1	2	1	2	1	2	
Digestibilidad MS, %	81.49	80.83	79.93	81.88	80.51	83.82	1.3699
Consumo N, g/día	36.51	37.21	38.64	37.35	37.98	38.58	1.0863
N digestible, %	63.96	61.92	63.67	64.51	62.63	66.08	1.2949
N urinario, g/día	9.50	10.73	9.33	9.31	9.66	10.15	0.6455
N retenido, g/día ^c	13.86	12.48	15.30	14.78	14.15	15.33	0.7071
N retenido, % consumo ^{c,d}	37.97	33.55	39.53	39.61	37.31	39.80	1.4480
N retenido, % digerido ^c	59.38	53.81	62.20	61.38	59.63	60.22	1.9900
Urea sérica g/100 ml	14.36	13.45	12.65	12.19	12.54	18.23	1.4720
Proteína sérica, g/100 ml	6.22	6.68	6.81	6.56	6.64	6.49	0.2888

^a El N soluble en agua (%), por fuente de proteína fué: pasta de soya, 1.06; proteína unicelular, 1.32 y sustituto de harina de pescado, 1.92.

^b 1= Una comida al día, c/24 horas; 2= Dos comidas al día, una c/12 horas.

^c Efecto de la fuente de proteína (P < 0.10)

^d Interacción entre la fuente de proteína y la frecuencia de alimentación (P < 0.10)

concentraciones mayores del aminoácido en la dieta no provocan aumentos en la eficiencia de utilización del nitrógeno digerido^{3, 8, 38}. Así, el nivel óptimo de suplementación, el que maximice la respuesta con la menor concentración del nutrimento, puede ser estimada al calcular el punto de inflexión de la curva, por lo que se procedió a analizar los resultados con el modelo de línea "quebrada".

El análisis de línea "quebrada" para calcular los requerimientos parte de los supuestos: que un animal responde en forma lineal a la adición de un nutrimento indispensable hasta que se alcanza el requerimiento y que, después de cubrir el requerimiento, no se observan respuestas a una adición mayor del nutrimento. La ecuación de este modelo se expresa como:

$$Y = L + U (R - X_{LR})$$

en donde: L es la ordenada; R, la abscisa del punto de ruptura de la línea (y que corresponde al requerimiento) y X_{LR} es X, el punto en la línea de regresión, cuando X es menor que R y por definición $R - X_{LR}$ es igual a cero cuando $X = R$, lo que modifica la pendiente (U) en la consecución de puntos par alcanzar R^1 . El valor de R se obtuvo por mínimos cuadrados con aproximaciones sucesivas ante diferentes datos de R en la porción ascendente (lineal) de la curva, por lo que se obtiene el punto de inflexión (requerimientos) al minimizar el error cuadrático^{1, 23}. Este análisis y las fases interactivas se resumen en el Cuadro 3 y la curva obtenida y su ecuación de regresión en la Figura 1.

Los resultados de este trabajo, con cerdos de 60-100 kg de peso, que consumen dietas bajas en proteína (11% PC) y bajo alimentación restringida (85% del consumo máximo esperado) muestran que el nivel óptimo de lisina fue del 0.47 al 0.49% (Figura 1), lo que representa un 0.04% menos de lisina por cada unidad porcentual de proteína disminuida en la dieta, de acuerdo a las recomendaciones del NRC²⁹.

En trabajos similares, Baker y Col³ y Easter y Baker¹⁵, con cerdos en crecimiento (hasta 60 kg) concluyeron que por cada unidad porcentual de proteína que se disminuyera, la lisina en la dieta podría reducirse en un 0.02%, mientras que Lurchick y Col²⁶ publicaron resultados que concluyen en una recomendación de disminución de lisina igual a la arrojada por este

trabajo, aún cuando el régimen de alimentación usada por los autores antes citados fue a libertad, lo que podría sugerir que dos comidas al día en cerdos durante el período de finalización no redundan en una menor eficiencia en la utilización de lisina sintética (como lo habían propuesto Batterham y O'Neill⁴; y Batterham y Murison⁶ o bien que al haber menor dependencia por proteína en cerdos durante la etapa de finalización, por el aumento en la deposición de grasa⁴⁴, esta ineficiencia no se manifestó. Además, es conveniente apuntar que el uso de alimentación restringida y dietas bajas en proteína estimulan la secreción de hormona del crecimiento, se incre-

menta el transporte de aminoácidos a través de la membrana celular, lo que a su vez aumenta la asociación polisómica y por ende la síntesis de proteína^{40,45}, lo que resulta una más eficiente utilización de los aminoácidos.

Experimento 2.

El resumen de resultados del balance de nitrógeno, urea y proteína séricas se detallan en el Cuadro 4. De los criterios de respuesta estudiados, sólo se encontraron efectos de la fuente de proteína ($P < 0.10$) en la retención de nitrógeno (en g/día, en función del consumo de lo digerido), mientras que la interacción sólo se manifestó ($P < 0.10$) en el nitrógeno retenido como por ciento del consumido. El efecto de la fuente de proteína, siempre señala a la pasta de soya como inferior de la proteína unicelular, pero similar a la proteína del sustituto de harina de pescado. La interacción detectada en el nitrógeno retenido en función del consumo sugirió la menor retención en cerdos alimentados con la dieta cuyo suplemento protéico fue la pasta de soya ofrecida dos veces por día.

Los efectos en todos los casos son atribuibles al suplemento protéico ya que el sorgo se mantuvo constante al igual que el aporte de L-lisina, HCl y entre éstos, la diferencia pudo haber surgido del perfil de aminoácidos o de la solubilidad de proteína. En el primer caso, se cubrieron las demandas de todos los aminoácidos esenciales, excepto lisina, que se formuló para

arrojar un déficit del 10% en relación al requerimiento calculado en el Experimento 1; esto con la finalidad de que al estar limitante la lisina, las diferencias de solubilidad de las proteínas arrojaron tiempos de absorción diferentes, que acentuaran la deficiencia, la diferencia fue detectable por el desperdicio de lisina en las dietas con la proteína menos soluble.

Ahora bien, al incidir en la calidad del suplemento protéico, importa no sólo el potencial de satisfacción de las demandas de los aminoácidos esenciales, sino también los desbalances que puedan crearse por exceso de otros aminoácidos, el aporte energético o ambos, entre otros. Como ingrediente en la formulación de alimentos completos para animales, el sustituto de harina de pescado ha mostrado¹⁶ ser similar a la harina de pescado y superior a la pasta de soya, mientras que la proteína unicelular puede ser igual, o en el mejor de los casos superior a la pasta de soya^{4, 22, 34, 42}, lo que explicaría los resultados obtenidos en este trabajo, si aceptamos a la pasta de soya como un ingrediente de menor calidad, lo que pudo ser una peculiaridad de la pasta de soya usada en este trabajo.

En referencia también a la calidad de los suplementos protéicos, las determinaciones químicas de lisina disponible, tienen un mayor margen de error (en relación a la lisina biodisponible) en los alimentos de origen vegetal y en los que han sufrido procesos

de calentamiento^{4, 6}, como fue el caso de la pasta de soya y de los ingredientes del sustituto de harina de pescado, es factible que esto contribuyera de manera importante para modificar la respuesta animal. El daño térmico a la proteína de la soya usada resulta factible si consideramos que, en teoría, se espera menos solubilidad de la proteína, en el sustituto de la harina de pescado (por los ingredientes que lo componen), seguido de la proteína unicelular y por último de la pasta de soya^{18, 30}, pero en este trabajo, la solubilidad resultó inversa: 19.61, 16.70 y 15.10% de N soluble en agua (como % del N total en la muestra), en forma respectiva.

Aunque no se midió el nitrógeno no protéico, es probable que mucho del nitrógeno arrastrado por el agua (en el cálculo de la solubilidad) haya sido de este origen. En cualquier caso, los resultados parecen confirmar el hecho de que a mayor solubilidad de proteína, mejor es la utilización de la lisina sintética ante un régimen de alimentación restringida, es patente que, al menos entre una y dos comidas al día no hay diferencia en la utilización de una misma dieta, lo que no excluye la posibilidad de obtener una mejor respuesta de ofrecer más de dos comidas al día.

SUMMARY

Two nitrogen (N) balance experiments were followed using a total of 38 pigs, castrated males, with an average initial weight of 58.6 kg. The objective of the first was to titrate the lysine requirement of

finishing pigs fed low protein diets in a restricted feeding system (85% of *ad libitum*). Using sorghum grain, soybean meal and fish meal, five diets were formulated: control (13% crude protein, 0.57% lysine) and four low in protein (11%) with increasing lysine levels (0.33, 0.41, 0.49 and 0.57%), that were achieved upon the addition of L-lysine. HC1. Results showed a different ($P < 0.01$) N digestibility, as control was compared with the rest (69.12 vs. 64.69%). There was a linear ($P < 0.01$) decrease in serum urea N as lysine was added, while N retention, per unit of digested N, responded quadratically ($P < 0.10$) to the addition of lysine, with the inflection point between 0.47 and 0.49% lysine, defining then the requirement.

In the second experiment, the effect of feeding frequency (1 vs 2 meals/day) and protein solubility, from: soybean meal, single cell protein and a fish meal substitute on N metabolism were measured. Three diets were formulated, based on the protein supplement to sorghum, to 0.45% lysine. The analysis of the mixed diets resulted in a crude protein range of 11.19% to 11.34% and available lysine (Chemically by TNBS) of 0.43 to 0.45%. Results showed no differences ($P > 0.10$), except for N retention (as % of consumed or digested N), which were lower ($P < 0.10$) for soybean meal, with no effect of feeding frequency or of the interaction.

LITERATURA CITADA

- 1 ANDERSON, R.L. and NELSON, L.A., 1975. A family of models involving intersecting straight lines and concomitant experimental designs useful in evaluating response to fertilizer nutrients. *Biometrics*, 31:303.
- 2 A.O.A.C., 1975. Official Methods of Analysis, 12th ed Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- 3 BAKER, D.H., KATS, R.S. and EASTER, R.A. 1975. Lysine requirements of growing pigs at two levels of dietary protein. *J. Anim. Sci.* 40:851.
- 4 BATTERHAM, E.S. and O'NEILL, G.H. 1978. The effect of frequency of feeding on the response by growing pigs to supplements of free Lysine. *Br. J. Nutr.*, 39:265.
- 5 BATTERHAM, E.S., MURISON, R.D. and LOWIS, C.E. 1978. An evaluation of total lysine as predictor of lysine status in protein concentrates for growing pigs. *Br. J. Nutr.* 40:23.
- 6 BATTERHAM, E.S. and MURISON, R.D. 1981. Utilization of free lysine by growing pigs. *Br. J. Nutr.* 46:87.
- 7 BATTERHAM, E.S., MURISON, R.D. and LOWE, R.F. 1981. Availability of lysine in vegetable protein concentrates as determined by the slope ratio assay with growing pigs and rats and by chemical techniques. *Br. J. Nutr.* 45:401.
- 8 BOORMAN, K.N., 1980. Dietary constraints on nitrogen retention. Protein deposition in animals. Butterworths, London, 1st. ed., p. 147.
- 9 BROWN, H.D., HARMON, B.G. and JENSEN, A.H. 1973. Lysine requirements of finishing pig for maximum rate of gain and efficiency. *J. Anim. Sci.* 37:708.
- 10 BROWN, J.A. and CLINE, T.R. 1974. Urea excretion in the pig an indicator of protein quality and amino acids requirements. *J. Nutr.* 104:542.
- 11 COUSINS, B.W., TANKSLEY, T.D., KNABE, D.A. and ZEBROWSKA, T. 1981. Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghums varying in tannin concentration. *J. Anim. Sci.* 53:1524.
- 12 CUARON, J.A., ROBLES, A. and SHIMADA, A.S. 1979. Estudios sobre dos sistemas de restricción alimenticia en cerdos para abasto. *Vet. Méx.* 10: 31.
- 13 CUARON, J.A., CHAPPLE, R.P. and EASTER, R.A. 1983. Nitrogen metabolism of gravid and non-gravid female swine fed every third day. *J. Anim. Sci.* 56:96.
- 14 CUARON, J.A., CHAPPLE, R.P. and EASTER, R.A. 1984. Effects of lysine and threonine supplementation of sorghum gestation diets on nitrogen balance and plasma constituents in first litter gilts. *J. Anim. Sci.* 58:631.
- 15 EASTER, R.A. and BAKER, D.M. 1980. Lysine and protein levels in cornsoybean meal diets for growing-finishing swine, *J. Anim. Sci.* 50: 457
- 16 ESQUEDA, G.P., BUNTINX, S.E., LÓPEZ, J. and CUARON, J.A. 1985. Evaluación biológica de la calidad proteica de un sustituto de harina

- de pescado. Memorias de la XX Reunión Nacional A.M.V.E.C., Mérida, Yuc. P. 121.
- 17 FAWCETT, J.K. and SCOTT, J.E. 1960. A rapid and precise method for the determination of urea. *J. Clin. Pathol.* 13: 156.
 - 18 GOMEZ, R., SANTACRUZ, O., GAXIOLA, C. and LLAMAS, G. 1983. Análisis comparativo de algunas fuentes de proteína para la alimentación de ruminantes. Memorias de la Reunión de Investigación Pecuaria en México. SARH-UNAM, México, D.F., p. 665.
 - 19 MAYDON, K.D., TANKSLEY Jr. T.D., KNAUBE, D.A. and MOHR, D.C. 1983. Effects of feeding levels on pigs performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 57: 248 (suppl. 1).
 - 20 HENRY, R.J., 1964. *Clinical Chemistry*. Harper and Row Publishers, New York, p. 181.
 - 21 HOUPPT, T.R., 1984. Controls of feeding in pigs. *J. Anim. Sci.* 59:1345.
 - 22 JORGENSEN, R.E.W.C., SAUER and THACKER, P.A. 1984. Amino acid availability in soybean meal, sunflower, fish meal and meat and bone meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 58:926.
 - 23 KELLY, R.R., NORTON, H.W. y BAKER, D. H. 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *J. Nutr.* 109:1710.
 - 24 KEYS, Jr., and DEBARTHE, J.V. 1974. Site and extent of Carbohydrate, dry matter, energy and protein digestion on the rate of passage of grain diets in swine. *J. Anim. Sci.* 39:57.
 - 25 LINDSAY, D.B. and BUTTERY, P.J. 1980. Metabolism in muscle protein deposition in animals. Butterworths-London, Ltd. ed. p. 125.
 - 26 LUNCHICK, C., CLAWSON, A.J., ARMS-TRONG, W.D. and LINNERUD, A.C. 1978. Protein level. Lysine level and source interaction in Young pigs. *J. Anim. Sci.* 47:176.
 - 27 MAYEN, D., CUARON, J.A. and LABRAN-DE ROS., 1985. Construcción y operación de jaulas metabólicas para cerdos en apoyo a las necesidades de investigación en Nutrición Animal. Memorias XX Reunión A.M.V.E.C., Mérida, Yuc., Julio. p. 49.
 - 28 MYER, R.D., GORBET, D.W. and COMBS, G.E. 1986. Nutritive value of high and low tannin grain sorghums harvested and stored in the high moisture state for growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 62:1290.
 - 29 N.R.C., 1979. Nutrients Requirements of Domestic Animals. Nutrient requirements of swine. 8th Rev. ed., National Academy of Sciences. National Research Council, Washington, D.C.
 - 30 ORSKOV, E.R., HIGHER-JONES and McDONALS, I. 1981. Degradability of protein supplements and utilization on undergraded protein by high producing dairy cows. En: W. Heresing (Ed.) Recent Advances in Animal Nutrition 1980. Butterworths, London.
 - 31 OUSTERHOUT, L.E. and WOOD, E.M. 1970. Available lysine in fish meals. Chemical (TNBS) methods compared with a chick assay. *Poult. Sci.* 49: 1423.
 - 32 RAMIREZ, J.H., GOMEZ, A.R., ROBLES, C. A., CASARIN, A. AVILA, G.E. and SHIMADA, A.S. 1981. Efecto de la disminución del nivel de proteína en dietas para cerdos de abasto. *Téc. Pec. Méx.* 40: 40.
 - 33 ROLLS, B.A., PORTERY, J.W., and WESTGORD, D.R. 1972. The course of digestion of different food proteins in the rat the absorption of protein given alone and with supplements of their limiting aminoacids. *Brit. J. Nutr.* 28:283.
 - 34 ROJAS, R.E. and AVILA, G.E. 1983. Disponibilidad biológica de la lisina en levaduras pasta de soya y harina de pescado para el pollo en crecimiento. *Téc. Pec. Méx.* 44: 9.
 - 35 SAUER, W.C., STOTHERS, S.C. and PHILLIPS G.D. 1977a. Apparent availabilities of amino acids in corns, wheat and barley for growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 57:585.
 - 36 SAUER, W.C., STOTHERS, S.C. and PARKER, R.J. 1977b. Apparent and true availabilities of amino acids in wheat and milling by products for growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 57:775.
 - 37 SHARDA, D.P., MAHAN J.C., and WILSON, R.F. 1976. Limiting amino acids in low protein corn-soy bean meal diets for growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 42:1175.

- 38 SHIMADA, A.S., 1983. Fundamentos de Nutrición Animal Comparativa, Sistema de Educación Continúa en Producción Animal en México, A.C., 10 ed., 3ra. Reimpresión, 1987., México, D.F.
- 39 STEEL, R.G.J. and Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Mc. Grawhill, 2nd. ed. San Francisco, C.A.
- 40 STEELE, N.C. and ETHERTON, T.D. 1983. Nutrient Partitioning in Young pigs as effected by dietary protein intake and insulin treatment. *J. Anim. Sci.* 57:208 (Suppl. 1).
- 41 STEPHENSON, E.L., YORK, J.D., BRAGG, D.B. and LUY, C.A. 1971. The amino acid content and availability of different strains of grain sorghum to the chick *Poult. Sci.* 50:581.
- 42 STEVEN, P.S. and ZIMMERMAN, D.R. 1979. Evaluation of a yeasty single cell protein with young pigs. *J. Anim. Sci.* 49:1252.
- 43 TEJADA DE HERNANDEZ, I., 1983. Manual de Laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. Patrona-
to de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México, A.C. México, D.F.
- 44 TRENKLE, A. and MARPLE, D.N. 1983. Growth and development of meat animals. *J. Anim. Sci.* 57:273 (Suppl. 2).
- 45 VANDERGRIFT, E.C., GIRANDO, S.O., CAMPION, D.R. and SEERLEY, R.W., 1985. Growth, carcass composition and selected hormone concentrations of restricted and ad libitum fed pigs. *J. Anim. Sci.* 61:1454.
- 46 VANSCHOUBROEK, F., WILDE, R. DE and LAMP, P.H. 1967. The quantitative effects of feed restriction in fattening pigs on weight gain, efficiency of feed utilization and back fat thickness. *Br. J. Nutr.* 17:177.
- 47 ZEBROWSKA, T., 1980. Protein digestion and absorption in the stomach and small intestine of pigs. En: Current concept of digestion and absorption in pigs. NIRD-HRI Technical Bulletins, England, 2st. ed., p. 52.
- 48 ZIMMERMAN, D.R. and K. SAROTE, 1973. Starter protein nutrition and compensatory responses in swine. *J. Anim. Sci.* 36:189.