

UTILIZACION DEL NITROGENO Y DISPONIBILIDAD DEL COBRE EN HECES DESHIDRATADAS DE CERDO

FRANCISCO E. GUERRERO A.¹

JOSE A. CUARON I.²

RESUMEN

Con el fin de evaluar la calidad de la proteína y la disponibilidad del cobre contenidos en las heces deshidratadas de cerdo (cerdaza), se realizaron cuatro experimentos. La cerdaza se obtuvo en todos los casos de cerdos con un peso entre 35 y 57 kg, alimentados con raciones convencionales, a las que se les añadió $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (1 kg/t). En los primeros dos trabajos se evaluaron la calidad de la proteína y el efecto de la adición de DL-metionina en dietas para ratas, con la cerdaza como única fuente de proteína. Los resultados mostraron calidad de proteína similar ($P > 0.05$), entre la cerdaza y la pasta de girasol y que metionina es el primer aminoácido limitante; es necesaria la adición de un 2.2% (de la proteína de la cerdaza) para maximizar la respuesta. En los experimentos 3 y 4 se evaluó la disponibilidad del cobre (ante contenidos de 500 a 1 200 ppm), en ratas se encontró, por una prueba de relación de pendientes en la que se usó $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ como patrón y al Cu retenido en hígado como variable dependiente, que la disponibilidad es menor al 0.14%. Al verificarlo con borregos alimentados con 38, 208, 292 o 433 ppm de Cu a partir de cerdaza, por 70 días, no se encontraron signos de toxicidad o de acumulación del elemento en hígado, riñón o músculo.

INTRODUCCION

Al considerar el daño ecológico y al ser materia de economía, existe un cre-

1. Trabajo realizado en la Unidad Central, Palo Alto, D.F., INIFAP, como parte de la tesis para la obtención del título de Médico Veterinario Zootecnista, UNAM con financiamiento parcial del Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México, A.C. (PAIEPEME).

2. Investigador Nacional, Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Centro Nacional de Investigaciones en Fisiología (CNIF)-INIFAP, Apdo. Postal 29-A, Querétaro, Qro., C.P. 76020.

ciente interés en el reciclaje de desperdicios biológicos. En la producción porcina, la cantidad de excretas producidas, su limitado valor como fertilizante y el costo añadido por transporte y procesamiento, ha forzado a los porcicultores a buscar alternativas, entre ellas, su uso como fuente de nutrimentos. Las heces para su consumo directo pueden ser ensiladas con esquilmos agrícolas (e.g., pajas) que absorban la humedad de las primeras, o bien, mezcladas con otros ingredientes previo secado al sol. Entre las características que limitan el uso de las heces porcinas como pienso están: su relativa baja digestibilidad y pobre contenido energético (Ngian y Tiruchelvam, 1979) pero tienen una atractiva concentración de nitrógeno (2.8-4.8%), en promedio un 75% como proteína verdadera, con un perfil de aminoácidos similar al de la pasta de soya (Kornegay y col., 1977; Hilliard y col., 1979; Guerrero y col., 1985).

Al alimentar a los animales con heces recicladas se debe poner peculiar atención al aporte mineral y en el caso de las heces porcinas, el cobre en especial resulta preocupante, debido a la marcada susceptibilidad de los animales rumiantes a una intoxicación por ingestión del elemento. Algunos autores (Scuttle, 1976; N.R.C., 1980; Bostwick, 1982) mencionan que ovinos al consumir dosis tan bajas como 60 ppm en la dieta mueren después de 30 días de ingerirlo. El cobre se incluye en

la dieta de cerdos como promotor del crecimiento a niveles de 125-250 ppm (a partir de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), esto provoca que las heces alcancen una concentración de cobre cercana a las 2000 ppm (Suttle y Price, 1976; Comwell y col., 1978; Monroy, 1983). Experiencias previas, señalan los peligros potenciales ante el elevado consumo de cobre por el reciclaje de heces porcinas como alimento, aunque Prince y col., (1975), no encontraron toxicidad por Cu a partir de éstas heces cuando se usaron como fertilizante de pasturas para ovinos o como alimento de los mismos, hasta proporcionar 60 ppm del elemento, pero los autores no han concluido sobre la disponibilidad del cobre, más aún, no se han observado crisis hemolíticas ante el supuesto desafío con excretas de cerdo (Fentenot y col., 1971; Delgarno y Miles, 1975; Suttle, Hendrosoekarjo y Pearce, 1978).

El objetivo de los trabajos presentados aquí, es estudiar la calidad de la proteína de las heces de cerdo y medir la disponibilidad del cobre y su potencial tóxico a partir de las excretas.

MATERIAL Y METODOS

En todos los experimentos, las heces fueron obtenidas de cerdos en crecimiento (35-57 kg de peso vivo) alojados en corrales de tipo frente abierto con piso sólido de concreto. Los corrales estuvieron provistos de comederos de tolva y bebederos automáticos. Estos animales fueron alimentados con una ración convencional sorgo-pasta de soya, cuya formulación se hizo para cubrir las recomendaciones (N.R.C., 1979) mínimas diarias de nutrimentos, excepto en el caso del cobre, que fue adicionado a partir de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a razón de 1 kg/t como promotor del crecimiento (250 ppm de cobre). La materia fecal colectada en forma

manual, fue secada al sol y molida en un molino de martillos, para proceder a su análisis proximal (Tejada, 1983) y espectrofotometría de absorción atómica (Dalton y Malanoski, 1969; Tejada, 1983) para determinación de cobre, este mismo procedimiento se siguió para otras muestras.

Experimentos de Calidad Protéica.

Para estos ensayos se usaron ratas Wistar recién destetadas (30 días de edad) previo período de adaptación de 21 días. Los animales se alojaron en jaulas metabólicas de acero inoxidable individuales provistas de bebederos de chupón y comederos de cristal; la temperatura y humedad se mantuvieron constantes en el cuarto mediante el uso de un calefactor eléctrico y extractor de aire. Los consumos de alimento fueron medidos diario ante una alimentación a libertad y las ganancias de peso corporal se registraron cada semana. Los experimentos se realizaron bajo un diseño de bloques al azar, en el que los pesos iniciales fueron empleados como criterio de bloqueo.

Experimento 1. Se utilizó un total de 25 ratas machos con peso inicial promedio de 121.56 ± 3 g. Los animales se distribuyeron en cinco tratamientos del suplemento protéico a evaluar. Cuatro dietas se formularon isonitrogenadas con utilización de: caseína; pasta de soya; pasta de girasol o heces porcinas deshidratadas (cerdaza) como única fuente de proteína. La quinta dieta fue libre de nitrógeno, (Cuadro 1). Los niveles de fibra, calcio y fósforo en las dietas se igualaron con celulosa y fósforo de calcio. La calidad de la proteína se midió en forma simultánea por tres métodos: Índice de Eficiencia Protéica (IEP), índice de proteína Neta (IPN) y Utilización Neta de la Proteína (UNP), según lo propuesto por Jansen (1978) y Sotelo y Lucas (1978). Los

resultados se sujetaron a un análisis de varianza y la diferencia entre medias se calculó con una prueba de Duncan (Steel y Torrie, 1980).

Experimento 2. La adición del primer aminoácido potencial limitante de la cerdaza, como fuente de proteína para ratas, se evaluó con el uso de 30 ratas machos, con un peso inicial promedio de 148.1 ± 8.3 g, que se distribuyeron en cinco tratamientos de los que resultaron dietas isonitrogenadas, isoenergéticas e isocúpricas (Cuadro 2). Una dieta de referencia se formuló con pasta de soya y DL-metio-

nina como las únicas fuentes de nitrógeno para cubrir todas las recomendaciones del NRC (1972); las cuatro restantes incluyeron cerdaza como única fuente de proteína y la DL-metionina se añadió en forma progresiva (0.00; 0.22; 0.44 y 0.66%) a costa de almidón de maíz y se ajustó la concentración de aceite. El experimento se realizó en dos fases, la primera fue una prueba de crecimiento (21 días), al final de esta primera fase, heces y orina se colectaron y cuantificaron durante siete días, en las primeras se usó óxido de cromo (Schneider y Flatt, 1975) como indicador, mientras que la

Cuadro 1. Composición de las dietas para estimar la calidad de la proteína, experimento 1.

| Ingredientes (%) | Proteína probada | | | | |
|--|------------------|---------------|------------------|---------|-------------|
| | Caseína | Pasta de soya | Pasta de girasol | cerdaza | libre de N. |
| Caseína | 11.54 | - | - | - | - |
| Pasta de soya | - | 21.79 | - | - | - |
| Pasta de girasol | - | - | 38.34 | - | - |
| Cerdaza | - | - | - | 38.27 | - |
| Almidón de maíz | 36.89 | 28.33 | 20.13 | 15.86 | 48.08 |
| Dextrosa | 37.32 | 37.32 | 37.32 | 37.32 | 37.32 |
| celulosa purificada | 8.87 | 7.15 | - | 4.48 | 8.87 |
| Aceite de cártamo | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Fosfato dicalcico | 1.13 | 1.31 | - | - | 2.04 |
| CaCO ₃ | 0.65 | 0.50 | 0.71 | 0.47 | 0.09 |
| Premezcla ^a | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 1.60 |
| Composición analizada (como se alimentó) | | | | | |
| Materia seca (%) | 90.57 | 89.88 | 89.10 | 88.30 | 89.17 |
| N x 6.25 (%) | 9.84 | 10.08 | 10.08 | 10.50 | 0.60 |
| E.bruta (Mcal/kg) | 3.90 | 3.82 | 4.80 | 3.97 | 3.65 |

^a Proveyó por cada 100 kg. de alimento: Ca₁₀(OH)₂(PO₄)₆, 380g; C_aHPO₄, 700g; KI, - 0.02g; FeSO₄·7H₂O, 17.41g; MgCO₃, 207.2g; MnSO₄·H₂O, 15.38g; K₂CO₃, 636.94g; - Na₂SO₃, 0.02 g; NaCl, 127 g; ZnCO₃, 2.3 g; NaF, 0.23 g; K₂CrSO₄·4H₂O, 0.29 g; S, 3.6 g; CuSO₄·5H₂O, 2.27 g; vitamina A, 4 000 000 U.I.; D₃, 1 000 000 U.I.; Tiamina, 400 mg; Riboflavina, 300 mg; B₆, 600 mg; Pantotenato de Ca, 800 mg; niacina, 200 mg; Colina-HCl, 100 000 mg; K, 5 mg; E, 3 mg; Folato, 100 mg; BHT 1 000 mg.

Cuadro 2. Composición de las dietas usadas para estudiar la respuesta a la adición de DL-Metionina a la cerdaza, experimento 2.

| Ingrediente, % / DL-Metionina, %. | Pasta de soya | | Cerdaza | | |
|--|---------------|-------|---------|-------|-------|
| | 0.66 | 0.00 | 0.22 | 0.44 | 0.66 |
| Cerdaza | - | 38.12 | 38.12 | 38.12 | 38.12 |
| Pasta de soya | 20.40 | - | - | - | - |
| Almidón de maíz | 58.57 | 35.76 | 35.36 | 34.94 | 34.57 |
| Sacarosa | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
| Aceite de cártamo | 6.56 | 12.62 | 12.80 | 13.00 | 13.15 |
| Premezcla ^a | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 3.50 |
| CuSO ₄ .5H ₂ O | 0.01 | - | - | - | - |
| Composición analizada (Base seca) ^b | | | | | |
| N X 6.25 (%) | 9.97 | 10.28 | 9.98 | 10.06 | 10.12 |
| Metionina (%) ^c | 0.67 | 0.20 | 0.38 | 0.58 | 0.73 |
| Cobre (ppm) | 585 | 556 | 563 | 574 | 559 |

^a Cuadro 1.

^b La energía metabolizable se estimó de 3.8 Mcal/kg.

^c Calculada.

Cuadro 3. Composición de las dietas usadas en el ensayo de relación de pendientes, experimento 3.

| Ingrediente, % | CuSO ₄ .5H ₂ O, % | | | | Cerdaza, % | | | |
|--|---|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| | 0.00 | 0.08 | 0.16 | 0.24 | 4.00 | 8.00 | 12.00 | 16.00 |
| Caseína | 14.01 | 14.01 | 14.01 | 14.01 | 14.01 | 14.01 | 14.01 | 14.01 |
| Almidón de maíz | 67.31 | 67.23 | 67.15 | 67.07 | 63.31 | 59.31 | 55.31 | 51.31 |
| Aceite de cártamo | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Sacarosa | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
| DL-Metionina | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| Premezcla ^a | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 3.50 | 3.50 |
| Composición analizada (en base seca) : | | | | | | | | |
| N X 6.25, % | 13.76 | 13.70 | 13.54 | 13.73 | 14.85 | 15.94 | 17.03 | 18.12 |
| Cobre, ppm. | 16 | 232 | 453 | 750 | 25 | 47 | 74 | 97 |

^a Cuadro 1.

orina se colectó en botellas de nalgene con 8 ml de HCl 3N, mismos que se usaron para arrastrar cualquier orina residual en la jaula, en el momento de la colección la muestra se aforó a 10 ml con agua deionizada. Todas las muestras fueron congeladas (-20°C) en botellas de cristal ámbar para ser analizadas al final del período de colección de siete días. La prueba de crecimiento y la de balance de nitrógeno, se analizaron en forma estadística bajo un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos, seis repeticiones y una rata por unidad experimental. Los criterios de respuesta fueron: ganancia de peso; consumo de alimento; consumo de nitrógeno; contenido de nitrógeno en heces y orina. Las comparaciones ortogonales para las tendencias de comportamiento ante la adición de DL-metionina fueron realizadas (Steel y Torrie, 1980) a fin de obtener las superficies de respuesta.

Experimentos de disponibilidad del cobre.

Experimento 3. La disponibilidad del cobre fue medida en la cerdaza por medio de un método de relación de pendientes. Sesenta y cuatro ratas, machos con 23 días de edad y peso promedio de 52.26 ± 11.3 g fueron alojadas en jaulas de acero inoxidable en un cuarto con temperatura y ventilación controladas. Las jaulas se dotaron con bebedero de chupón y comedero de cristal que ofrecieron agua y alimento a libertad. Los tratamientos fueron: cuatro dietas semipurificadas (NRC, 1972) formuladas para construir una curva de referencia en respuesta a niveles crecientes de cobre, a partir de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (i.e., 0.00; 0.08; 0.16 y 0.24 de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en la dieta), y cuatro dietas con la inclusión progresiva de cerdaza (4, 8, 12 y 16%). Tanto el sulfato de cobre como la cerdaza se incluyeron a expensas de

almidón de maíz; el resto de los ingredientes se mantuvieron constantes (Cuadro 3), para asegurar un consumo adecuado de todos los nutrientes, excepto cobre, que llegó a alcanzar niveles tóxicos.

Durante los primeros 30 días, la unidad experimental estuvo compuesta de dos ratas, de peso inicial similar, por jaula, al final de este período, fue sacrificado al azar un animal por unidad experimental, el experimento se continuó con las ratas restantes hasta el día 60, en que fue sacrificado el resto. Al sacrificio (día 30 o 60) los hígados fueron removidos, secados (en una estufa de aire forzado a 56°C por 96 h) y molidos para sujetarse a un análisis de cobre como se describió con anterioridad. El experimento se realizó bajo un diseño de bloques al azar, se bloqueó al peso inicial, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Previo análisis de regresión del contenido de cobre en el hígado, en función del consumo, la pendiente de la curva de referencia obtenida con $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ fue usada como denominador, mientras que la pendiente de la curva obtenida por el depósito de cobre en el hígado, en función de su consumo a partir de la cerdaza, fue usada como el numerador a fin de obtener por esta relación de pendientes una estimación de la correspondencia entre la cantidad del elemento disponible en la cerdaza y su disponibilidad en el sulfato de cobre.

Experimento 4. Se usaron 20 ovinos machos encastados de Suffolk con un peso promedio inicial de 38 ± 6.6 kg. Bajo un esquema por completo al azar, los animales se asignaron a corrales individuales, se les ofreció agua y alimento a libertad, y fue registrado el consumo diario. Los tratamientos fueron dietas (NRC, 1975) isoproteicas e isoenergéticas (Cuadro 4), en donde pasta de girasol y rastrojo de maíz

Cuadro 4. Composición de las dietas usadas en el ensayo con borregos, experimento 4.

| Ingrediente, % | Cerdaza, % ^a | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | 0.00 | 15.00 | 30.00 | 45.00 |
| Rastrojo de maíz | 23.85 | 22.06 | 20.24 | 18.50 |
| Pasta de girasol | 39.69 | 26.44 | 13.26 | 0.00 |
| Composición analizada (en base seca) | | | | |
| N X 6.25, % | 14.70 | 14.69 | 14.72 | 14.69 |
| EM, Mcal/kg ^b | 2.62 | 2.56 | 2.49 | 2.43 |
| Cobre, ppm. | 38 | 208 | 292 | 433 |

^a Todas las dietas incluyeron: Melaza, 15 %; sorgo, 20 %; sal -- mineralizada, 1.5 % (1 kg de la premezcla proveyó, en g. : NaCl, 670 ; Mn, 086; Mg, 040; Zn, 3.80; Fe, 3.80; Cu, 0.30; I, 0.15; Co, 0.32, Se, 0.004; K, 0.012; S, 80).

^b Calculada.

fueron sustituidos de manera progresiva por cerdaza, al incluirla al 15, 30 y 45% de la dieta. Los borregos fueron pesados cada dos semanas previo ayuno de 12 h. Al final de cada período, fue sacrificado al azar un animal por tratamiento para obtener muestras de tejido hepático, renal y muscular (recto abdominal); estas muestras se deshidrataron y prepararon para determinación de cobre de acuerdo a la descripción anterior. Las medias de ganancia de peso y consumo de alimento se ponderaron al número de observaciones y la concentración de cobre en los tejidos se sujetó a un análisis de regresión, con el tiempo como variable independiente.

RESULTADOS

Experimento 1. La ganancia de peso, consumo de proteína y los estimados de calidad proteica en comparación con la caseína, pasta de soya y pasta de girasol se resumen en el Cuadro 5. Como se esperaba el IEP y el IPN ofrecieron resultados similares, aunque la UNP resultó más sensible para medir la calidad de proteína en una prueba de 10 días. La ganancia de peso fue similar ($P > 0.05$) entre tratamientos, excepto por la dieta libre de nitrógeno, lo que refleja en forma directa el consumo de proteína. Los resultados del IEP e IPN mostraron que la calidad proteica de la cerdaza es similar a la de

Cuadro 5. Estimados de la calidad de proteína, experimento 1.

| Criterio de respuesta | Fuente de proteína ^a | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Caseína | Pasta de soya | Pasta de girasol | Cerdaza |
| Ganancia de peso ^b | 39.3 ± 16.8 | 38.6 ± 25.8 | 33.5 ± 10.7 | 26.8 ± 11.5 |
| Consumo de N x 6.25 ^b | 15.4 ± 2.1 | 16.6 ± 2.2 | 17.5 ± 2.6 | 16.9 ± 2.2 |
| I E P | 2.6 ± 1.3 | 2.3 ± 0.5 ^c | 1.9 ± 0.5 ^c | 1.5 ± 0.7 ^c |
| I P N | 2.9 ± 1.2 | 2.6 ± 0.4 ^c | 2.1 ± 0.4 ^c | 1.8 ± 0.6 ^c |
| U N P | 112.7 ± 26.4 | 92.6 ± 26.2 | 60.6 ± 29.5 ^c | 63.5 ± 12.9 ^c |

^a Con la dieta libre de N; pérdida de peso: 4.3 ± 12.8 g/10 días; consumo de N x 6.25: 0.39 ± 0.06 g/10 días.

^b g/10 días.

^c P < 0.05.

Cuadro 6. Respuesta de la adición de DL-Metionina a la cerdaza, experimento 2.

| Fuente de proteína/ DL-Metionina (%) | Pasta de soya 0.66 | Cerdaza | | | | E E M |
|--|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------|
| | | 0.00 | 0.22 | 0.44 | 0.66 | |
| Ganancia de peso ^{ab} | 58.92 ^x | 9.50 ^y | 33.41 ^z | 28.41 ^z | 25.75 ^{yz} | 3.151 |
| Consumo de alimento ^a | 274.22 | 275.52 | 343.00 | 315.50 | 306.70 | 8.390 |
| Consumo de N ^c | 1.60 | 1.50 | 1.93 | 1.72 | 1.50 | 0.058 |
| Digestibilidad del N (%) ^d | 72.10 | 48.50 | 49.00 | 48.90 | 46.10 | 1.203 |
| N urinario ^c | 0.37 | 0.37 | 0.39 | 0.31 | 0.30 | 0.025 |
| Retención de N ^{cd} | 0.76 | 0.36 | 0.55 | 0.53 | 0.40 | 0.044 |
| N retenido como % del digerido ^{cde} | 67.14 ^x | 49.38 ^y | 58.69 ^z | 62.63 ^{xz} | 58.27 ^z | 2.710 |

^a g/21 días

^b Las alimentadas con soya resultaron diferentes (P < 0.01) del promedio de la respuesta de las alimentadas con cerdaza. Dentro de las alimentadas con cerdaza, se obtuvo una respuesta cuadrática (P < 0.01).

^c g/7 días

^d Las alimentadas con soya fueron diferentes (P < 0.05) del promedio de la respuesta obtenida con las alimentadas con cerdaza.

^e Efecto cuadrático (P < 0.05) en respuesta a la adición de DL-Metionina a la cerdaza.

xyz

Medias en la misma línea con diferente literal difieren (P < 0.05).

las pastas de oleaginosas, pero diferente de la caseína (P < 0.05); la UNP resultó en un valor similar de la proteína para la cerdaza y pasta de girasol, ambas fueron de inferior (P < 0.05) calidad que la pasta de soya y la caseína.

Experimento 2. Después de la prueba de crecimiento de 21 días, las ratas alimentadas con la dieta formulada con pasta de soya ganaron más peso (P < 0.01) que aquellas alimentadas con cerdaza (Cuadro 6). Sin embargo, dentro de las dietas con

cerdaza, la adición progresiva de DL-metionina resultó en un efecto cuadrático ($P < 0.01$), que se observa con una inflexión aparente a, o después del nivel de 0.22% del DL-aminoácido. Esta respuesta confirma la hipótesis de que aminoácidos azufrados son el primer limitante en la calidad de la proteína de la cerdaza al alimentarse a ratas en crecimiento. Mientras que se obtuvieron diferencias en ganancia de peso, no se obtuvo respuesta en el consumo diario de alimento ($P > 0.05$).

El balance de nitrógeno (Cuadro 6), reveló que el mayor factor asociado con la pobre utilización de la cerdaza radica en la digestibilidad del nitrógeno que mostró ser de casi el 48%, mucho más baja que la de la pasta de soya ($P < 0.05$). La digestibilidad del nitrógeno contribuyó de manera predominante para obtener la diferencia ($P < 0.05$) observada en retención de nitrógeno entre las ratas alimentadas con pasta de soya y el promedio de las alimentadas con cerdaza. Sin embargo, cuando la retención de nitrógeno se expresó en función del nitrógeno digerido, resultó que la eficiencia de utilización entre la dieta control y aquellas de cerdaza adicionada con 0.44% de DL-metionina fue similar ($P > 0.05$). La adición del aminoácido resultó en un efecto cuadrático ($P < 0.05$), dentro de las dietas con cerdaza, evidente después del primer nivel de adición de DL-metionina, la respuesta fue similar a la obtenida en ganancia de peso.

Experimento 3. Después de 30 días de exposición a las dietas experimentales, el consumo de cobre a partir de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ a 232, 453 y 750 ppm disminuyó ($P < 0.05$) la ganancia y el consumo de alimento al alcanzar niveles tóxicos el consumo del elemento, detectado también por la progresiva acumulación de cobre en el hígado (Cuadro 7). La ganancia de peso de las

ratas alimentadas con cerdaza fue similar ($P > 0.05$) entre tratamientos, excepto en aquellas ratas alimentadas con 4% de cerdaza, que ganaron menos ($P < 0.05$); el consumo de alimento no se alteró ($P > 0.05$) y aunque el consumo de cobre se incrementó ($P < 0.05$) proporcional al aumento de concentración de cerdaza en la ración, no se alcanzaron niveles tóxicos de consumo; a pesar de ello, en el planteamiento teórico, la acumulación de cobre en el hígado, de ser este disponible, se debió haber incrementado en forma lineal, hecho que no sucedió, al permanecer constante ($P > 0.05$) el cobre hepático en alrededor de 18.32 ppm de la materia seca del tejido, lo que fue similar ($P > 0.05$) a lo observado en el control sin la adición de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Resultados similares fueron observados después de 60 días de exposición, pero los efectos se pronunciaron por el depósito acumulativo de cobre; como sucedió después de 30 días, el cobre hepático en las ratas alimentadas con cerdaza, independiente del consumo total de cobre, fue similar ($P > 0.05$) al obtenido en hígado de ratas alimentadas con la dieta a la que no se le adicionó $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

En ambos períodos experimentales, la concentración de cobre en el hígado resultó en una tendencia lineal ($P < 0.05$) en respuesta a la adición de sulfato de cobre y aunque con las dietas con cerdaza se obtuvieron tendencias similares ($P > 0.05$), la pendiente de la línea fue de mucho menor magnitud (Figura 1), mientras que después de 60 días, aunque la superficie de respuesta fue lineal ($P < 0.05$), la pendiente en este caso fue negativa (Figura 2) ante la adición de cobre a partir de cerdaza. Con el método de relación de pendientes, la disponibilidad aparente del cobre fue calculada (en referencia a la del sulfato de cobre)

Cuadro 7. Respuesta a la adición de cobre a partir de sulfato o de cerdaza, experimento 3.^a

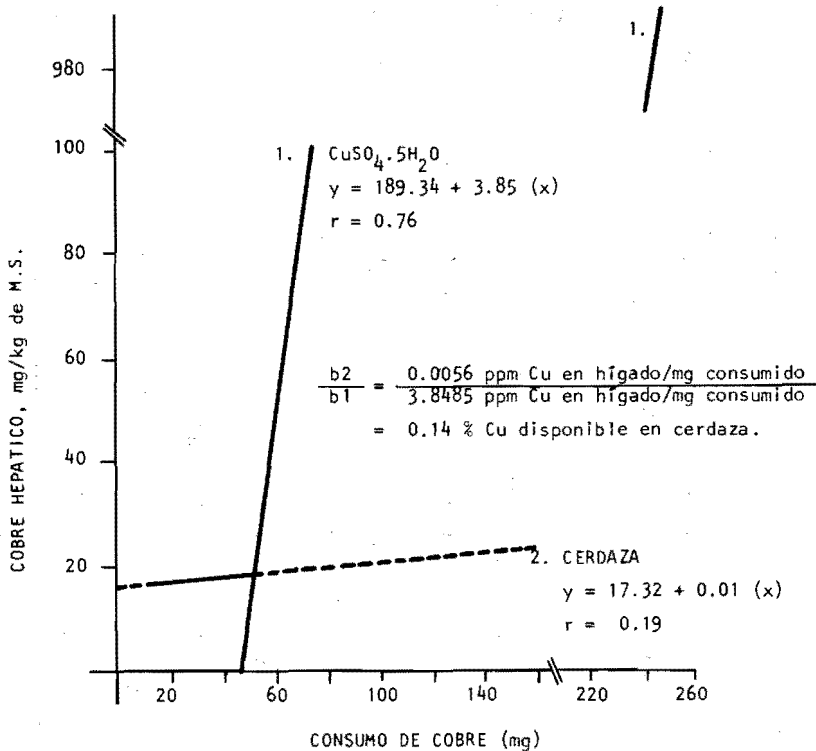
| | CuSO ₄ ·5H ₂ O, % | | | | CERDAZA, % | | | | E E M |
|-------------------------------|---|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------|
| | 0.00 | 0.08 | 0.16 | 0.24 | 4.00 | 8.00 | 12.00 | 16.00 | |
| RESULTADOS DESPUES DE 30 DIAS | | | | | | | | | |
| Ganancia de peso, g. | 104.0 ^b | 92.2 ^c | 89.4 ^c | 75.6 ^d | 72.9 ^d | 86.4 ^c | 85.3 ^c | 88.3 ^c | 1.32 |
| Consumo de alimento, g. | 363.0 ^b | 338.7 ^c | 337.5 ^c | 330.3 ^{cd} | 319.9 ^{cd} | 325.1 ^{cd} | 318.4 ^d | 328.4 ^{cd} | 2.83 |
| Consumo de Cu, mg. | 5.8 ^b | 78.6 ^c | 152.9 ^d | 247.7 ^e | 8.0 ^b | 15.3 ^b | 23.5 ^b | 32.0 ^{bc} | 2.12 |
| Cu hepático mg/kg de M.S. | 11.5 ^b | 27.8 ^b | 89.4 ^b | 980.0 ^c | 17.1 ^b | 18.6 ^b | 20.1 ^b | 17.5 ^b | 30.36 |
| RESULTADOS DESPUES DE 60 DIAS | | | | | | | | | |
| Ganancia de peso, g. | 150.8 ^b | 132.4 ^c | 122.1 ^d | 96.9 ^e | 98.9 ^{ef} | 122.8 ^d | 121.9 ^d | 104.6 ^f | 3.39 |
| Consumo de alimento, g. | 756.6 ^b | 708.6 ^b | 708.1 ^b | 645.1 ^b | 716.9 ^b | 660.3 ^b | 658.9 ^b | 692.1 ^b | 9.49 |
| Consumo de Cu, mg. | 12.1 ^b | 164.4 ^c | 320.8 ^d | 483.9 ^e | 17.9 ^b | 31.0 ^b | 48.5 ^b | 67.1 ^{bc} | 6.29 |
| Cu hepático mg/kg de M.S. | 28.0 ^b | 36.8 ^b | 294.5 ^c | 1595.0 ^d | 26.5 ^b | 48.1 ^b | 26.1 ^b | 25.8 ^b | 31.78 |

^a Los resultados se expresan como las medias por animal por periodo.

b,c,d,e,f,

Medias en la misma línea con diferente lateral difieren (P<0.05).

FIGURA 1. CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DEL COBRE DE LA CERDAZA POR LA RELACION DE LAS PENDIENTES DE CONCENTRACION HEPATICA EN FUNCION DEL CONSUMO (30 DIAS, EXP. 3).



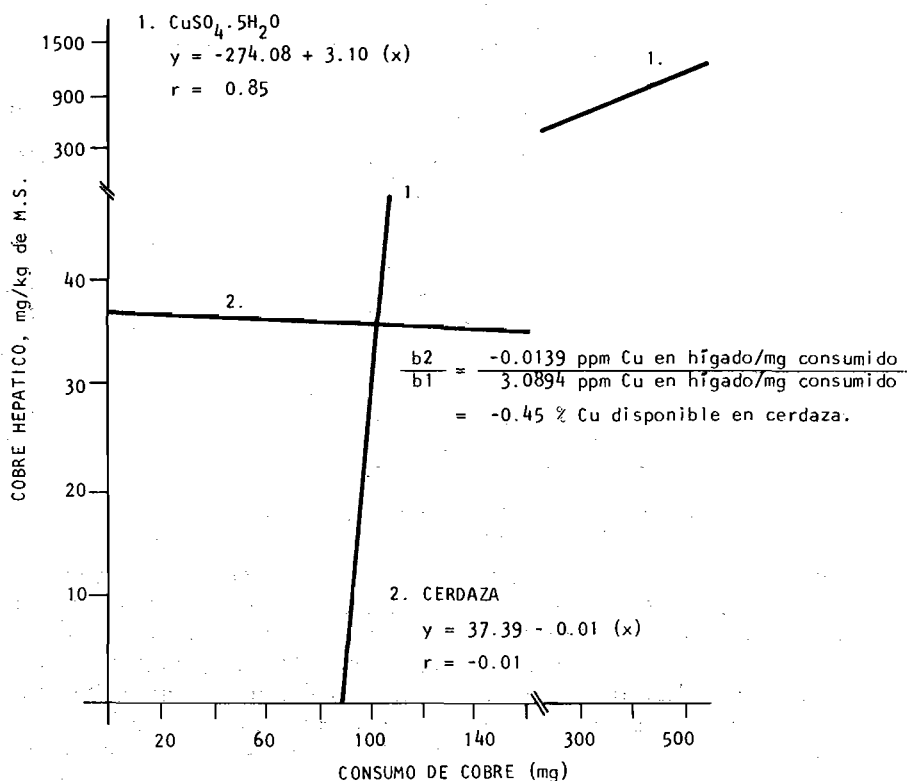
como del 0.14% para los primeros 30 días y de 0.45% para el período completo de 60 días (Figuras 1 y 2). Por lo tanto, si se asume que la disponibilidad del cobre en $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ es menor al 95%, la disponibilidad del cobre en la cerdaza puede ser considerada como de cero.

Experimento 4. En este experimento con borregos, después de 70 días, las medias ponderadas para la ganancia diaria de peso fueron: 193,220, 150 y 75g para los niveles de incorporación de 0, 15, 30 y 45% de cerdaza a la dieta en forma respectiva; las conversiones alimenticias respectivas fueron de: 9.09; 10.50; 12.10 y 25.3. Estos datos no fueron sujetos a un análisis de varianza ya que el número de animales

fue alterado cada 14 días por el sacrificio, lo que provocó una pérdida de homogeneidad de las varianzas e imposibilitó el análisis.

Las ecuaciones de regresión lineal, para la acumulación de cobre en el hígado, riñón y músculo de los borregos después de 70 días, fueron obtenidas después del análisis por duplicado de las muestras extraídas de un animal cada dos semanas. Estas ecuaciones se reproducen en el Cuadro 8. Como se esperaba, el hígado resultó con mayor concentración de cobre, que por razones metabólicas fue el órgano que mejor describió la respuesta. La comparación de las pendientes, muestra que no hay una definida acumulación progresiva de cobre en el hígado

FIGURA 2. CALCULO DE LA DISPONIBILIDAD DEL COBRE DE LA CERDAZA POR LA RELACION DE LAS PENDIENTES DE CONCENTRACION HEPATICA EN FUNCION DEL CONSUMO (60 DIAS, EXP. 3).



en respuesta a su consumo a partir de la cerdaza, que tienda a confirmar la observación de una muy baja o nula disponibilidad del elemento en las excretas. Durante el período experimental, el comportamiento de los animales fue normal y no se observaron signos que pudiesen sugerir intoxicación, la aceptación de las dietas en general fue buena.

DISCUSION

Los resultados de los experimentos 1 y 2 confirman que la cerdaza tiene valor como suplemento proteico, ya que, aunque se estime sólo un 70% de proteína verdadera, esta resulta de

mediana calidad (i.e., similar a la de la pasta de girasol). Si se asume que de la proteína en heces, entre el 50 y el 70% es proteína alimentaria no digerida por el animal, es lógica la obtención de un bajo coeficiente de digestibilidad (48.1%), ya que no es de esperarse que las porciones indigestibles de alimento sean desdobladas por un "segundo paso" gastrointestinal.

Sin embargo, si se considera que hasta el 50% de la proteína en las excretas es de origen metabólico y endógeno, es de suponer que la calidad de la proteína digerida, ante el reciclaje de las excretas, sea buena, como lo confirma la retención de nitrógeno en función del nitrógeno digerido (Cuadro

Cuadro 8. Ecuaciones de regresión para la acumulación de cobre en los tejidos de ovinos en función del tiempo y en respuesta al nivel de cerdaza en la ración, experimento 4.

| Concentración de cerdaza en la dieta, % | Ecuación de regresión ^a | r |
|---|------------------------------------|-------|
| Hígado | | |
| 0 | $Y = 286.6 + 6.54 (x)$ | 0.619 |
| 15 | $Y = 106.2 + 14.51(x)$ | 0.902 |
| 30 | $Y = 250.1 + 9.23 (x)$ | 0.556 |
| 45 | $Y = 377.0 + 4.21 (x)$ | 0.690 |
| Riñón | | |
| 0 | $Y = 16.4 + 0.26 (x)$ | 0.672 |
| 15 | $Y = 24.0 + 0.11 (x)$ | 0.128 |
| 30 | $Y = 20.6 + 0.04 (x)$ | 0.133 |
| 45 | $Y = 8.3 + 0.20 (x)$ | 0.878 |
| Músculo | | |
| 0 | $Y = 3.2 + 0.24 (x)$ | 0.678 |
| 15 | $Y = 1.3 + 0.47 (x)$ | 0.791 |
| 30 | $Y = 8.3 + 0.23 (x)$ | 0.495 |
| 45 | $Y = 3.8 + 0.10 (x)$ | 0.671 |

^a

Las ecuaciones son el resultado de análisis por duplicado de los tejidos obtenidos de un animal cada dos semanas en un período total de 70 días.

6). En cuanto al perfil de aminoácidos de la cerdaza, podría esperarse que este variara al cambiar la dieta de los cerdos de origen; otros autores (Harmon y col., 1969 y Kornegay y col., 1977) han mencionado la posibilidad de que la composición de la dieta de los cerdos sea el factor determinante para definir el perfil de aminoácidos de la cerdaza, en concreto, Harmon y col., (1969), demostraron que cerdos alimentados con cerdaza (obtenida de dques de oxidación aeróbica) respondieron a la adición de lisina y triptófano (los aminoácidos limitantes en una dieta maíz-pasta de soya, que fue ofrecida a los animales, tanto de origen de la cerdaza, como la base a la que sustituyó a la misma), lo que en apariencia se contraponen a nuestros resultados (experimento 2), pero si consideramos un origen diferente de la cerdaza, dado el procesamiento, y que la cerdaza (de baja digestibilidad) sustituyó en forma isoprotéica al maíz y la soya, es factible que se haya

creado una deficiencia, no sólo de los aminoácidos, sino también de nitrógeno no esencial, lo que resultó en la respuesta a lisina y triptófano, reflejó entonces el perfil de aminoácidos de la dieta ofrecida (que incluyó cerdaza) y no la composición primaria de la proteína de la cerdaza. Kornegay y col., (1977), al trabajar también con cerdos obtuvo una respuesta similar a la nuestra en el balance de nitrógeno y sugiere que dada la presencia de proteína bacteriana, podría esperarse una deficiencia de aminoácidos azufrados, aunque no fue verificado. En nuestro caso, al trabajar con ratas, cuyo requerimiento por aminoácidos azufrados es en proporción más alto que en cerdos, se observó una clara respuesta a la adición de metionina, lo que confirma la sugerencia de los autores citados ya que, al mantenerse las dietas isoprotéicas, con un ligero excedente de la proteína en relación a lo requerido, no se hubiese observado respuesta a la adición de DL-metionina,

de no haber sido aminoácidos azufrados la primera limitante en la utilización metabólica de la proteína. Más aún, al considerar la digestibilidad y que el nivel de DL-metionina que optimizó la respuesta equivalió al 33% del necesario con soya, parece confirmarse la observación de que, por calificación química, el perfil de aminoácidos de la cerdaza es similar al de la pasta de soya (Guerrero y col., 1985).

Con lo anterior y al considerar el contenido de nitrógeno no proteico y la baja digestibilidad, la cerdaza resultará de mayor utilidad en la alimentación de animales rumiantes, pero deberá ponerse atención al potencial de sobrepaso (del rumen) de la porción digestible de la proteína para no desperdiciar la riqueza en el contenido de aminoácidos, de usarse así, entonces la suplementación con metionina será relevante.

Tanto en los experimentos con ratas, como en aquél con ovinos, se observó una depresión en la ganancia de peso ante la inclusión de cerdaza en la ración a niveles mayores del 15% de la dieta. Esto se debe en gran medida a la baja digestibilidad de las excretas, pero de acuerdo con Kornegay y col., (1977) y Hendrosoekarjo y Pearce (1978) quizá el mayor efecto detrimental ante la inclusión de las excretas en la dieta resulta de su pobre valor energético, mismo que a pesar de que no fue evaluado no debe ser superior al de un forraje de mala calidad. Por otro lado, aunque se sospeche de otros factores detrimentales de carácter tóxico, estos parecen tener mucho menor importancia, ya que al revisar la toxicidad por cobre (experimentos 3 y 4), los resultados mostraron la baja o nula disponibilidad del elemento, lo que previene la intoxicación. Al respecto, conviene mencionar que otros componentes con potencial tóxico no han sido revisados y quizá en progra-

mas de alimentación a largo plazo pueden resultar bastante detrimentales, pero dada la relevancia del cobre, por su concentración, podría especularse que su trascendencia sea secundaria al pobre valor energético, al no ser disponible el cobre.

En relación a la disponibilidad del cobre en la cerdaza, otros autores (Suttle y Price, 1976; Hendrosoekarjo y Pearce, 1978) apuntaron el potencial tóxico y recomendaron limitar el uso de la cerdaza en la alimentación, aún cuando no observaron ningún signo de toxicidad y aunque la acumulación de cobre en el hígado, en respuesta a la alimentación con cerdaza, no siguió un patrón definido, e.g., la acumulación no tuvo significancia estadística por la natural variación existente entre individuos y en los tratamientos con los niveles más altos de cerdaza, la concentración promedio de cobre en hígado, resultó similar a la de una dieta control sin cerdaza o niveles elevados de cobre, entonces se sugirió que la forma predominante de cobre en las heces de cerdo es como óxido, cuya disponibilidad de hecho es nula (Prince y col. 1975, Cromwell y col., 1983), lo que coincide con nuestra afirmación a partir de los resultados del experimento 3, de que el cobre en la cerdaza no es disponible, observaciones similares fueron hechas en pollos en crecimiento por Edmonds y col., (1985). Si bien es cierto que los niveles de consumo de cobre a partir de la cerdaza en el experimento 3, no alcanzaron los niveles obtenidos con las dietas adicionadas con $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (y por lo tanto niveles tóxicos), también es cierto que, de ser disponible el cobre, hubiese sido suficiente para observar un incremento en el depósito en tejido hepático; con el empleo de esos niveles se se aseguró una respuesta lineal, dentro del rango de concentración previsto para la curva patrón, lo que resulta

determinante para la validez del método de relación de pendientes. Sin embargo, al incluir la cerdaza en dietas para borregos, se alcanzaron concentraciones de cobre con potencial tóxico desde el nivel de adición del 15%.

Ambos trabajos, con ovinos y ratas, mostraron gran variación en contenido de cobre en hígado, esto en ovinos obedece a la marcada susceptibilidad a acumular el elemento, dada una limitada capacidad de remoción (Gopinaty y Howell, 1975; NRC, 1980; Bostwick, 1982). En otros tejidos (riñón y músculo), se observó una menor concentración y respuesta al cobre, en principio porque el hígado opera como "filtro" del metal (NRC, 1980). Las ecuaciones de regresión para la acumulación de cobre en hígado, músculo y riñón nos muestran que desde el inicio (cuando los borregos consumían una dieta baja en cobre:16 ppm), y sin que tuviesen los animales antecedentes de exposición, los niveles del elemento en ellos fueron altos y se incrementaron con el tiempo, este aumento, definido por la pendiente de la ecuación, no tuvo una relación directa con el consumo de cobre a partir de cerdaza, lo que confirma las observaciones que sobre disponibilidad se hicieron ante los resultados del experimento 3, coincide también con lo encontrado por Price y col., (1975) y Edmonds y col., (1985). En suma, si se resta la digestibilidad, la cerdaza tiene un atractivo potencial como suplemento protéico; la casi nula disponibilidad del cobre elimina el peligro de toxicidad y su mayor limitante aparente es el valor energético como ingrediente alimenticio. En trabajos subsecuentes se deberá establecer con mayor claridad, el valor de energía digestible y los niveles óptimos de inclusión.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la desinteresada colaboración del Dr. Marcelo Pérez Domínguez, quien nos facilitó el uso de su equipo de laboratorio; al I.Q. Enrique Vera su asesoría en la operación del equipo de espectrofotometría atómica y al M.Sc. Víctor Monroy sus valiosas observaciones para el diseño y ejecución del trabajo.

SUMMARY

To evaluate protein quality and Cu availability in dried swine faeces (DSF) four experiments were conducted. In all cases, feces were obtained from growing pigs (35-57 kg) fed conventional diets, added with 1 kg/t of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ as a growth promoter. Being DSF the sole source of protein in two experiments with rats, it was concluded that protein quality is similar to that of sunflower seed meal ($P > 0.05$), but inferior to soybean meal or casein ($P < 0.05$). Methionine was found as the first limiting amino acid, concluding that the addition of 2.2% (of the DSF protein) DL-methionine was required to maximize the rats response. In the last two experiments, Cu availability was reviewed. Feces has a Cu content of 500 to 1200 ppm, and a slope ratio assay with rats, in which $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ was the standard and Cu in liver the dependent variable, the results showed an availability not higher than 0.14%; when verified with lambs, fed up to 433 ppm of Cu from DSF for 70 days, no evidence of toxicity was found, nor Cu accumulation in liver, kidney or muscle. The main problem of DSF as feed rests on its low digestibility (48%) and poor energy content.

LITERATURA CITADA

- BOSTWICK, J.L., 1982. Copper toxicosis in sheep. *J. Am. Vet. Ass.* 108:386.
- CROMWELL, G.L., HAYS, V.W. and CLARK, T.L., 1978. Effect of copper sulfate, copper sulfide and sodium sulfide on performance and copper stores in pigs. *J. Anim. Sci.*, 46:692.
- CROMWELL, G.L., STAHLY, T.S. and MONEQUE, H.J., 1983. High levels of copper as

- growth stimulant in starter diets for weanling pigs. Univ. of Kentucky. **Swine Res. Rept. P.R.** 274:14.
- DALTON, E.F., and MALANOSKI, A.J., 1969. Analysis of meat and meat products. **J. Asc. Off. Anal. Chem.** 52:1035.
- DELGARNO, A.C. and MILIS, C.F., 1975. Retention by sheep of copper from aerobic digests of fecal slurry. **J. Agric. Sci. Cam.** 85:11.
- EDMONDS, H.S., IZQUIERDO, O. and BAKER, D.H., 1985. Dried swine feces utilization in chicks. **Swine Res. Repts.**, University of Illinois, Dept. of An. Sci.
- FONTENOT, J.P., WEBB, J., LIBKE, K.G. and BUEHLER, R.J., 1971. Performance and health of ewes fed broiler litter. **J. Anim. Sci.**, 33:183.
- GOPINATH, C. and HOWELL, J.M., 1975. Experimental chronic copper toxicity in sheep. Changes that follow the cessation of dosing at the onset of haemolysis. **Res. Vet. Sci.** 19:35.
- GUERRERO, A.F., CUARON, J.A. y MONROY, A.V., 1985. Utilización del nitrógeno aportado por la cerdaza como alimento. Memorias de la Reunión de Investigación Pecuaria en México, (resumen) INIFAP-SARH-UNAM. p. 162.
- HARMON, B.G., JENSEN, A.H., and BAKER, D.H., 1969. Nutritive value of oxidation ditch residue. **J. Anim. Sci.** 29:136.
- HENDROSOEKARJO, S., and PEARCE, G.R., 1978. Utilization by sheep of dried pig faeces containing a high concentration of copper. **Anim. Feed Sci., Technol.** 3:31.
- HILLIARD, E.F., BEARD, J. and PEARCE, G.R., 1979. Utilization of piggery waste. I. The chemical composition and *in vitro* organic matter digestibility of pig faeces from commercial piggeries in south-eastern Australia. **Agr. and Environment**, 14:171.
- JANSEN, R.G., 1978. Biological evaluation of protein quality. **Food Tech.** 32:52.
- KORNEGAY, E.T., HOLLAND, M.R., WEBB, K.E., BORARD, K.P., and HEDGES, J.D., 1977. Nutrient characterization of swine fecal waste and utilization of these nutrients by swine. **J. Anim. Sci.** 44:608.
- MONROY, A.V., 1983. Utilización del cobre como aditivo en la industria porcina, Simp. "Avances en la nutrición del cerdo" Asc. Mex. Vet. Esp. en Cerdos, México, D.F.
- NGIAN, N.F. and THIRUCHELVAM, S., 1979. A nutritional evaluation of dried pig faeces. Proc. Anim. Waste Mngmt. and Utilization Proj. at Singapore.
- N.R.C., 1972. Nutrient requirements of laboratory animals, No. 10, 2nd. rev. ed. National Academy of Sci., National Res. Council, Washington, D.C.
- N.R.C., 1975. Nutrient requirements of domestic animals. No. 5 Nutrient requirements of sheep. 5th. rev. ed. National Academy of Sci., National Res. Council, Washington, D.C.
- N.R.C., 1979. Nutrient requirements of domestic animals. No. 9. Nutrient requirements of swine. 7th. rev. ed. National Academy of Sci. National Res. Council, Washington, D.C.
- N.R.C., 1980. Mineral tolerance of domestic animals. National Academy of Sciences. National Res. Council, Washington, D.C.
- PRICE, T.J., HAYS, V.W., and COMWELL, G.L., 1975. Environmental effects of high copper pig manure on pastures for sheep. **J. Anim. Sci.** 41:326 (abstract).
- SCHNEIDER, B.H. and FLATT, W.P., 1975. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia. **Press. Athens.**
- SOTELO, L.A. and LUCAS, B., 1978. Determination of net protein utilization using whole carcass, hind leg of liver of the rat and it's relationship with protein efficiency ratio determination. **J. Nutr.** 108:61.
- STEEL, R.G.D., TORRIE, J.H., 1980. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. Ind ed. Student. Ed., **McGraw-Hill Book Co.**, Tokyo, Japon.
- SUTTLE, N.F., 1975. Effects of organic and inorganic sulfur on the availability of dietary copper to sheep. **Br. J. Nutr.** 32:559.
- SUTTLE, N.F. and PRICE, G.R., 1976. The potencial toxicity of copper rich animal excreta to sheep. **Anim. Prod.** 23:233.
- TEJADA, I., 1983. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal, 1ª ed. PAIEPEME, A.C., Méx. D.F.