

NECESIDADES Y UTILIZACIÓN DEL TRIPTÓFANO EN ANIMALES MONOGÁSTRICOS

A.J.M. Jansman
ID TNO Animal Nutrition, The Netherlands

1.- INTRODUCCIÓN

El triptófano es un aminoácido esencial para animales monogástricos. Esto significa que la dieta es la única vía para suministrar triptófano a estos animales. Este trabajo es un resumen del papel del triptófano en la nutrición y alimentación, haciendo énfasis en ganado porcino, con algunas referencias a pollos y ponedoras. El triptófano es necesario para la síntesis y retención de proteína corporal, pero además es un precursor de algunos metabolitos importantes que pueden afectar a la regulación del consumo de alimentos y al comportamiento.

2.- EL TRIPTÓFANO COMO NUTRIENTE NECESARIO PARA LA SÍNTESIS DE PROTEÍNA

El triptófano es un aminoácido esencial junto con la lisina, metionina y treonina, y es posiblemente limitante en algunas circunstancias prácticas en dietas para lechones y cerdos en crecimiento-cebo. Al igual que los otros aminoácidos esenciales, el triptófano es un nutriente importante para la síntesis de proteína corporal. Cuando su suministro en la dieta es limitante en relación a otros aminoácidos esenciales, la síntesis proteica, la ganancia de peso y la eficacia alimenticia se reducen.

Para la formulación de piensos es esencial equilibrar el aporte de aminoácidos vía dieta con las necesidades para una producción máxima u óptima, desde una perspectiva técnica o económica.

3.- SUMINISTRO DE TRIPTÓFANO EN LA DIETA

El suministro de aminoácidos al animal en la dieta depende de la composición y digestibilidad de los ingredientes que la componen. En el pasado, las dietas se formulaban utilizando como unidad aminoácidos brutos; más tarde en aminoácidos digestibles en el total del tracto digestivo y más recientemente en aminoácidos digestibles en íleon. Tal como se muestra en el cuadro 1, los ingredientes alimenticios varían ampliamente tanto en su contenido en proteína como en el de aminoácidos. La concentración de lisina y triptófano sobre proteína bruta oscila entre 1,7 y 7,6% y entre 0,7 y 1,4%, respectivamente. La relación triptófano a lisina varía entre un 13 y un 43%.

Cuadro 1.- Contenido en proteína y aminoácidos de algunos alimentos (CVB, 1999)

	PB (g/kg)	Lys en PB (%)	Trp en PB (%)	Trp:Lys (%)
Maíz	85	2,9	0,7	24
Cebada	107	3,6	1,2	33
Trigo	111	2,8	1,2	43
Gluten maíz	595	1,7	0,5	29
Salvado trigo	154	4,0	1,4	35
Harina soja	425	6,2	1,3	21
Guisantes	227	7,1	0,9	13
Harina pescado	706	7,6	1,1	14

Por otra parte, la proteína y aminoácidos de los alimentos sólo son disponibles parcialmente para el animal, ya que parte se pierde en las heces. Además, la proteína y aminoácidos que aparentemente se absorben en el ciego e intestino grueso son principalmente fermentados por la microflora, resultando la formación de amoníaco y proteína microbiana como principales compuestos nitrogenados. Estos sin embargo no contribuyen al pool de aminoácidos disponibles para la síntesis proteica del animal. La hidrólisis de proteína y la subsiguiente absorción de aminoácidos y péptidos tiene lugar sobre todo en el intestino delgado, como resultado de la actuación de enzimas digestivas producidas por el huésped. Por esta razón, los sistemas actuales de valoración de aminoácidos están basados en su digestibilidad ileal (proporción que desaparece antes del íleon terminal). Varias técnicas de canulación han sido utilizadas para recoger el flujo de digesta ileal y determinar así la digestibilidad ileal aparente en cerdos.

El término aparente se corresponde con el hecho de que una parte significativa del flujo de proteína y aminoácidos en heces y en íleon no procede directamente del alimento. Esa fracción se denomina endógena y consiste de proteínas salivares, de las secreciones gástrica, pancreática e intestinal, bilis, descamación de células epiteliales y de proteína microbiana resultante de la fermentación de otros constituyentes endógenos. La proteína endógena puede dividirse en **basal**, o inevitable, que sólo depende del consumo de materia seca y **específica**, que es inducida por la presencia de determinados componentes en la dieta (inhibidores de tripsina, lectinas, taninos condensados, fibra) que incrementan el flujo de proteína endógena

en el íleon terminal. En el cuadro 2 se presentan algunos valores de digestibilidad ileal aparente de lisina y triptófano, junto a su contenido en algunos alimentos. Como puede apreciarse, hay una amplia variación entre alimentos y entre aminoácidos dentro de alimentos.

Cuadro 2.- Digestibilidad ileal aparente de lisina y triptófano en algunos alimentos (CVB, 1999).

	Lys (%)	Trp (%)	Lys dig. il. (g/kg)	Trp dig. il.(g/kg)
Maíz	62	55	2,5	0,6 (24)
Cebada	67	68	2,6	0,9 (35)
Trigo	73	78	2,3	1,0 (43)
Gluten maíz	84	82	8,5	2,4 (28)
Salvado trigo	73	76	4,5	1,6 (36)
Harina soja	86	84	22,7	4,6 (20)
Guisantes	79	64	16,1	2,0 (43)
Harina pescado	89	85	47,7	6,6 (14)

Recientemente se ha introducido un nuevo concepto denominado digestibilidad ileal estandarizada que se corresponde con una digestibilidad ileal aparente corregida por el flujo endógeno basal de proteína y aminoácidos:

$$CD_{st} AA (\%) = CD_{ap} AA (\%) + [AA \text{ endóg. basal (g/kg)/AA en alimento (g/kg)} \times 100\%]$$

Donde: $CD_{st} AA$ = coeficiente digestibilidad estandarizado (%)

$CD_{ap} AA$ = coeficiente digestibilidad aparente (%)

Según esta definición, los valores de digestibilidad estandarizada son siempre superiores a las digestibilidades aparentes. La composición estándar del flujo basal endógeno adoptada en Holanda se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3.- Composición en aminoácidos de la proteína endógena basal en cerdos (CVB, 1999).

	g/kg MS ing.	rel. a Lys
PB	11,82	
Lys	0,40	100
Met	0,11	28
Cys	0,21	52 (M + C 80)
Thr	0,61	152
Trp	0,14	35

La introducción de estos valores de digestibilidad estandarizada se justifica por las discrepancias metodológicas en ensayos de digestibilidad en los que los valores de digestibilidad aparente de las dietas experimentales se declaraban idénticas a los del alimento estudiado. Los valores de digestibilidad estandarizada son independientes del nivel de

inclusión del alimento estudiado y del contenido en proteína y aminoácidos de éste, lo que no ocurre en el caso de la digestibilidad aparente, cuando se usa el método directo. En el método directo la única fuente de proteína en la dieta experimental es la del alimento estudiado. Además, el uso de digestibilidad estandarizada permite calcular de forma más precisa la digestibilidad ileal aparente de una determinada partida de alimento que se desvíe en cuanto a su contenido en proteína y aminoácidos de los valores medios o tabulados.

4.- NECESIDADES DE TRIPTÓFANO EN CERDOS

En las pasadas décadas se han realizado numerosos trabajos sobre necesidades de aminoácidos en ganado porcino, incluyendo el triptófano. En la mayoría de los casos se trata de ensayos dosis/respuesta en los que una dieta deficitaria se suplementa con niveles crecientes de triptófano libre. Generalmente se utilizan rendimientos productivos (consumo, ganancia de peso, eficacia alimenticia) como criterio de respuesta. El análisis estadístico de los resultados (no lineal, exponencial o línea quebrada) proporciona las necesidades del aminoácido estudiado. El uso del modelo en línea quebrada tiende a subestimar el valor real de las necesidades, con respecto a los modelos exponenciales. Cuando se usan estos últimos, las necesidades suelen establecerse al 95% del efecto máximo conseguido en ganancia o eficacia. Un ejemplo de estudio de necesidades de triptófano se muestra en el cuadro 4 y un resumen de necesidades del NRC (1998) en el cuadro 5.

Puede observarse que existen notables variaciones entre ensayos, lo que puede deberse a diferencias en edad y genotipo de los animales, sexo, contenido en otros aminoácidos, modelo estadístico utilizado y unidad de expresión de las necesidades (total, digestible fecal, digestible ileal, aparente o estandarizada). De los datos del NRC puede deducirse que las necesidades de triptófano, expresadas en g/kg dieta, disminuyen desde 1,6-2,3 en lechones hasta 0,9-1,5 en cerdos en crecimiento y cebo.

En los Países Bajos, las necesidades se expresan en aminoácidos digestibles aparentes en íleon. Los valores adoptados para lisina, metionina+cistina, treonina y triptófano, se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 4.- Efecto del nivel de triptófano en la dieta sobre los rendimientos de lechones de 20 a 40 kg (Schutte et al., 1995).

	Trp dig. il. (g/kg)	Ganancia (g/d)	IC	Ingestión (g/d)
I	1,32	683 ^a	1,981 ^b	1353
II	1,47	703 ^{ab}	1,928 ^{ab}	1355
III	1,62	716 ^{ab}	1,920 ^{ab}	1375
IV	1,77	741 ^b	1,909 ^a	1415
V	1,92	727 ^{ab}	1,909 ^a	1388
LSD		47	0,067	

Cuadro 5.- Resumen de estimaciones de necesidades de triptófano en cerdos (NRC, 1998).

Trp (% en dieta)	Rango PV (kg)	Referencia
0,23	5-10	Sève et al. (1991)
0,19	6-16	Burgoon et al. (1992)
0,16	6-22	Borg et al. (1987)
0,16	10-20	Han et al. (1993)
0,23	10-35	Schutte et al. (1988)
0,16	15-40	Henry et al. (1986)
0,18	17-38	Russell et al. (1986)
0,14	20-45	Batterham et al. (1985)
0,13	22-50	Burgoon et al. (1992)
0,17	25-60	Kiener et al. (1988)
0,13	30-45	Lin et al. (1986)
0,17	34-105	Lenis et al. (1990)
0,13	44-99	Henry et al. (1992)
0,09	55-97	Burgoon et al. (1992)
0,17	60-105	Mohn et al. (1994)

Cuadro 6.- Necesidades en aminoácidos en relación a las de lisina de cerdos (CVB, 1999).

	Lys dig. il. ap. (g/kg)	Lys	M + C	Thr	Trp
<i>Lechones</i>					
8-25 kg	1,00	100	60	59	19
<i>Cebo</i>					
25-45 kg	8,9	100	59	58	19
45-70 kg	7,7	100	60	59	19
70-110 kg	6,3	100	61	60	19

En el contexto de la proteína ideal, en el que las necesidades se expresan en relación a la lisina, las de triptófano se establecen en un 19% tanto para lechones como para cerdos en crecimiento y cebo. En términos absolutos, las necesidades de triptófano aparentemente digestible en íleon varían desde 1,9 g/kg en lechones hasta 1,3 g/kg al final del cebo. Cuando las necesidades se expresan en unidades de digestibilidad ileal estandarizada los valores anteriores deben incrementarse en 0,14 g/kg, utilizando los valores holandeses de composición en aminoácidos de la proteína endógena basal. En la bibliografía y en otros sistemas oficiales en distintos países pueden encontrarse variaciones con respecto a estos valores, tanto para las necesidades de aminoácidos como para las de triptófano.

5.- EL PAPEL DEL TRIPTÓFANO EN DIETAS DE BAJO CONTENIDO EN PROTEÍNA. EMISIÓN DE N Y AMONÍACO

El grado en el que el triptófano puede ser limitante en condiciones prácticas depende principalmente de la selección de ingredientes en el pienso, su composición en aminoácidos y su digestibilidad. Además, las restricciones relativas al contenido de proteína en la dieta tienen importancia, como consecuencia de la legislación relativa a la excreción de N al medio por la producción animal. Se han realizado numerosos trabajos para evaluar las posibilidades de reducir el contenido en proteína de las dietas de cerdos en paralelo a la suplementación con aminoácidos libres, incluido el triptófano. Un ejemplo se muestra en los cuadros 7 y 8.

Cuadro 7.- Composición de una dieta normal y otra baja en proteína (g/kg) (Koch et al., 1991).

	160 g/kg PB	125 g/kg PB
Cebada	50	450
Trigo	-	442
Maíz	220	-
Mandioca	249	-
Aceite soja	6	9
Harina soja	190	40
Guisantes	100	-
Hominy feed	100	-
Melazas	50	20
Premix	35	40
Lys	-	1,5
Met	-	0,6
Thr	-	1
Trp	-	0,3

Cuadro 8.- Rendimientos de cerdos en cebo (60-170 kg) recibiendo dietas con 160 ó 125 g PB/kg suplementadas o no con aminoácidos libres (Lys, Met, Thr y Trp) (Koch et al., 1991).

	160 g/kg PB	125 g/kg PB	125 g/kg PB (+ AAI)
Lys dig. il. (g/kg)	7,0	5,5	7,0
M+C dig. Il. (g/kg)	4,5	3,9	4,5
Thr dig. il. (g/kg)	4,6	3,6	4,6
Trp dig. il. (g/kg)	1,4	1,1	1,4
Ganancia (g/d)	959 ^a	885 ^b	962 ^a
IC	2,87	2,89	2,84
Carne magra (%)	51,8 ^{ab}	52,6 ^b	51,4 ^a
Espesor grasa dorsal (mm)	19,9	19,0	20,2

Se observa que en piensos de cebo de cerdos el contenido en proteína puede reducirse desde 160 hasta 125 g/kg mediante la adición de lisina, metionina+cistina, treonina y triptófano libres, sin que resulten afectados los parámetros de crecimiento (Koch et al., 1991). Cuando el pienso no fue suplementado con aminoácidos, los rendimientos de crecimiento empeoraron significativamente. Igualmente, Han et al. (1998) concluyeron que el contenido proteico de piensos de cerdos en los últimos años se ha reducido en paralelo al uso de aminoácidos libres, sin pérdida de rendimientos.

Recientemente, Cahn et al. (1998) han demostrado también la posibilidad de reducir el contenido proteico de la dieta de cerdos en cebo (65-105 kg) desde 165 hasta 125 g/kg mediante el uso de aminoácidos libres, incluido el triptófano, sin efectos negativos sobre los rendimientos (cuadros 9 y 10).

Cuadro 9.- Composición de las dietas experimentales para estudiar el efecto del nivel de PB en la dieta sobre los rendimientos y excreción de N en cerdos (Cahn et al., 1998).

	165 g/kg PB	145 g/kg PB	125 g/kg PB
Cebada	375	375	375
Trigo	375	375	375
Harina soja	163	112	61
Mandioca	7	55	103
L-Lys	1,1	2,8	4,5
DL-Met		0,6	1,2
L-Thr	0,3	1,1	1,9
L-Trp		0,3	0,5
Proteína bruta	165	145	125
Lys dig. il.	7,1	7,1	7,1
Trp dig. il.	1,6	1,6	1,6
Balance electrolítico (meq/kg)	190	190	190

Cuadro 10.- Efecto del nivel de PB sobre los rendimientos de cerdos de 65-100 kg (Cahn et al., 1998).

	165 g/kg PB	145 g/kg PB	125 g/kg PB	P
Ganancia (g/d)	817	817	809	ns
Consumo (g/d)	2249	2245	2257	ns
IC (g/g)	2,75	2,75	2,79	ns
Grasa dorsal (mm)	15,2	15,4	15,9	ns
Carne magra (%)	57,2	57,1	56,7	ns

La composición del estiércol fue significativamente afectada por los tratamientos experimentales, reduciéndose el contenido total de N, el de N amoniacal y el pH (cuadro 11). En un ensayo paralelo de balance se encontró que la excreción de N en la orina se reducía un 45% en la dieta con menor contenido en proteína, mientras que la retención neta de N no varió significativamente entre las dietas (ver cuadro 12). Además, la emisión de amoníaco del estiércol se redujo un 23 y un 40% en las dietas con 145 y 125 g/kg de proteína, respectivamente, con respecto a la dieta con 165 g/kg de proteína (ver cuadro 13).

Cuadro 11.- Composición y pH del estiércol (Cahn et al., 1998)

		g/kg PB			
		165	145	125	P
Materia seca (g/kg)	Ensayo balance	81	74	75	ns
	Ensayo granja	46	43	44	
N total (% MS)	Ensayo balance	11,1	9,6	7,6	***
	Ensayo granja	9,8	8,8	7,2	
N-Amoniacal (% MS)	Ensayo balance	8,8	7,2	5,4	***
	Ensayo granja	6,8	6,1	4,5	
pH	Ensayo balance	9,1	8,7	8,2	***
	Ensayo granja	7,9	7,5	7,2	

ns: no significativo. ***P<0,001.

Cuadro 12.- Efecto del contenido en PB de la dieta sobre el balance nitrogenado (g/d) en cerdos de 65 a 100 kg (Cahn et al., 1998)

	165 g/kg PB	145 g/kg PB	125 g/kg PB	P
N-ingerido	61,5 ^a	54,4 ^b	46,5 ^c	***
N-heces	8,6	8,6	8,3	ns
N-orina	29,3 ^a	23,2 ^b	16,2 ^c	***
N-retenido	23,6	22,6	22,0	ns
N-retenido (% ingerido)	39,1 ^a	42,2 ^a	47,9 ^b	*

ns: no significativo. *P<0.05. ***P<0.001.

Cuadro 13. Efecto del contenido en PB de la dieta sobre la composición del estiércol y la emisión de amoníaco.

	165 g/kg CP	145 g/kg CP	125 g/kg CP	P
N-total (g/kg)	8,95	7,10	5,72	*
N amoniacal (g/kg)	7,07	5,36	4,05	*
PH	9,21	8,76	8,21	*
Emisión amoníaco (mmol/7 d)	297 (100)	229 (77)	179 (60)	*

*P<0,05

Estos resultados indican que el uso de aminoácidos libres, incluido el triptófano, es esencial en piensos de cerdos con bajo contenido en proteína para poder mantener los rendimientos productivos. Además, su uso tiene un gran efecto beneficioso desde el punto de vista de la excreción de N al ambiente.

6.- TRIPTÓFANO E INGESTIÓN DE ALIMENTO

Junto a su función como aminoácido esencial en el metabolismo proteico, el triptófano juega un papel como precursor de la serotonina (un neurotransmisor) y de la hormona melatonina. De esta forma, el triptófano y sus derivados pueden tener efecto sobre el consumo de alimento, el tiempo que los animales están despiertos o dormidos, el comportamiento y la percepción del dolor (Kerr et al., 1999). Una revisión sobre estos aspectos ha sido presentada recientemente por Sève (1999).

El transporte del triptófano a través de las membranas celulares (tanto a nivel intestinal como en el cerebro) compete con el transporte de los aminoácidos neutros de alto peso molecular (LNAA), que incluye los aminoácidos ramificados (BCAA: valina, leucina e isoleucina), la fenilalanina y la tirosina. Como resultado, la relación entre LNAA y triptófano en el plasma tiene influencia en la síntesis de serotonina en el hipotálamo. La serotonina (5-hidroxitriptamina; 5-HT) juega un papel importante en la regulación del consumo de alimento. Pienso ricos en proteína reducen generalmente la disponibilidad de triptófano para la síntesis de serotonina.

Además, se ha encontrado en muchos estudios que dietas deficientes en triptófano resultan en una marcada reducción en el consumo de alimentos. Se ha observado también que el efecto del contenido en proteína de la dieta sobre el consumo y la ganancia de peso es más pronunciado en hembras que en machos castrados (Henry et al., 1992). Henry y Sève (1993) concluyeron que el nivel de triptófano en el pienso debería ser superior al 4% de la suma de los aminoácidos LNAA para prevenir el riesgo de una reducción del consumo.

Un ejemplo ilustrativo de la interrelación entre contenido de proteína y triptófano en el pienso sobre los rendimientos y la concentración de metabolitos del triptófano en el cerebro se muestran en los cuadros 14-16 (Henry et al., 1996).

Cuadro 14.- Contenido en proteína y Trp de los tratamientos experimentales (cerdos 40 kg).

		HP	LP + Trp	HP + Trp
PB (%)	12,9	16,7	12,7	16,7
Trp (%)	0,12	0,12	0,16	0,16
LNAA (%)	3,44	4,13	3,44	4,13
Trp/LNAA	0,035	0,029	0,047	0,039

Cuadro 15.- Efecto del nivel de PB y Trp en la dieta sobre los rendimientos y pH en *Longissimus dorsi* (Henry et al., 1996).

	LP	HP	LP + Trp	HP + Trp	Efecto
Consumo (kg/d)	1,68	1,35	1,78	1,79	T, PB, T x PB
Ganancia (g/d)	567	306	663	680	T, PB, T x PB
Eficacia	0,332	0,224	0,367	0,373	T, PB, T x PB
pH, M. long.1	5,84	5,87	5,98	6,12	T
pH, M. long.1	5,55	5,58	5,60	5,63	T

Cuadro 16.- Efecto del nivel de PB y Trp sobre el contenido en indolaminas (ng/g) en el hipotálamo posterior (Henry et al., 1996).

	LP	HP	LP + Trp	HP + Trp	Efecto
5-HT1	515	494	1113	885	T
5-HIAA	213	169	777	504	T
5-HIAA/5HT	0,435	0,337	0,691	0,541	T, CP

¹Serotonina.

Jansman et al. (2000) han estudiado el efecto de la interacción entre el nivel de aminoácidos ramificados (BCAA) y de triptófano en la dieta sobre los rendimientos productivos de lechones. Se utilizaron dos dietas basales deficitarias en triptófano (1,5 g/kg) y diferente relación triptófano:BCAA y dos niveles de suplementación con triptófano (1,9 y 2,3 g/kg de triptófano digestible aparente en íleon). Los grupos experimentales estudiados fueron:

Grupo	PB (g/kg)	Trp dig.il. (g/kg)	Relación Trp/BCAA (dig. il.)	Relación Trp/LNAA	Trp (rel. a lisina)
I	170	1,5	0,066	0,048	15
II	170	1,9	0,084	0,058	19
III	170	2,3	0,101	0,068	23
IV	200	1,5	0,048	0,034	15
V	200	1,9	0,061	0,041	19
VI	200	2,3	0,073	0,048	23

En todas las dietas, los contenidos en lisina, metionina+cistina y treonina digestible ileal fueron los recomendados por la Dutch Commodity Board for Feedingsutffs (CVB, 1998). Las dietas I, II y III fueron suplementadas con isoleucina y valina para cubrir las necesidades. La composición detallada de las dietas basales se muestra en el cuadro 17.

Cada grupo experimental consistía de 48 lechones agrupados en 6 jaulas de 8 hembras. Los piensos fueron suministrados ad libitum y los animales tenían libre acceso al agua mediante bebedero automático. El período experimental duró 29 días. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 18. Un aumento del nivel de triptófano en la dieta

incrementó significativamente la ganancia de peso y el consumo y disminuyó el índice de conversión ($P < 0,05$). El consumo más alto se obtuvo en el grupo III (950 g/d) y el más bajo en el grupo I (828 g/d). La ganancia de peso osciló desde 508 (grupo I) hasta 613 g/d (grupo III) y el índice de conversión desde 1,637 (grupo IV) hasta 1,550 (grupo III).

Cuadro 17 a.- Composición de las dietas basales I y IV (g/kg).

	Dietas			Dietas	
	I	IV		I	IV
Mandioca	129,2	81,5	Premix ¹	10	10
Maíz	50	530	NaCl	2,2	3,0
Trigo	550	-	Carbonato cálcico	10,3	11,3
Gluten maíz	-	50	Fosfato monocálcico	11,4	11,4
Harina carne	20	20	L-lys HCl	5,7	2,8
Ac. Soja	15	-	DL-met	2,6	1,4
Guisantes	50	100	L-thr	2,3	0,6
Harina soja-47	113	158	L-isoleu	1,2	-
Leche descremada	-	20	L-leu	0,5	-
Suero delactosado	25	-	L-val	1,6	-

¹Premix suministra por kg de dieta: 9.000 IU vitamina A , 1.800 IU vitamina D₃, 40 mg vitamina E, 5 mg riboflavina, 30 mg niacina amida, 12 mg ac. pantoténico, 350 mg cloruro colina, 40 µg vitamina B₁₂, 3 mg vitamina K₃, 50 mg ac. ascórbico, 1 mg ac. fólico, 0,1 mg biotina, 2,5 mg CoSO₄·7H₂O, 0,2 mg Na₂SeO₃·5H₂O, 0,5 mg K, 400 mg FeSO₄·7H₂O, 660 mg CuSO₄·5H₂O, 70 mg MnO₂, 200 mg ZnSO₄·H₂O y 25 mg Flavomicina.

Cuadro 17 b.- Composición de las dietas basales I y IV (g/kg) (Continuación).

Nutrientes	Dieta	
	I	IV
PB	170	200
PB ileal dig.	137	160
Materia seca	871	876
Grasa bruta	34	30
Cenizas	57	56
Fibra bruta	27	27
Energía neta (MJ/kg)	975	975
Calcio	83	83
Fósforo	65	66
Fósforo digestible	37	37
Sodio	15	15
Potasio	78	77
Cloro	27	31

Aminoácidos	Dieta I		Dieta IV	
	Total	Dig. il.	Total	Dig. il.
Lisina	11,5	10,0	11,8	10,0
Metionina	4,2	3,8	4,1	3,6
Met + Cis	7,1	6,1	7,4	6,1
Treonina	7,4	6,0	7,8	6,0
Triptófano	1,9	1,5	1,9	1,5
Isoleucina	7,1	6,0	8,1	6,7
Leucina	11,9	9,9	19,8	17,0
Valina	8,3	6,8	9,5	7,6
Fenilalanina	7,5	6,3	10,0	8,5
Tirosina	5,1	4,2	7,6	6,4
Arginina	9,7	8,5	11,9	10,5
Histidina	4,0	3,4	5,2	4,4
Alanina	7,1	5,5	11,7	9,6
Ac. aspártico	13,7	10,8	18,2	14,8
Ac. glutámico	34,9	31,2	35,8	30,7
Glicina	7,2	5,3	8,3	5,9
Prolina	11,6	9,8	13,5	11,0
Serina	7,8	6,3	9,9	8,1
Trp/BCAA ¹	0,070	0,066	0,051	0,048
Trp/LNAA ²	0,048	0,045	0,034	0,032
Trp/Lys (%)	17	15	16	15

Cuadro 18.- Rendimientos de lechones durante el período experimental (29 d).

Grupo	Trp (dig. il.,g/kg)	Ganancia diaria		IC		Consumo diario	
		G	%	abs.	%	g	%
Dieta con 170 g PB/kg							
I	1,5	508 ^a	100	1,629 ^a	100	828 ^a	100
II	1,9	560 ^b	110,1	1,564 ^b	96,0	875 ^a	105,7
III	2,3	613 ^c	120,6	1,550 ^b	95,1	950 ^b	114,7
Dieta con 200 g PB/kg							
IV	1,5	516 ^a	100	1,637 ^a	100	845 ^a	100
V	1,9	563 ^b	109,1	1,605 ^{ab}	98,0	904 ^b	107,0
VI	2,3	568 ^b	110,0	1,592 ^a	97,3	904 ^b	106,9
LSD (P=0,05)		37		0,034		58	
<i>Significación</i>							
<i>Relación Trp/BCAA</i>		0,29		<0,01		0,99	
<i>Nivel Trp</i>		<0,01		<0,01		<0,01	
<i>Interacción Trp/BCAA x Trp TRP</i>		0,09		0,29		0,15	

^{a,b,c}Valores con superíndices diferentes difieren significativamente (P<0,05).

En las dietas con una relación triptófano/BCAA alta (170 g PB/kg), el consumo y la ganancia aumentaron hasta el nivel más alto de suplementación con triptófano, mientras que cuando la relación era baja (200 g PB/kg) los resultados obtenidos en los grupos V y VI no

difirieron significativamente. El incremento del contenido en triptófano hasta 1,9 g triptófano digestible aparentemente en íleon en ambas series de dietas aumentó los rendimientos productivos. Los resultados también sugieren que un nivel de 2,3 g/kg de triptófano digestible aparentemente en íleon puede no ser suficiente en combinación con una relación triptófano/BCAA elevada.

En el contexto de este experimento puede concluirse que las necesidades de triptófano dependen del contenido en BCAA de la dieta, ya que su efecto sobre el consumo puede reducirse cuando el nivel de BCAA sea alto. Esto podría estar relacionado con el hecho de que un déficit de triptófano en el cerebro, ligado a un exceso de BCAA en la dieta, resulta en una menor concentración de serotonina en el cerebro y en un menor consumo de alimento (Henry y Sève, 1993). El presente trabajo muestra la relación entre nivel de triptófano en la dieta e ingestión en lechones. Cuando un pienso tiene un bajo contenido en proteína y en BCAA (y en LNAA), el consumo puede incrementarse con la suplementación en triptófano, lo que no ocurre cuando el nivel de BCAA (y de LNAA) es elevado. En base a este ensayo pueden deducirse unas relaciones mínimas triptófano/LNAA y triptófano/BCAA de 0,068 y 0,101, respectivamente (sobre valores digestibles aparentemente en íleon), para maximizar el consumo de hembras jóvenes que consumen dietas con bajo nivel de proteína. Estas relaciones son claramente superiores al valor de 0,040 propuesto por Peisker et al. (1998) para la relación óptima triptófano/LNAA.

Puede concluirse de este estudio que el contenido de triptófano en el pienso es un factor importante que determina el consumo y los rendimientos de lechones hembras jóvenes. La relación triptófano/BCAA en la dieta parece ser también importante desde este punto de vista. El consumo se incrementa hasta niveles relativamente altos de triptófano, por encima de los recomendados actualmente, especialmente si el pienso tiene un bajo contenido en BCAA.

7.- TRIPTÓFANO, ESTRÉS Y CALIDAD DE LA CARNE

Junto a los efectos nutritivos del triptófano, se conocen también algunas funciones terapéuticas, generalmente cuando se usa a dosis elevadas, por su relación con el comportamiento de los animales. Este efecto está relacionado con la respuesta al estrés en ganado porcino y avicultura. Así, Adeola y Ball (1992) suministraron dietas que fueron suplementadas o no con 10 g/kg de triptófano en el período de 3-10 días antes del sacrificio. La suplementación aumentó la concentración de serotonina en el cerebro, así como la de otras indol-aminas hipotalámicas y la de catecolaminas. Los autores no observaron cambios en el pH, el color o la estructura de la carne, pero la incidencia de canales PSE se redujo significativamente con la suplementación con triptófano (ver cuadros 19-21). Igualmente, niveles altos de triptófano en el pienso han dado lugar a una disminución de conductas agresivas en pollos (Shea et al., 1990; Shea-Moore et al., 1996).

Cuadro 19.- Efecto de la suplementación con Trp sobre el nivel de Trp en plasma (μ moles/l) y la relación Trp/L NAA (Adeola y Ball, 1992).

	Control	+ 5 g/kgTrp	SE
Trp	51	110	4
Tyr	98	155	9
Phe	89	107	3
Val	276	264	8
Leu	197	234	9
Ile	73	81	2
Trp/LNAA	0,073	0,141	0,005

Cuadro 20.- Efecto de la suplementación con Trp sobre el nivel de indolaminas y catecolaminas en hipotálamo (nmol/g) (Adeola y Ball, 1992).

	Control	+5 g/kg Trp
Indoles		
Triptófano	1,45	1,40
5-Hidroxitriptamina (5-HT)	2,79 ^a	4,02 ^b
5-Hidroxiindoli ácido acético (5-HIAA)	1,66	1,86
Catecoles		
Dopamina	1,71 ^a	3,19 ^b
Norepinefrina	9,14	9,23
Epinefrina	1,16	1,46
Dihidroxifenil ácido acético	0,98 ^a	1,50 ^b
Acido homovanílico	2,13 ^a	3,08 ^b

Cuadro 21.- Relación entre el nivel de estrés (1-3) al sacrificio y la concentración de neurotransmisores hipotalámicos (nmol/l) (Adeola y Ball, 1992).

	1	2	3
Indoles			
Triptófano	1,35	1,33	1,43
5-Hidroxitriptamina (5-HT)	4,02 ^a	3,74 ^{ab}	2,88 ^b
5-Hidroxiindoli ácido acético (5-HIAA)	1,71	1,71	1,74
Catecoles			
Dopamina	266	313	2,32
Norepinefrina	12,02 ^a	7,47 ^b	6,13 ^b
Epinefrina	1,55 ^a	1,62 ^a	0,77 ^b
Dihidroxifenil ácido acético	1,28	1,48	1,50
Acido homovanílico	2,93 ^a	3,38 ^{ab}	3,97 ^b

1 – bajo grado de estrés.

3 – alto grado de estrés.

8.- NECESIDADES DE TRIPTÓFANO EN POLLOS

Las necesidades de aminoácidos esenciales en pollos han sido determinadas por métodos similares a los del ganado porcino. El NRC (1994) expresa estas necesidades en unidades brutas, mientras que en otros países, como en Holanda, se expresan en valores de digestibilidad aparente en heces. Las necesidades del NRC se presentan en el cuadro 22. Las necesidades de triptófano propuestas son de 2,0 y 1,8 g/kg en animales de 0-3 y 3-6 semanas, respectivamente, que corresponden a un 18% de las necesidades de lisina en el sistema de proteína ideal.

Las necesidades propuestas en las normas holandesas son de 1,7 y 1,6 g/kg de triptófano digestible aparentemente en heces, en pollos de 0-2 y 2-6 semanas de edad, respectivamente. Estos valores corresponden a un 16% de las necesidades de lisina en ambas edades (Schutte, 1996).

Cuadro 22. Necesidades de aminoácidos en broilers en g/kg dieta (NRC, 1994).

Bases	0-3 semanas	3-6 semanas
	Total	Total
Metionina	5,0 (45)	3,8 (38)
Metionina+cistina	9,0 (82)	7,2 (72)
Lisina	11,0 (100)	10,0 (100)
Treonina	8,0 (73)	7,4 (74)
Triptófano	2,0 (18)	1,8 (18)
Valina	9,0 (82)	8,2 (82)
Arginina	12,5 (114)	11,0 (110)
Histidina	3,5 (32)	3,2 (32)
Isoleucina	8,0 (73)	7,3 (73)
Leucina	12,0 (109)	10,9 (109)
Fenilalanina	7,2 (65)	6,5 (65)
Fenilalanina + tirosina	13,4 (122)	12,2 (122)
Glicina + serina	12,5 (114)	11,4 (114)

() Entre paréntesis valores relativos de lisina (=100).

9.- NECESIDADES DE TRIPTÓFANO EN PONEDORAS

Las necesidades de aminoácidos esenciales para gallinas ponedoras se muestran en el cuadro 23. Más que como proporción de la dieta, estas necesidades suelen expresarse por gallina y día, partiendo de un consumo de alimento estándar. Los criterios utilizados para optimizar la respuesta son producción de huevos y eficacia alimenticia. De acuerdo con el NRC (1994) las necesidades de triptófano son de 160 y los de lisina 690 mg/gallina y día (valor relativo=23%). En las normas holandesas, las necesidades de triptófano digestible aparentemente en heces son de 130 mg por gallina y día, un 19% de las de lisina, y resultan superiores a las del NRC.

**Cuadro 23.- Necesidades de aminoácidos en ponedoras en mg/gallina/día
(NRC, 1994 y CVB, 1996)**

Bases	NRC Total	CVB Fecal digestible
Metionina	300 (43)	350 (50)
Metionina+cistina	580 (84)	650 (93)
Lisina	690 (100)	700 (100)
Treonina	470 (68)	460 (66)
Triptófano	160 (23)	130 (19)
Valina	700 (101)	600 (86)
Arginina	700 (101)	
Histidina	170 (25)	
Isoleucina	650 (94)	550 (79)
Leucina	820	
Fenilalanina	470	
Fenilalanina+tirosina	830	

() Entre paréntesis valores relativos de lisina (=100).

10.- CONCLUSIONES

De lo anteriormente expuesto puede concluirse que el triptófano juega un papel importante en piensos de porcino y aves, tanto como aminoácido potencialmente limitante (especialmente en dietas de bajo contenido en proteína), como por sus efectos como precursor de metabolitos que influyen en el consumo, el comportamiento y la calidad de la carne. Estos últimos efectos no han sido todavía totalmente clarificados y precisan de investigaciones adicionales antes de que sean considerados desde un punto de vista práctico.

11.- REFERENCIAS

- ADEOLA, O. y BALL, R.O. (1992) *J. Anim. Sci.* 70: 1888-1894.
- CANH, T.T., AARNINK, A.J.A., SCHUTTE, J.B., SUTTON, A.L., LANGHOUT, D.J., VERSTEGEN, M.W.A. y SCHRAMA, J.W. (1998) En: *Ammonia emission from excreta of growing-finishing pigs as affected by dietary composition*. PhD thesis Wageningen Universiteit.
- CVB (1996) *In Dutch*. CVB Documentatierapport nr. 14.
- CVB (1998, 1999) *In Dutch*. Centraal Veevoederbureau. The Netherlands.
- HAN, K., CHO, W.T., y KIM, J.W. (1998) En: *Proc. 8th World Conference on Animal Production*. June 1998. Seoul Korea. p. 92-109.
- HENRY, Y., SÈVE, B., COLLEAUX, Y., GARNIER, P., SALIGAUT, C. y JEGO, P. (1992) *J. Anim. Sci.* 70: 1873-1887.
- HENRY, Y. y SÈVE, B. (1993) *J. Rech. Porcine Fr.* 25: 247-253.
- HENRY, Y. y SÈVE, B. (1993) *Pig News and Information*. 14: 35N-43N.

- HENRY, Y., SÈVE, B., MOURNIER, A. y GANIER, P. (1996) *J. Anim. Sci.* 74: 2700-2710.
- JANSMAN, A.J.M., KEMP, G.W.B. y VAN CAUWENBERGHE, S. (2000) En: *51th EAAP conference in The Hague*, August 2000.
- KERR, B.J. y KIDD, M.T. (1999) *Proceedings 11th Fermex Amino Acid Meeting*. Mexico, September 1999.
- KOCH, F., SCHUTTE, J.B. y FICKLER, J. (1991) *Estimation of the optimal amino acid supplementation to a grain based diet with barley and wheat for finishing pigs*.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1994) *Nutrient Requirements in Poultry*. 9th ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1998) *Nutrient Requirements of Swine*. 10th ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- PEISKER, M., SIMMINS, P.H., MONGE, H. y LIEBERT, F. (1998) *Feed Mix* 6: 8-12.
- SÈVE, B. (1999) *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Vol. 467.
- SHEA, M.M., MENCH, J.A. y THOMAS, O.P. (1996) *Poultry Sci.* 69: 1664-1669.
- SHEA-MOORE, M.M., THOMAS, O.P. y MENCH, J.A. (1996) *Poultry Science* 75: 370-374.
- SNEDECOR, G.W. y COCHRAN, W.G. (1980) *Statistical methods*. 7th ed. The Iowa State University Press. Ames IA.
- SCHUTTE, J.B., VERSTRATEN, A.J.M.A., LENIS, N.P., DE JONG, J. y VAN DIEPEN, J.T.H.M. (1995) *J. Agric. Sci.* 43: 287-296.
- SCHUTTE, J.B. (1996) *In Dutch*. CVB Documentation report nr. 18. November 1996.