

ESTUDIOS SOBRE EL VALOR NUTRITIVO DEL ALGA ESPIRULINA (*Spirulina maxima*)

*Irma Tejada de Hernández*¹ y *Armando S. Shimada*¹

Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, México, D. F.,
México

RESUMEN

Con objeto de determinar los aminoácidos limitantes y la digestibilidad del alga espirulina en ratas, se efectuaron nueve experimentos, cinco *in vivo* y cuatro *in vitro* para determinar la digestibilidad del producto, tanto en pepsina como en líquido ruminal. Ninguno de los aminoácidos estudiados (lisina, metionina, histidina) adicionados solos o en combinación a dietas que proporcionan 10⁰/o de proteína (ya sea cruda o verdadera) proveniente exclusivamente de la espirulina, parece ser limitante. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que los resultados pueden haber estado enmascarados por la baja aceptación del producto por las ratas. La digestibilidad aparente del alga fue de 67.4⁰/o. Para los estudios *in vitro* se sometió la espirulina a diversos tratamientos físicos y químicos y se procedió a determinar su digestibilidad mediante cuatro técnicas diferentes. Se encontró que los procesos a que se sujetó el producto no tuvieron efecto sobre su digestibilidad en ninguno de los casos.

1 Miembros del Departamento de Nutrición Animal, Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, Apartado Postal 41-652, México, D. F., México.

INTRODUCCION

La espirulina es un alga verde-azul que crece bien en aguas alcalinas (14 g de cloruros por litro; pH de 11) como las del lago de Texcoco, cercano a la ciudad de México (1). Aparentemente, su empleo en la alimentación humana data de la época prehispánica, habiendo sido conocida con el nombre de "tecuítlatl" (2); sin embargo, la práctica fue abandonada a raíz de la conquista de México, y no fue sino hasta hace pocos años que la Compañía "Sosa Texcoco, S. A." inició estudios relativos a su industrialización y empleo como alimento.

La información publicada sobre su valor nutritivo es escasa. De acuerdo con el Instituto Francés del Petróleo, el contenido de proteína de la espirulina (*platensis*) es elevado y el balance de aminoácidos, adecuado (3). Es rica en cianocobalamina y compuestos carotenoides (4), y su contenido en ácidos nucleicos, bajo (4.10/o) (5). En México, la espirulina (*maxima*) ha sido estudiada como pigmentante para aves (6,7) y peces (8), y como alimento para cerdos (9), encontrándose que su empleo es satisfactorio para las funciones y especies mencionadas.

En base a que la disponibilidad de la proteína no ha sido determinada, se llevaron a cabo los experimentos que a continuación se reseñan, siendo sus objetivos: determinar los aminoácidos limitantes de la espirulina para la rata, así como su digestibilidad *in vivo* e *in vitro*, como un aporte más al conocimiento del potencial de la espirulina como alimento para animales.

MATERIAL Y METODOS

La espirulina empleada fue proporcionada directamente por el fabricante. El producto se analizó químicamente para determinar su composición proximal por los métodos de la AOAC (10) y su contenido de aminoácidos por cromatografía de intercambio iónico en autoanálizador, previa hidrólisis ácida; también se determinó triptofano, utilizando la técnica de Miller (11) (Véase Tabla 1).

Se efectuaron cuatro experimentos de crecimiento con ratas y cinco pruebas de digestibilidad, una de ellas *in vivo* y cuatro *in vitro*.

Para los experimentos con animales se emplearon ratas macho raza Wistar, las cuales se alojaron individualmente en

TABLA 1

COMPOSICION BROMATOLOGICA DE LA ESPIRULINA	
<i>(Spirulina maxima)</i> o/o base seca ^a	
Materia seca	92.9
Proteína cruda total	55.1
Proteína verdadera ^b	48.9
Extracto etéreo	3.9
Cenizas	7.3
Fibra cruda	3.6
Extracto libre de nitrógeno	30.1
Calcio	0.23
Fósforo	0.98

g de aminoácidos en 100 g de proteína, base seca^c

Acido aspártico	15.92
Acido glutámico	21.84
Treonina	4.48
Serina	4.31
Prolina	2.90
Alanina	6.06
Glicina	4.03
Valina	5.44
Cistina	2.16
Metionina	2.11
Isoleucina	4.54
Leucina	7.66
Tirosina	3.90
Fenilalanina	3.84
Lisina	4.50
Histidina	1.58
Arginina	9.38
Triptofano ^d	1.23

a El análisis proximal se efectuó según las técnicas de la AOAC (10).

b. Determinada según Jacobs (12).

c. Determinada por cromatografía de intercambio iónico en un autoanalizador.

d. Determinada según Miller (11).

jaulas metálicas donde recibieron agua y alimento a libertad. Las raciones experimentales proporcionaban 10⁰/o de proteína, proveniente ya fuese de la espirulina o en el caso de emplearse un testigo, de la pasta de soya. Se llenaron los requerimientos de vitaminas y minerales traza de acuerdo con los valores informados por el National Research Council (13).

Las ratas fueron pesadas al inicio de los estudios y posteriormente cada semana, hasta la terminación del estudio. La duración de los experimentos varió de 1 a 3 semanas. Se registraron los datos de ganancia de peso, consumo de alimento e índice de eficiencia proteica (PER). La información obtenida se analizó estadísticamente como experimentos completamente al azar; las medias fueron comparadas mediante la prueba de Duncan.

Experimento 1. El elevado contenido de arginina presente en la espirulina hace pensar en la posibilidad de que por un mecanismo antagónico (14) se incremente el requerimiento de lisina.

En vista de lo expuesto, se diseñó este primer experimento con 30 animales destetados, con objeto de estudiar el efecto del agregado de niveles crecientes de L-lisina a dietas elaboradas a base de espirulina, hasta cubrir el 175⁰/o del requerimiento sugerido por el NRC (13). La duración del estudio fue de dos semanas. Se adicionó DL metionina para satisfacer los requerimientos que para este aminoácido propone el mismo NRC (13).

Experimento 2. El porcentaje de proteína total encontrado en la espirulina es de 55.1, cifra de la que el 88.7⁰/o es proteína verdadera. Este estudio se efectuó con objeto de comparar raciones a base de espirulina, con y sin la adición de lisina, en las que el requerimiento de proteína alimenticia (10⁰/o) lo proporcionaba proteína verdadera. Se emplearon 18 ratas de seis semanas y el experimento duró 7 días.

Experimento 3. Por cálculo, la proteína de espirulina aparenta ser deficiente en histidina para la rata en crecimiento, por lo que se llevó a cabo este tercer estudio, de una semana, con 12 ratas de 6 semanas de edad. En este caso, el objetivo fue probar la adición de L-histidina a dietas con 10⁰/o de proteína verdadera, con el agregado de L-lisina.

Experimento 4. Ante la posibilidad de que la metionina fuera el aminoácido limitante de la espirulina, en este estudio, de 3 sema-

nas, se emplearon 16 ratas destetadas, adicionando ya fuese metionina, histidina y lisina, o metionina, histidina y lisina, a dietas con 10^o/o de proteína total.

Experimento 5. Se emplearon 20 ratas de 8 semanas de edad y se determinó la digestibilidad de la espirulina por el método de colección total de heces fecales.

Los datos referentes a nitrógeno endógeno se obtuvieron con la mitad de los animales, los cuales fueron alimentados con una dieta libre de proteína.

Experimento 6. Por último se efectuaron pruebas de digestibilidad *in vitro* utilizando los métodos de pepsina (10), de Barnes y Lynch (15), de Minson y McLeod (5) y una modificación a este último, consistente en destilar los ácidos grasos volátiles por arrastre con vapor después de 48 horas de digestión en líquido ruminal.

Se compararon espirulinas sin tratar y sometidas a procesos de autoclave (5, 10 y 15 lb/pulg.² durante 15 y 30 min); ebullición en agua (10 min, sin y con CaO al 2^o/o); sonicación de ultrafrecuencia (60,000 cps/20 min); acidificación (HCl 2N), y detergente (sulfato lauril sódico al 1^o/o).

RESULTADOS

Experimento 1. Los resultados de ganancia de peso y eficiencia proteica logrados con los diferentes niveles de L-lisina adicionados a la dieta con espirulina fueron estadísticamente inferiores a los obtenidos con la ración testigo ($p < 0.05$). Estos hallazgos, pues, parecen indicar que el requerimiento de lisina no se ve mayormente afectado por el elevado nivel de arginina encontrado en la espirulina (Tabla 2).

Experimento 2. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 3, donde se aprecia que los resultados logrados con 10^o/o de proteína verdadera a partir de espirulina fueron inferiores a los obtenidos con la ración testigo a base de soya ($p < 0.05$). Aunque no se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) al adicionar lisina, sí se notó que la conversión alimenticia tendía a mejorar en presencia del aminoácido suplementado.

Experimento 3. La adición de L-lisina con y sin L-histidina no

TABLA 2

SUPLEMENTACION DE NIVELES CRECIENTES DE L-LISINA A DIETAS A BASE DE ESPIRULINA PARA RATAS DURANTE DOS SEMANAS (EXPERIMENTO 1)

Ingredientes, %	Tratamientos					
	1*	2	3	4	5	6
Pasta de soya	23.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espirulina	0.0	19.60	19.60	19.60	19.60	19.60
DL-metionina	0.27	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
L-lisina	0.07	0.00	0.27	0.44	0.62	0.79
Otros**	76.16	80.11	79.84	79.67	79.49	79.32
Lisina, como % del requerimiento	100.00	62.00	100.00	125.00	150.00	175.00
Ganancia de peso, g	42.3 ^a	21.9 ^b	18.6 ^b	16.8 ^b	15.3 ^b	17.4 ^b
Indice de eficiencia proteica	3.85 ^a	2.08 ^b	1.86 ^b	1.57 ^b	1.69 ^b	1.92 ^b
Consumo de alimento, g	111.0	92.5	102.0	103.0	62.0	94.50

* Dieta testigo empleada en los experimentos 1, 2 y 3.

** Incluye aceite de maíz, 50/o; mezcla de vitaminas y minerales 50/o (12); y azúcar, cbp 100.

a,b Para cada variable, las cifras con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

TABLA 3

**SUPLEMENTACION CON L-LISINA DE DIETAS CON 10% DE
PROTEINA VERDADERA PROVENIENTE DE ESPIRULINA, PARA
RATAS, DURANTE UNA SEMANA (EXPERIMENTO 2)**

Ingrediente, %	Tratamientos		
	1*	2	3
Espirulina	Testigo	22.03	22.03
DL-metionina	Testigo	0.13	0.13
L-lisina	Testigo	0.00	0.20
Otros**	Testigo	77.84	77.64
Ganancia de peso, g	33.2 ^a	11.2 ^b	12.5 ^b
Indice de eficiencia proteica	3.40 ^a	1.50 ^b	1.64 ^b

*, **, a,b Véase notas al pie de la Tabla 2.

mejoró el comportamiento de las ratas, lo que parece indicar que, para estos animales, ninguno de los aminoácidos mencionados es limitante en el alga (Tabla 4).

Experimento 4. Los resultados de comportamiento observados se presentan en la Tabla 5. No se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, lo que al parecer indica que ninguno de los aminoácidos sometidos a prueba es limitante en la proteína de la espirulina.

Experimento 5. La digestibilidad corregida a nitrógeno endógeno, fue de 67.4% para el alga espirulina.

Experimento 6. Los hallazgos correspondientes a las pruebas de digestibilidad *in vitro* se muestran en la Tabla 6. No se observó diferencia significativa entre tratamientos con ninguno de los métodos empleados. Esto parece indicar que los tratamientos físicos y químicos sometidos a estudio no lograron modificar la digestibilidad del producto.

TABLA 4

SUPLEMENTACION CON L-HISTIDINA, DE DIETAS CON 10⁰/o DE PROTEINA VERDADERA PROVENIENTE DE ESPIRULINA, PARA RATAS, DURANTE UNA SEMANA (EXPERIMENTO 3)

	Tratamientos		
	1*	2	3
Espirulina	Testigo	22.03	22.03
DL-metionina*	Testigo	0.13	0.13
L-lisina HCl*	Testigo	0.00	0.20
L-histidina HCl*	Testigo	0.128	0.128
Otros**	Testigo	77.712	77.512
Lisina, como ^o /o del requerimiento	100.00	70.00	100.00
Histidina, como ^o /o del requerimiento	100.00	100.00	100.00
Ganancia de peso, g	33.2 ^a	20.2 ^b	15.5 ^b
Indice de eficiencia proteica	3.40 ^a	2.24 ^b	1.90 ^b

*, **, a,b Véase notas al pie de la Tabla 2.

TABLA 5

EFFECTO DE LA ADICION DE AMINOACIDOS, SOLOS O EN COMBINACION, A DIETAS A BASE DE ESPIRULINA, PARA RATAS, DURANTE TRES DEMANAS (EXPERIMENTO 4)

	Tratamientos			
Espirulina	19.60	19.60	19.60	19.60
DL-metionina	0.00	0.30	0.30	0.30
L-lisina HCl*	0.00	0.00	0.35	0.35
L-histidina HCl*	0.00	0.00	0.15	0.15
Otros**	80.40	80.10	79.90	79.60
Ganancia de peso, g	26.2 ^a	28.6 ^a	29.3 ^a	27.5 ^a
Indice de eficiencia proteica	1.33 ^a	1.83 ^a	1.71 ^a	1.65 ^a

* Se consideró que la espirulina proporcionaba el 50⁰/o del requerimiento (15).

** , a Véase notas al pie de la Tabla 2.

TABLA 6

**EFFECTO DE TRATAMIENTOS FISICOS Y QUIMICOS EN LA
DIGESTIBILIDAD *in vitro* DEL ALGA ESPIRULINA,
DETERMINADA POR CUATRO DIFERENTES METODOS**

Tratamiento	PVD* o/o	o/o Materia seca digestible		AGV ^o o/o
		**	***	
Sin tratar	34.3	75.2	77.3	14.27
HCl, 2N	37.0	78.5	76.6	16.21
Cocimiento Ca (OH) ₂	37.0	72.9	76.2	14.74
Autoclave 5 lb/15 min	34.9	73.9	75.8	11.31
Autoclave 5 lb/30 min	34.4	76.2	76.1	17.41
Autoclave 10 lb/15 min	33.6	73.6	76.4	17.66
Autoclave 10 lb/30 min	32.7	75.7	76.1	16.46
Autoclave 15 lb/15 min	34.3	76.6	75.9	14.57
Autoclave 15 lb/30 min	37.0	75.5	74.8	18.10
Sulfato lauril sódico, 1 ^o /o	36.4	75.4	77.1	15.15
Sonificación durante 20 min	35.5	76.3	75.8	15.23
Cocimiento en agua, 10 min	36.7	77.8	75.4	

- * Proteína verdadera digestible, AOAC (1), base seca, promedio de 3 repeticiones.
- ** Barnes y Lynch (15), promedio de 9 repeticiones.
- *** Minson y McLeod (5) promedio de 9 repeticiones.
- Acidos grasos volátiles, calculados como ácidos acéticos, promedio de 6 repeticiones.

DISCUSION

A partir de los resultados obtenidos en los Experimentos 1, 3 y 4 se infiere que aparentemente para la rata, la lisina no es el primer aminoácido limitante en la espirulina, ya que a pesar de los niveles tan elevados de arginina en el alga, no se observó ningún efecto al agregar lisina. La adición de histidina a raciones que contenían cantidades óptimas y subóptimas de lisina no tuvo efecto alguno, como tampoco lo tuvo la suplementación de metionina a dietas preparadas con y sin lisina-histidina. Todo esto sugiere que quizás exista un factor que limita el uso de la espirulina, el

cual, incluso, enmascara las respuestas a los aminoácidos. Este factor podría ser un nivel elevado de compuestos nitrogenados no-proteicos, difíciles de digerir por la rata, o bien una baja digestibilidad de las paredes celulares de la espirulina y, por lo tanto, del alga.

La duración de los experimentos fue variable debido a que los animales que recibieron los tratamientos con espirulina se encontraban en condiciones pobres.

Los tratamientos físico-químicos a que se sometió la espirulina no mejoraron la digestibilidad en pepsina ni en líquido ruminal. En el primer caso, podría ser que el método aplicado no hubiese sido lo suficientemente sensible para este tipo de muestra, ya que la AOAC lo recomienda para proteínas de origen animal (10).

En la digestibilidad *in vitro* en líquido ruminal, los dos métodos empleados no detectaron diferencias entre tratamientos, ni filtrando la materia residual, ni destilando los ácidos grasos volátiles. Merino y col. (1) señalan que la digestibilidad de la espirulina para borregos es de 65.34% al proporcionar el alga como única fuente de proteína. Estos resultados y los obtenidos en la determinación de digestibilidad aparente confirman la suposición de que la espirulina tiene una baja disponibilidad, lo que está en desacuerdo con el NRC (13), que señala para la espirulina una digestibilidad en ratas de 84%. En las determinaciones realizadas por nosotros, se utilizó espirulina como única fuente de proteína, hecho que bien podría explicar esta discrepancia en los resultados, ya que en tales condiciones se acentuarían una serie de problemas como son el de la escasa palatabilidad de la espirulina o algún desbalance de los aminoácidos; también podría haber diferencias en la energía metabolizable de las raciones. Gutton (16) señala una energía metabolizable de la espirulina de 330 cal/kg para el cerdo. Los resultados obtenidos por nosotros aparentemente indican un valor inferior para la rata al obtenido para el cerdo. Robles, Soriano-Torres y Shimada (17) encontraron que la sustitución total de la soya de raciones para cerdos de abasto disminuye la ganancia de peso de los animales y aumenta la conversión alimenticia. Merino y colaboradores (1) en sus estudios con becerros no observaron diferencia en cuanto a aceptación ni en lo referente a aumento de peso entre una dieta preparada con pasta de ajonjolí y otra con espirulina-sorgo como sustituto del ajonjolí de la primera.

De los resultados obtenidos podemos, pues, concluir que la

utilización de la espirulina está limitada por su baja digestibilidad en raciones en las que está presente como fuente única de proteína, y por su baja palatabilidad.

SUMMARY

STUDIES ON THE NUTRITIVE VALUE OF SPIRULINE ALGAE (*Spirulina maxima*)

Nine experiments were conducted, five of them *in vivo* to determine the limiting amino acids and digestibility of spiruline algae for the rat, and four *in vitro* to determine the digestibility of the product in pepsin and ruminal liquid. None of the amino acids studied (lysine, methionine, histidine) added alone or in combination to 10% protein (either crude or true) diets provided exclusively by spiruline, seems to be limiting, although the results could be masked by the low palatability and acceptability of the product by the rats. The apparent digestibility of the algae was 67.4%. For the *in vitro* tests, the algae were subjected to several physical or chemical treatments, and the digestibility of the resulting product determined by four different techniques. In no case did the tested treatments have any effect on its digestibility.

BIBLIOGRAFIA

1. Merino H. y col. Evaluación del alga espirulina como fuente de proteína para rumiantes. *Memorias del 11º Coloquio Franco-Mexicano de Alga Spirulina*. México, D. F., México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1975.
2. Durand-Chastel. Tecuitlatl (Espirulina). En: *Memorias del 11º Coloquio Franco-Mexicano de Alga Spirulina*. México, D. F., México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1975.
3. Fevrier C. Etat d'avancement des travaux sur l'utilisation des algues spirulines dans l'alimentation des porcs. En: *Coloquio sur la Valeur Nutritionnelle des Algues Spirulines*. Institut Francais du Petrole, France, 1973.
4. Martínez, N G. & J. W. Pérez. Chromatographic separation of pigments in *Spirulina maxima* (*Algae cyanophyceae*). *Carib. J. Sci.*, 11:211-214, 1971.
5. Minson, D. W. & M. N. McLeod. The *in vitro* technique; its modification for estimating digestibility of large numbers of tropical pastures. (Technical paper). 8th Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia, 1972.

6. Avila, G. E. & M. Cuca. Efecto de la alga espirulina (*Spirulina geitleri*) sobre la pigmentación de la yema de huevo. *Téc. Ped. en Méx.*, 26:47-48, 1974.
7. Avila, G. E. Valor nutritivo y pigmentante de la alga espirulina en dietas para gallinas. En: *Memorias del 11^o Coloquio Franco-Mexicano de Alga Spirulina*. México, D. F., México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1975.
8. Fernández, C. L. Efectos sobre el crecimiento y pigmentación en peces alimentados con alga espirulina. En: *Memorias del 11^o Coloquio Franco-Mexicano de Alga Spirulina*. México, D. F., México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1975.
9. Nutrient requirements of laboratory animals. Washington, D. C., National Academy of Sciences, 1972.
10. Association of Official Agricultural Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 10th ed. Washington, D.C., The Association, 1965.
11. Miller, E. L. Determination of the tryptophan content of feedingstuffs with particular reference to cereals. *J. Sci. Food Agr.*, 18:381-386, 1967.
12. Jacobs, M. B. *The Chemical Analysis of Food and Food Products*. New York, N. Y., D. Van Nostrand Co. Inc., 1965.
13. National Research Council - National Academy of Sciences. *Under-exploited Plants with Promising Economic Value*. Washington, D. C., Board on Science and Technology for International Development, 1975.
14. Jones, J. D., R. Walters & P. C. Burnett. Lysine-arginine-electrolyte relationships in the rat. *J. Nutr.*, 89:171-188, 1966.
15. Barnes, R. F. & W. G. Lynch. Two stages *in vitro* rumen fermentation technique. U. S. Regional Pasture Research Laboratory, University Park, Penna., 1972.
16. Gutton, M. Etude sur poulet jaune des algues spirulines de L'IFP. Union des Fabricants d'Aliments Composés Vigny, France, 1970.
17. Robles, C. A., J. Soriano-Torres & A. Shimada. -El valor del alga espirulina (*Spirulina geitleri*) para el cerdo de abasto. *Téc. Pec. en Méx.*, 28:13-16, 1975.