

UTILIZACION DEL β -METIL-MERCAPTO-PROPIONATO DE SODIO COMO UN POSIBLE SUSTITUTO DE METIONINA EN AVES DE ENGORDA

SERGIO FERNANDEZ T. ²

FERNANDO CISNEROS G. ²

JOSE A. CUARON I. ^{2 3}

ERNESTO AVILA G. ^{2 3}

MAYELA BAUTISTA J. ⁴

RESUMEN

Se realizaron tres experimentos para evaluar el uso del β -Metil-Mercapto-Propionato de Sodio (MMP) como un sustituto de DL-metionina. Se utilizó una dieta basal (almidón de maíz-pasta de soya con 20.42% de PC) y 4 dietas con niveles crecientes de metionina (para cubrir el 33, 66, 99 y 132%, respectivamente, de los requerimientos de aminoácidos azufrados) con el fin de obtener una curva patrón de respuesta a metionina. El segundo experimento consistió en la misma dieta basal y 4 con niveles crecientes de MMP (equimolares a la adición de DL-metionina) para obtener una curva de respuesta a MMP.

La tercera fase consistió en 3 dietas con niveles de sustitución

progresiva de MMP por metionina (25, 50 y 75%) comparadas contra las dietas que aportaban el 99% de MMP o metionina, con la finalidad de obtener una respuesta de sustitución que cubriera el 100% de los requerimientos de aminoácidos. Se utilizaron 80 aves de una semana de edad sin sexar, por experimento, asignadas aleatoriamente a cada uno de los tratamientos. Fueron medidas las variables de respuesta: ganancia de peso, consumo de alimento, eficiencia alimenticia y hematocrito. Los resultados del primer trabajo no mostraron diferencia estadística entre tratamientos ($P > 0.10$) en el consumo de alimento mientras que ganancia de peso y eficiencia alimenticia sólo arrojaron diferencias contra la dieta basal ($P < 0.01$) y fueron iguales entre sí ($P > 0.01$) los restantes 4 tratamientos con metionina. Con respecto al trabajo de niveles crecientes de MMP, las variables de consumo de alimento y eficiencia alimenticia no mostraron diferencias entre tratamientos ($P > 0.10$) y se encontró con respecto a la respuesta de ganancia de peso, que solamente el tratamiento con nivel más bajo de MMP (33%) fue inferior

1 Trabajo financiado por Fermentaciones Mexicanas, S.A. de C.V. y el Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México, A.C.

2 Centro de Investigación en Alimentación y Nutrición Animal, Sector Pecuario, INIFAP-SARH, Km. 15.5 Carr. México-Toluca, D. F., C.P. 05110.

3 Investigador Nacional- SNI. Autores a quienes debe solicitarse reimpreso del artículo.

4 Fermentaciones Mexicanas, S.A., de C.V.

($P < 0.10$) a la dieta basal. En el experimento de sustitución se observó en cuanto a ganancia de peso y eficiencia alimenticia que sólo el tratamiento con 99% de MMP fue inferior a los otros cuatro ($P < 0.01$) mientras que la respuesta de consumo de alimento en el tratamiento con 99% de metionina fue superior ($P < 0.10$) al tratamiento con 99% de MMP, e igual a los otros 3 tratamientos ($P > 0.10$).

Con respecto a la respuesta de hematocrito, no se observaron diferencias entre tratamientos ($P > 0.10$) en ninguno de los tres experimentos.

No se observó una respuesta detrimental ante los niveles de MMP utilizados en este trabajo, aunque tampoco se observó una respuesta a sustitución de metionina, lo que deja abierta la posibilidad de utilizar el compuesto a niveles más altos para buscar un posible efecto ahorrador de metionina.

INTRODUCCION

Se ha pensado en la utilización del MMP como un posible sustituto de metionina debido a la similaridad que posee la molécula de este compuesto con la del aminoácido, de hecho se ha identificado el MP como un metabolito en el catabolismo de la metionina, en una vía alterna a la del S-adenosilmetionina (Harter y Beker, 1978; Steele y Benevenga, 1978), según se describe en la Figura 1, observamos que el compuesto previo a la descarboxilación de la molécula de metionina es el ácido Ceto-Metil-Mercapto-Butírico y dicho compuesto en forma hidroxilada es el que se proporciona a los animales como sustituto de metionina (hidroxianálogo de metionina).

Por otro lado, se menciona al MMP como el causante, en gran parte, de la toxicidad por metionina, ya que al

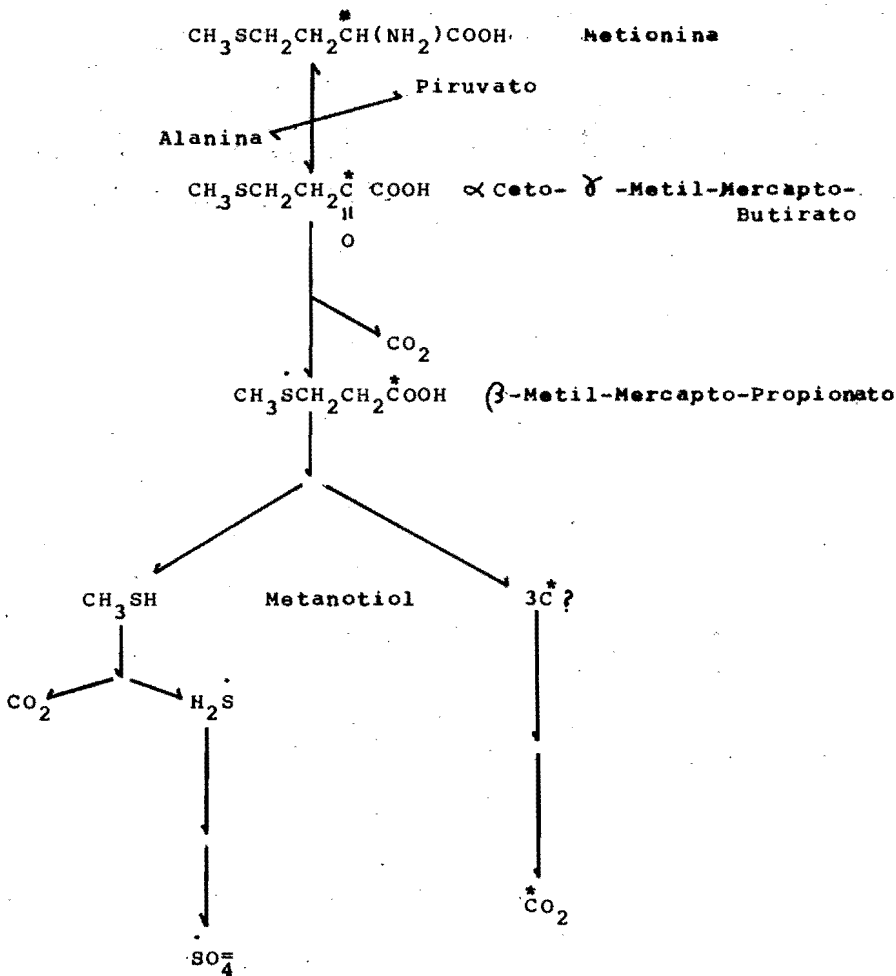
ser administrado en dietas a niveles altos (equivalentes en proporción (1:1) con cantidades excesivas de metionina) e.g., al 3% en ratas (Steele y col., 1979) y al 1.25% en pollos (Harter y Baker, 1978), se observa que provoca una depresión en el crecimiento y consumo de alimento, así como hem siderosis y esplenomegalia, además en pollos produce anemia hemolítica. Los compuestos propuestos por Finkelstein y Benevenga (1984) como los causantes de las alteraciones metabólicas, son el CH_3SH y el H_2S (Figura 1) debido a que cuando el animal recibe niveles tóxicos de metionina, se producen estos compuestos en una cantidad que sobrepasa la capacidad de degradación de los mismos, e inhiben enzimas como la hidroximetiltransferasa (Gavilanes y col., 1982) Creatincinasa (Maggio y col., 1977), gliceraldehído-3-fosfato-deshidrogenasa y la citocromo oxidasa (Finkelstein y Benevenga, 1984).

Sin embargo, en la literatura citada anteriormente se han utilizado niveles excesivamente altos, tanto de metionina como de MMP para producir estados de toxicidad. Es por esto que el objetivo de este trabajo es estudiar la respuesta animal ante niveles de MMP equivalentes a cantidades normales de metionina, sólo para cubrir las necesidades en pollos de engorda, y evaluar con ésto una posible respuesta de sustitución de metionina por MMP.

MATERIAL Y METODOS

Se elaboró una dieta basal almidón de maíz-pasta de soya, deficiente en metionina y once dietas experimentales (Cuadro 1), el criterio para fijar los diferentes niveles de metionina y MMP, fue el de tomar como 100% la diferencia entre las necesidades de metionina más cistina, del pollo de cero a tres semanas de edad (NRC,

FIGURA 1. METABOLISMO DEL β -METIL-MERCAPTO-PRIPIONATO
(Finkelstein y Benevenga, 1984).



1977), y la cantidad de metionina más cistina, que aportaba la pasta de soya, en la elaboración de cuatro dietas con niveles crecientes de metionina, cuatro con niveles crecientes de MMP** (en ambos casos uno de los niveles sobrepasaba el nivel del requerimiento en un 32%) y tres dietas que cubrían las necesidades

** Proporcionado por Fermentaciones Mexicanas, S. A. de C. V.

del animal, pero con niveles de sustitución progresiva de MMP por metionina, de tal forma que se pudieran obtener una curva de respuesta a metionina, otra de respuesta a MMP y otra de sustitución de MMP por metionina en presencia de esta última. El diseño utilizado en cada uno de los trabajos fue totalmente al azar, con cinco tratamientos y cuatro repeticiones por experimento, se hicieron

CUADRO 1. COMPOSICION DE LA DIETA BASAL Y DESCRIPCION DE TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES.

Dieta basal		Análisis calculado:	
Pasta de soya	43.96	Proteína cruda:	20.42%
Almidón de maíz	47.824	Energía metabolizable:	12.5 MJ/ kg
Aceite de maíz	3.0	Metionina + Cistina:	0.609
CaCO ₃	0.87		
CaHPO ₄	2.92		
Minerales ^a	0.4		
Vitaminas ^b	0.42		
	100.00		
Raciones experimentales ^c		MMP o metionina como % de la dieta	
1. Dieta basal			
2. Como 1 + 33% de metionina		0.11 met.	
3. Como 1 + 66% de metionina		0.21 met.	
4. Como 1 + 99% de metionina		0.32 met.	
5. Como 1 + 132% de metionina		0.42 met.	
6. Como 1 + 33% de MMP		0.11 MMP	
7. Como 1 + 66% de MMP		0.21 MMP	
8. Como 1 + 99% de MMP		0.32 MMP	
9. Como 1 + 132% de MMP		0.42 MMP	
10. Como 1 + 75% de metionina - 25% de MMP		0.24 met. - 0.08 MMP	
11. Como 1 + 50% de metionina - 50% de MMP		0.16 met. - 0.16 MMP	
12. Como 1 + 25% de metionina - 75% de MMP		0.08 met. - 0.24 MMP	
a) Sales como NaCl 0.45; CuO 0.0006; KI 0.001; Fe ₂ O ₃ 0.023; MnO 0.1; MnSO ₄ · H ₂ O 0.02; ZnCO ₃ 0.01; Na ₂ PO ₄ · 2H ₂ O 0.001.			
b) Cantidad por Kg de dieta: Vitamina A 8 000 UI; Vitamina D ₃ 1000 UI; Acetato de DL tocoferol 20 mg; Bisulfito sódico de menadiona 125mg; Cloruro de tiamina 0.0224g; Riboflavina 0.0163 g; Pantotenato de Calcio 0.044g; Niacina 0.04g; Piridoxina 0.007g; Biotina 0.6mg; Cloruro de Colina al 25% 1.659g; Acido fólico 4 mg; Vit B ₁₂ 0.1515g; Etóxiquín 125mg; vehículo 1.76g.			
c) La diferencia entre la cantidad de metionina más cistina que aportó la pasta de soya (0.609%) y los requerimientos del animal (0.93%) fue de 0.32%, valor que se tomó como el 100%.			

comparaciones entre medias cuando fue necesario de acuerdo a la prueba de Student -Newman- Keuls (Anderson y McLean, 1974). Se utilizaron 300 pollos de engorda comercial, sin sexar de un día de nacidos, los cuales fueron alimentados con la dieta basal durante 5 días, a la semana de edad 80 aves se alojaron al azar en cada experimento y fue observada su respuesta hasta la quinta semana de edad. Las aves se instalaron en criadoras de batería y bebederos de acero inoxidable. El alimento y el agua se proporcionaron a libertad. Los animales se pesaron en forma individual al inicio del período experimental y semanalmente. Las variables estudiadas fueron: velocidad de crecimiento, consumo de alimento, eficiencia alimenticia y hematocrito.

RESULTADOS

El Cuadro 2 muestra las medias generales para el experimento 1, donde no se encontraron diferencias estadísticas (P>0.10) en consumo de alimento y hematocrito, mientras que en ganancia de peso y eficiencia alimenticia se observaron diferencias (R<0.01) entre la dieta basal y los tres tratamientos con nivel más alto de

CUADRO 2. MEDIAS GENERALES PARA GANANCIA DE PESO (g), CONSUMO DE ALIMENTO (g), EFICIENCIA ALIMENTICIA Y HEMATOCRITO CON NIVELES CRECIENTES DE METIONINA. (Experimento 1).

Tratamiento	Ganancia de peso (g/pollo/28 días)	Consumo de alimento (C/pollo/28 días)	Eficiencia alimenticia (EA/pollo/28 días)	Hematocrito (%/pollo)
Dieta Basal (Db)	583.8 ^a	842.6 ^a	0.693 ^a	34.25 ^a
Db + 33% de metionina	664.15 ^{ab}	903.7 ^a	0.735 ^{ab}	38.88 ^a
Db + 66% de metionina	695.6 ^b	925.03 ^a	0.753 ^b	38.36 ^a
Db + 99% de metionina	715.1 ^b	941.95 ^a	0.761 ^b	39.0 ^a
Db + 132% de metionina	713.0 ^b	920.21 ^a	0.775 ^b	36.75 ^a
EEM n=4				
Grados de lib. del error = 15	21.47	32.87	0.0125	1.82

Medias con diferente literal por columna son estadísticamente significativas (P < 0.01).

CUADRO 3. MEDIAS GENERALES PARA GANANCIA DE PESO (g), CONSUMO DE ALIMENTO (g), EFICIENCIA ALIMENTICIA Y HEMATOCRITO CON NIVELES CRECIENTES DE MMP. (Experimento 2).

Tratamiento	Ganancia de peso (G/pollo/28 días)	Consumo de alimento (C/pollo/28 días)	Eficiencia alimenticia (EA/pollo/28 días)	Hematocrito (%/pollo)
Dieta basal (D ₀)	583.8 ^a	842.6 ^a	0.693 ^a	34.25 ^a
D ₀ + 33% de metionina	507.30 ^b	764.88 ^a	0.664 ^a	38.63 ^a
D ₀ + 66% de metionina	527.05 ^{ab}	775.65 ^a	0.682 ^a	39.88 ^a
D ₀ + 99% de metionina	531.35 ^{ab}	824.9 ^a	0.643 ^a	36.88 ^a
D ₀ + 132% de metionina	545.65 ^{ab}	791.48 ^a	0.691 ^a	35.13 ^a
EEM n=4				
Grados de lib. del error = 15	18.37	24.02	0.022	1.61

Medias con diferente literal por columna son estadísticamente significativas ($P < 0.10$).

metionina, éstas fueron iguales ($P > 0.01$) entre sí. El Cuadro 3 muestra las medias generales del experimento con niveles crecientes de MMP, no se observaron diferencias estadísticas ($P > 0.10$) para hematocrito, consumo de alimento y eficiencia alimenticia. Ganancia de peso sólo mostró diferencia ($P < 0.10$) entre la dieta basal y la dieta con 33% de inclusión de MMP, las otras tres dietas fueron iguales estadísticamente ($P > 0.10$) a la dieta basal. Por último en el Cuadro 4 se muestran las medias generales para el experimento de sustitución donde se observó en ganancia de peso y eficiencia alimenticia que el tratamiento

con 99% de MMP fue inferior ($P < 0.01$) a los otros cuatro tratamientos, los cuales fueron iguales ($P > 0.01$). En la respuesta de consumo de alimento se observó que la dieta con 99% de metionina fue superior ($P < 0.10$) a la dieta con 99% MMP, y fueron iguales ($P > 0.10$) a los otros tres tratamientos. En este tercer trabajo se encontró también que la variable de hematocrito no mostró diferencias ($P > 0.10$) entre tratamientos.

Con respecto a las ecuaciones de regresión, en el experimento 1 (Cuadro 5) estas muestran un efecto lineal ($P < 0.005$) en ganancia de peso y eficiencia alimenticia. En el experi-

CUADRO 4. MEDIAS GENERALES PARA GANANCIA DE PESO (g), CONSUMO DE ALIMENTO (g), EFICIENCIA ALIMENTICIA Y HEMATOCRITO CON NIVELES DE SUSTITUCION PROGRESIVA DE METIONINA POR MMP. (Experimento 3).

Tratamiento	Ganancia de peso (G/pollo/28 días)	Consumo de alimento (C/pollo/28 días)	Eficiencia alimenticia (EA/pollo/28 días)	Hematocrito (%/pollo)
0% MMP - 99% MET	715.1 ^{a*}	941.95 ^{a**}	0.761 ^{a*}	39 ^a
25% MMP - 75% MET	680.68 ^a	858.9 ^{ab}	0.792 ^a	35.5 ^a
50% MMP - 50% MET	677.8 ^a	877.35 ^{ab}	0.772 ^a	40.1 ^a
75% MMP - 25% MET	651.89 ^a	871.94 ^{ab}	0.748 ^a	34.1 ^a
99% MMP - 0% MET	531.35 ^b	824.9 ^b	0.643 ^b	38.9 ^a
EEM con n=4				
grados de lib. del error: 15	21.0	25.03	0.015	2.06

Medias con diferente literal por columna son estadísticamente significativas

* ($P < 0.01$)

** ($P < 0.10$)

CUADRO 5. ANALISIS DE VARIANZA Y ECUACIONES DE REGRESION PARA GANANCIA DE PESO Y EFICIENCIA ALIMENTICIA EN LOS TRATAMIENTOS CON NIVELES CRECIENTES DE METIONINA. (Experimento 1)

GANANCIA DE PESO			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	P <
Tratamientos	4	11 908,269	0,005
Efecto lineal	1	38 275, 876	0,005
Residual	3	3 119,066	NS
Error	15	1 843, 5	
Total	19		

Regresión Lineal $Y = 612,46 + 0,937 \text{ Met}$ $R^2 = 0,508$

EFICIENCIA ALIMENTICIA			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	P <
Tratamientos	4	0,0039932	0,005
Efecto lineal	1	0,01440203	0,005
Residual	3	0,0005236	NS
Error	15	0,0006268	
Total	19		

Regresión Lineal $Y = 0,706 + 0,0066 \text{ Met}$ $R^2 = 0,57$

CUADRO 6. ANALISIS DE VARIANZA Y ECUACION DE REGRESION PARA GANANCIA DE PESO EN LOS TRATAMIENTOS CON NIVELES CRECIENTES DE MMP. (experimento 2).

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	P <
Tratamientos	4	3252,71675	0,10
Efecto lineal	1	1095,1623	NS
Efecto cuadrático	1	7680,2588	0,05
Residuo	2	2017,7131	NS
Error	15	1349,13173	
Total	19		

Regresión lineal $Y = 573,235 - 1,596 \text{ MMP} + 0,0109 \text{ MMP}^2$ $R^2 = 0,27$

CUADRO 7. ANALISIS DE VARIANZA Y ECUACIONES DE REGRESION PARA GANANCIA DE PESO, CONSUMO DE ALIMENTO Y EFICIENCIA ALIMENTICIA EN LOS TRATAMIENTOS CON NIVELES DE SUSTITUCION PROGRESIVA DE METIONINA POR MMP. (experimento 3).

GANANCIA DE PESO			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	P
Tratamientos	4	20022,315	0,005
Efecto lineal	1	62809,588	0,005
Efecto cuadrático	1	16896,345	0,05
Residuo	2	3151,6647	NS
Error	15	1767,0588	
Total	19		

Regresión lineal $Y = 702,7257 + 0,646 X - 0,0223 X^2$ $R^2 = 0,69$

CONSUMO DE ALIMENTO			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	P
Tratamientos	4	7266,92175	0,10
Efecto lineal	1	19549,22	0,05
Residual	3	3172,8223	NS
Error	15	2506,2672	
Total	19		

Regresión lineal $Y = 913,3 - 0,88 X$ $R^2 = 0,29$

EFICIENCIA ALIMENTICIA			
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	P
Tratamientos	4	0,013532	0,005
Efecto lineal	1	0,0311364	0,005
Efecto cuadrático	1	0,0217646	0,005
Residuo	2	0,00061335	NS
Error	15	0,0002063	
Total	19		

Regresión lineal $Y = 0,76 + 0,002 X - 0,0000315 X^2$ $R^2 = 0,78$

mento 2 (Cuadro 6) se observa un efecto cuadrático ($P < 0,05$) en ganancia de peso. Finalmente, en el Cuadro 7 se muestra que existieron efectos cuadráticos tanto en ganancia de peso ($P < 0,05$) como en eficiencia alimenticia ($P < 0,005$) y un efecto lineal ($P < 0,05$) en consumo de alimento.

DISCUSION

Del experimento uno, se deduce que los niveles crecientes de metionina no se manejaron con mucha exactitud, esto se explica con base en que la determinación de la cantidad de metionina más cistina de la soya se hizo al extrapolar valores de cuadros de composición de ingredientes (NRC, 1977) y no por medio de un aminograma, lo que nos deja la duda de si las concentraciones de metionina fueron las calculadas. Sin embargo, al haberse observado respuesta a la suplementación de metionina sobre la ración basal, confirmamos el carácter deficiente de esta última y se debe recalcar que las regresiones para las respuestas de ganancia de peso y eficiencia alimenticia subrayan un efecto lineal positivo conforme aumentan los niveles del aminoácido en la dieta, sin embargo, no se detectó tampoco el cambio dependiente característico para una respuesta a suplementación con metionina al alcanzarse los niveles de requerimiento de las aves (Spindler y Wicker, 1984). A pesar de que en el experimento 2 los niveles de MMP no demostraron un efecto de sustitución de metionina, tampoco demostraron un efecto tóxico.

Harter y Baker (1978) mencionan que la intoxicación por metionina o MMP provoca anemia hemolítica, lo cual no se reflejó al medir hematocrito. Por otro lado no se observó el efecto detrimental en ganancia de peso, consumo de alimento y eficien-

cia alimenticia ante los niveles altos de MMP en este trabajo, como en los previos, a niveles de toxicidad (Harter y Baker, 1978; Steele y col., 1978) con metionina o MMP. Inclusive se observó un ligero efecto positivo en la respuesta de eficiencia alimenticia en los tratamientos de sustitución de MMP por metionina, lo que podría interpretarse como un efecto de ahorro de la metionina suplementaria para la satisfacción de los requerimientos de este aminoácido. En resumen el uso de MMP en proporción equimolecular con los requerimientos de metionina en pollos no ocasiona efectos detrimentales como los mencionados ante la utilización de niveles más altos del compuesto, y en vista de la respuesta similar que presentaron los niveles de MMP con la dieta basal, se puede pensar en trabajarlo a niveles un poco más altos, para verificar si existe un posible efecto de ahorro para los requerimientos de metionina o se comienzan a presentar sus efectos tóxicos. Conviene recalcar la necesidad de estudiar niveles de inclusión de MMP en dietas de tipo práctico para sustituir metionina, ya que teóricamente la inclusión de MMP bajo estas condiciones no alcanzaría los niveles tóxicos del compuesto, previamente mencionados, por lo tanto es atractiva la posibilidad de ejercer el propuesto efecto ahorrador de metionina.

SUMMARY

Three experiments were conducted in order to evaluate the use of sodium β -Methylthiopropionate (MMP) as a substitute for DL-methionine. In the first work were formulated: a basal diet (cornstarchsoybean meal, 20.5% crude protein) and 4 diets with increasing levels of methionine (at 33, 66, 99 and 132% to full fill the sulfur aminoacids requirements) to obtain a

patron curve of methionine. In the second experiment was utilized the same basal diet and 4 diets with increasing levels of MMP (equimolar to DL-methionine addition) to obtain a response curve for MMP and the last experiment consisted of 3 diets with progressive substitution levels of MMP methionine (25, 50 and 75%) for evaluation in this case a response curve fulling the 100% requirements for sulfur aminoacids. Each work was evaluated as a completely randomized design, were utilized unsexed, one week old broiler chicks. Criteria of response were: body weight gain, feed intake, feed efficiency and hematocrit. In the first work for the feed intake response the treatments were similar all ($P > 0.10$) and both body weight gain and feed efficiency response showed differences only against the basal diet ($P < 0.01$) being equals between them ($P > 0.01$) the 4 methionine treatments with regard to MMP experiment feed intake and feed efficiency didn't show any difference ($P > 0.10$) among treatments, finding for body weight gain the treatment with lower addition of MMP (33%) inferior ($P < 0.10$) to the basal diet, being this last similar ($P > 0.10$) to the other MMP treatments, for the substitution work was found to body weight gain and feed efficiency that only the treatment with 99% MMP was inferior to the other four treatments ($P < 0.01$). In regard to feed intake the level with 99% methionine was upper ($P < 0.10$) to the 99% MMP treatments, being equal ($P > 0.10$) to the other three treatments. For hematocrit was not observed differences among treatments in any of the three trials ($P > 0.10$).

At the levels of MMP used, no detrimental response was found, as no evidence for a partial replacement for methionine could be deducted from MMP. However, the possibility for the use of MMP as a methionine

sparin substance remains unsolved, as no toxicity signs were developed from MMP at the used concentrations.

LITERATURA CITADA

ANDERSON, V.L. and McLEAN, R.A., 1974. Design of experiments a realistic approach. Marcel Dekker, Inc. New York, N.Y.

FINKELSTEIN, A. and BENEVENGA, N., 1984. Developmental changes in the metabolism of 3- Methylthiopropionate in the rat. *J. Nutr.*, 114:1622.

GAVILANES, F., PETERSON, D. and SCHIRCH L., 1962. Methyl- Methamethiosulfonate as an active site probe of serine hydroxymethyltransferase. *J. Biol. Chem.*, 19:11433.

HARTER, J. and BAKER, D., 1978. Factors

affecting methionine toxicity and its alleviation in the chick. *J. Nutr.*, 108:1061.

MAGGIO, E. and KEYON, G., 1977. Properties of a CH₃-S- creatonekinose with altered catalytic activity. *J. Biol. Chem.* 4:1202.

N.R.C., 1977. Nutrient requirements of poultry. *Natl. Acad. Sci. Press.* Washington, D.C.

SPINDLER, M. and WICKER, D., 1984. Research test bioefficacy of methionine substitutes. *Feedstuffs*, 56(5):37.

STEELE, R. and BENEVENGA, N., 1978. Identification of 3- methypropionic acid as an intermediate in mammalian methionine metabolism in vitro. *J. Biol. Chem.*, 21:7844.

STEELE, R., BARBER, T., LALICH, J. and BENEVENGA, N., 1979. Effects of dietary 3-methylthiopropionate on metabolism, growth and hematopoiesis in the rat. *J. Nutr.*, 109:1739.