

EFFECTO DEL PROCESAMIENTO Y DE LA SUPLEMENTACION CON AMINOACIDOS SOBRE LA CALIDAD PROTEINICA DEL AMARANTO (*Amaranthus caudatus*)¹

Ana Imeri,² Rafael Flores,³ Luiz G. Elías⁴ y Ricardo Bressani⁵

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP),
Guatemala, Guatemala, C. A.

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo con el propósito de evaluar el efecto del procesamiento térmico en la calidad de la proteína del amaranto (*A. caudatus*). Asimismo, se trató de establecer el orden de las deficiencias de aminoácidos esenciales que, el puntaje químico sugiere, son limitantes de la calidad de la proteína.

Los granos de *A. caudatus* se sometieron a cocción en agua en el autoclave a 15 lb de presión por 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos. Una vez cocidos, las muestras fueron deshidratadas con aire caliente a 60°C y convertidas en harinas. Estas muestras fueron analizadas para determinación de taninos, inhibidores de tripsina, hemaglutininas (con eritrocitos de vaca, de carnero y de humanos), almidón dañado, lisina disponible, calidad proteínica (por el método de NPR), y digestibilidad verdadera. Los resultados obtenidos indicaron que las harinas (de 0 a 60 min de cocción) no contenían inhibidores de tripsina y que el contenido mínimo de taninos, expresado como catequina, desaparecía después de 30 min de cocción. Las cantidades de estas sustancias antifisiológicas en el material crudo son tan pequeñas que, se considera, no constituyen factores que reduzcan la calidad del producto. Se obtuvo una respuesta positiva

Manuscrito modificado recibido: 29-8-86.

- 1 Este estudio se llevó a cabo con fondos provistos por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos — BOSTID, con sede en Washington, D.C. (Programa INC-NUT-381/PN/85-85/CA).
- 2 Becaria del Curso de Postgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos del Centro de Estudios Superiores en Nutrición y Ciencias de Alimentos (CESNA), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia/ INCAP.
- 3 Estadístico del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).
- 4 Científico, División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP.
- 5 Coordinador de Investigación y Jefe de la citada División, Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Apartado Postal 1188, Guatemala, Guatemala, C. A.

Publicación INCAP E-1214.

a hemaglutininas, más fuerte a extractos humanos, las que desaparecieron con respecto al tiempo de cocción, después de 10 min para los eritrocitos de vaca y de carnero, y después de 20 min para los de humanos. El tiempo de cocción incrementó el almidón dañado, lo que era de esperar, y se pudo notar un ligero aumento en lisina disponible, lo cual no se logró explicar satisfactoriamente. No hubo cambios importantes en cuanto a digestibilidad verdadera de la proteína en relación a tiempo de cocción. Una vez más los hallazgos demostraron un efecto positivo del tratamiento térmico en la calidad de la proteína, sugiriendo la presencia de sustancias de acción antifisiológica, o falta de biodisponibilidad de nutrientes en crudo. La calidad proteínica (NPR y digestibilidad) no se vio substancialmente alterada por mayores tiempos de cocción, por lo que se concluyó que un tiempo adecuado para el tipo de procesamiento utilizado en el estudio objeto de esta comunicación, es de 10 minutos.

Se uso una muestra de *A. caudatus* procesada de esta manera para los estudios de suplementación con treonina, metionina y leucina, individualmente, y junto con 8.0, 9.5 y 11.00% de proteína, respectivamente, en la dieta. Los resultados revelaron que los mayores valores de NPR se observan con 8.0 y 9.50% de proteína. No se detectaron efectos claros con la adición de los aminoácidos, pero sí una interacción entre la proteína de la dieta y los aminoácidos. Tampoco se observó ningún efecto con la adición de leucina, lo cual sugiere que no es limitante. Es posible que la treonina sea el aminoácido más limitante, pero los efectos fueron reducidos posiblemente por el nivel agregado a las dietas. Tampoco se constató efecto alguno sobre la digestibilidad de la proteína.

INTRODUCCION

El estudio del amaranto ha cobrado creciente importancia ya que es una especie subutilizada en la que tanto sus granos como sus hojas son fuentes de proteína de alta calidad (1-6). Sin embargo, a pesar de su excelente calidad química, las investigaciones realizadas concluyen que los aminoácidos de la proteína en la harina cruda de amaranto no se encuentran del todo disponibles, o bien que la harina cruda contiene sustancias que interfieren con la utilización biológica de sus nutrientes (7-13).

Son escasos los estudios que han tratado de identificar los posibles factores tóxicos de la planta de amaranto, y los resultados obtenidos son, algunas veces, contradictorios (7, 8, 10, 14).

Un aspecto muy importante en la evaluación de la calidad nutricional de especies vegetales lo constituye el efecto del procesamiento térmico. En general, los tratamientos térmicos severos afectan la calidad nutricional de la proteína (15-17), pero los calentamientos controlados incrementan el valor nutritivo. Ello se debe a la inactivación de factores antifisiológicos (16-19), o bien al incremento en la disponibilidad de aminoácidos (7, 10, 13, 20).

Las investigaciones emprendidas para evaluar el efecto del tratamiento térmico en el amaranto han determinado que las semillas no tratadas son de baja calidad comparada con los controles de caseína utilizados. No obstante, el valor nutritivo mejora notablemente con tratamientos térmicos controlados (7, 9, 10, 13, 21). Por el contrario, los tratamientos térmicos severos tal como el tostado de las semillas de amaranto, disminuye notoriamente su calidad (7, 9, 20).

Entre los factores importantes que determinan la calidad de la proteína pueden mencionarse su contenido, balance, y disponibilidad de aminoácidos esenciales. De acuerdo al puntaje químico, varios autores han señalado que el aminoácido limitante en la proteína de amaranto es la leucina (7, 8, 10), pero no se ha informado sobre estudios biológicos que sustenten esta aseveración. Algunos de los resultados referentes a este aspecto sugieren que, biológicamente, la treonina y no la leucina constituye el aminoácido esencial más limitante en la proteína de amaranto (9, 13). Sin embargo, este aspecto requiere de investigaciones más a fondo, ya que la adición de metionina al amaranto procesado se ha traducido en un mejoramiento en calidad (9, 13).

MATERIAL Y METODOS

En este estudio se procedió a mezclar en cantidades iguales semillas de 25 variedades de *A. caudatus*, las cuales fueron sembradas y cosechadas en la Finca Experimental del INCAP, ubicada en San Raymundo Sacatepéquez, Guatemala, a 1,500 m de altura sobre el nivel del mar. La variabilidad en rendimiento, en características físicas de los granos, composición química y calidad proteínica de estas 25 selecciones han sido ya informadas (22).

La cantidad total fue dividida en dos porciones. La primera se utilizó para evaluar el efecto del procesamiento térmico sobre la calidad proteínica, y determinación de algunos factores antinutricionales. Para estos propósitos se subdividió esta porción en siete muestras, cada una de las cuales fue sometida a cocción en agua hirviendo (relación 3:1) en marmitta, con una presión de vapor de 10 psi, durante 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min, respectivamente. Después de la cocción cada muestra se secó en horno con aire a 60°C, y luego se molió en un molino de martillos Raymond. Una de las muestras no recibió ningún tratamiento térmico, y sólo fue molida en la forma ya indicada.

A las harinas así obtenidas se les determinó inhibidores de tripsina según el método de Kakade y Evans (23); hemaglutininas, según la metodología descrita por Jaffé y Brucher (18), ensayando la reacción con eritrocitos humanos tipo O positivo, de vaca y de carnero; taninos, expresados como catequinas, por el método propuesto por Price, Van Scowoc y Butler (24); almidón dañado, por el método descrito por Farand (25); proteína por el método macro Kjeldhal (26); y lisina disponible por el procedimiento descrito por Carpenter (15).

Con cada una de las siete muestras se prepararon dietas con un nivel de proteína de 9%, agregándole a cada una 4% de sales minerales (27), 1% de aceite de hígado de bacalao, 5% de aceite vegetal y almidón de maíz hasta completar 100%. Además, se les agregó 5 ml de una solución de vitaminas por cada 100 g de dieta (28).

Estas dietas fueron usadas para alimentar ratas recién destetadas (21 días de edad), raza Wistar, de la colonia animal del INCAP, cuyo peso oscilaba entre 40 y 50 g, asignando a cada dieta cuatro hembras y cuatro machos.

Se preparó una dieta control de caseína al mismo nivel de proteína, y otra dieta libre de nitrógeno. Los animales fueron alojados en jaulas

individuales de tela metálica, y se alimentaron *ad libitum*, recolectándose datos de cambio de peso y consumo de alimento cada siete días. Las heces de los animales experimentales se recolectaron durante la segunda semana de iniciado el experimento, luego se secaron en horno a 60°C, y después se limpiaron con aire y se molieron en un molino Wiley para su análisis de nitrógeno, el cual fue también determinado en las dietas.

La calidad proteínica se estableció por el índice de razón proteínica neta (NPR), el cual se define como la ganancia de peso del grupo experimental corregido por la pérdida de peso de otro grupo igual, pero alimentado con una dieta libre de nitrógeno, dividido por la ingesta proteínica (14). La digestibilidad verdadera de la proteína fue calculada con la fórmula $(N_i - (N_f - N_{fe})/N_i) 100$, donde N_i = nitrógeno ingerido, N_f = nitrógeno fecal y N_{fe} = nitrógeno fecal endógeno. El ensayo duró 14 días.

Con la segunda porción de amaranto, se procedió a evaluar el efecto del nivel proteínico y de la suplementación con aminoácidos en la calidad nutricional de la proteína de amaranto. Para estos propósitos, el grano se procesó en autoclave por 10 min a 15 lb de presión (131°C) y luego se deshidrató con aire a 60°C y se convirtió en harina como ya se indicó.

A la harina obtenida se le determinó el contenido de nitrógeno por medio del método de Kjeldahl. Posteriormente, el material se dividió en tres partes, cada una de las cuales se incorporó a dietas para ensayo con ratas, ajustando el nivel proteínico a 8, 9.5 y 11%, respectivamente. Para cada nivel proteínico se prepararon cinco dietas, las cuales fueron suplementadas con aminoácidos de la siguiente forma: a una se le agregó DL-treonina al 0.20%, a otra L-leucina al 0.20%, a la tercera DL-metionina al 0.20% y una cuarta dieta fue suplementada con 0.20% de cada uno de los siguientes aminoácidos: DL-treonina + L-leucina + DL-metionina. La última, o sea la quinta, no se suplementó, sirviendo como control.

A todas las dietas se les determinó nitrógeno por macro Kjeldahl, y finalmente fueron usadas para los ensayos biológicos de NPR y digestibilidad, según se describió.

Las pruebas estadísticas empleadas para el análisis de resultados fueron las siguientes: análisis de varianza, prueba de intervalos de confianza de comparaciones múltiples de Tukey, análisis de ecuaciones polinomiales, pruebas de contrastes ortogonales y prueba de regresión múltiple (12).

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del Procesamiento Térmico, sobre la Calidad Proteínica y Contenido de Algunos Factores Antinutricionales

En la Tabla 1 se resumen los resultados de la evaluación biológica de amaranto, el cual fue sometido a cocción con agua durante diferentes tiempos, de 0 a 60 min.

Según se observa, la NPR obtenida para la muestra de amaranto crudo fue de 2.31, mientras que las NPR para las muestras tratadas térmicamente oscilan entre 3.19 y 3.59. En base al análisis de varianza pudo establecerse que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) en las NPR obtenidas para los diferentes tiempos de cocción ensayados.

TABLA 1

EFFECTO DEL PROCESAMIENTO TERMICO EN SEMILLAS DE
Amaranthus caudatus

Tiempo de cocción (min)	NPR*	Digestibilidad verdadera (o/o)	Algodón dañado (o/o)	Lisina disponible (g/g N)
0	2.31	82	0	0.38
10	3.59	79	31	0.39
20	3.38	81	48	0.34
30	3.28	80	54	0.40
40	3.19	81	56	0.36
50	3.30	79	56	0.44
60	3.44	79	100	0.42

* Razón proteínica neta.

La tendencia observada (Figura 1) se ajusta a un polinomial grado 3 que fue significativo, estableciéndose el siguiente modelo de regresión cúbica:

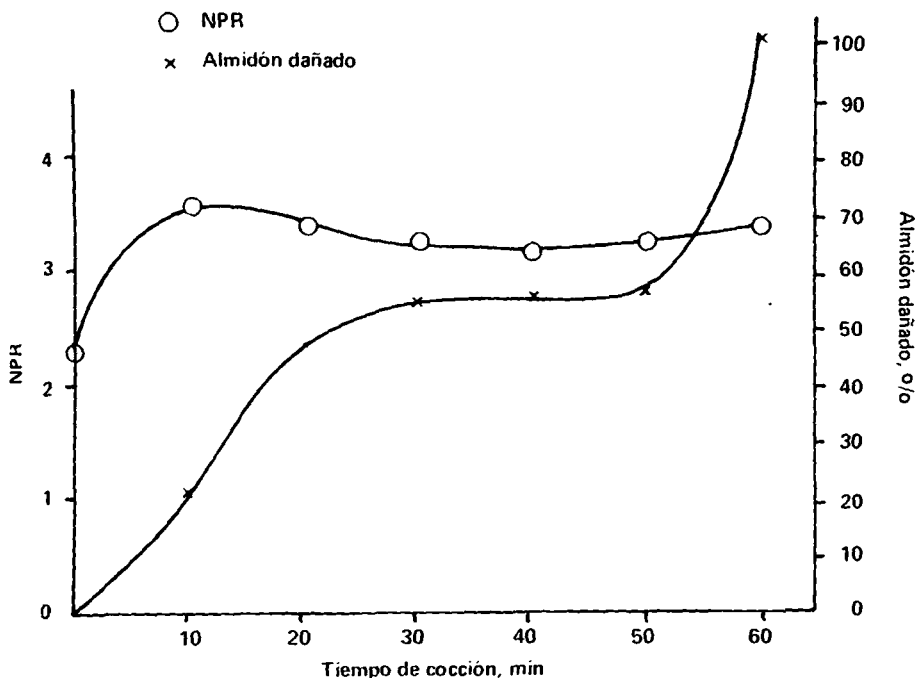
$$Y = 2.4206 + 0.1275X - 0.0045 X^2 + 0.0000444 X^3, \text{ con un coeficiente de determinación de } 43\text{o/o.}$$

El valor obtenido para la NPR de 2.31 de la harina cruda, es el mismo que el que Bressani (9, 20) obtuvo para *A. caudatus crudo*.

El significativo incremento en NPR del amaranto crudo a cocido, confirma una vez más la existencia de factores antinutricionales termolábiles presentes en el amaranto crudo. Estos son destruidos con tratamientos térmicos relativamente débiles y, al ser eliminados, mejoran notablemente su valor nutricional.

En cuanto a los resultados de digestibilidad proteínica verdadera, éstos se encuentran en un rango de 79 a 82o/o y se logró establecer que no existe ninguna tendencia en la respuesta obtenida con respecto a los diferentes tiempos de cocción sometidos a ensayo. El análisis de varianzas demostró que no hay diferencia significativa ($P < 0.05$) en las respuestas con respecto a los tiempos de cocción, por lo que las digestibilidades de las muestras con amaranto cocido son exactamente iguales a las de la muestra cruda. Más aún, en un estudio anterior, el *A. caudatus* fue cocido y deshidratado con rodos, habiéndose encontrado valores de digestibilidad proteínica verdadera que variaron de 76 a 82, con un promedio de 80o/o, que no difieren de los informados en el presente estudio (20, 21).

A partir de los datos de NPR y de la digestibilidad proteínica verdadera, se puede concluir que el procesamiento térmico favoreció la utilización de los nutrientes del grano de amaranto, destruyendo los factores antinutricionales y/o aumentando la biodisponibilidad de nutrientes sin afectar la digestibilidad de la proteína. En otro estudio (9, 13, 20, 21) tampoco



Incap 86-24

FIGURA 1

Efecto del procesamiento térmico en el índice biológico, NPR y almidón dañado de *Amaranthus caudatus*

se pudo demostrar una mejor digestibilidad de la materia seca ingerida, ni la digestibilidad de la energía.

En lo que al proceso empleado se refiere, es posible que éste no sea el más adecuado para mejorar la digestibilidad. Se ha podido observar (20) que la digestibilidad de las semillas de amaranto mejora cuando son reventadas aplicando calor seco, o bien en otras especies se ha logrado comprobar que la digestibilidad se mejora cuando se utiliza un proceso de cocción a 15 lb de presión, no sucediendo así cuando se utiliza cocción a presión atmosférica (29, 30).

Para el propósito de establecer criterios de tiempo de cocción óptimo, ninguno de los dos criterios empleados, NPR y digestibilidad, resultó ser adecuado. Sin embargo, en vista de que con el tiempo de cocción de 10 min se obtuvo una mejora considerable de la calidad nutricional del amaranto, y por el ahorro energético que representa cocer las semillas durante dicho tiempo, es que se puede recomendar 10 min de cocción como el adecuado en el caso de *A. caudatus*.

Biológicamente, sería de esperar que la respuesta hubiese sido máxima a un tiempo determinado de cocción y luego disminuyese gradualmente conforme el tiempo de aplicación de calor fuese mayor; sin embargo, para

el caso específico de *A. caudatus* esto no sucedió en esa forma. Como se había expresado anteriormente, el modelo de regresión es cúbico, lo que indica que al principio se observa un incremento en la calidad nutritiva, disminuyendo luego para incrementarse de nuevo posteriormente con el aumento en el tiempo de cocción (Figura 1). Al evaluar el almidón dañado en las harinas tratadas durante 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min, se encontraron valores de 0, 31, 48, 54, 56, 56 y 100% de almidón dañado, respectivamente (Tabla 1).

Al observar la Figura 1 —en la que se encuentran las tendencias en NPR y almidón dañado con respecto al tiempo de cocción— pareciera ser que la mejora considerable de NPR a los 10 min de cocción se debiese a la inactivación de algún factor antinutricional termolábil. Es posible que la segunda mejora, observada a los 60 min, se deba al daño que el almidón sufre en este tiempo de cocción, el cual es de 100%. Es posible que la desintegración de los gránulos de almidón permita el ataque de las enzimas proteolíticas y aminolíticas e incremente la disponibilidad de nutrientes del amaranto.

En apoyo a estos hallazgos, se ha establecido que el mayor componente de las semillas de amaranto es el almidón, que constituye el 62% (4, 7, 8, 10, 31) del peso del grano.

Asimismo, se ha postulado que el almidón de *A. retroflexus* (4, 8, 10) tiene un efecto semejante y que las enzimas proteolíticas y aminolíticas fallan en disgregar el almidón; sin embargo, cuando los granos de amaranto se ebulen, se rompe el almidón e incrementa la disponibilidad de nutrientes. En la Tabla 1 se presentan también los resultados obtenidos en cuanto a lisina disponible. Según revelan los datos, se encontró un incremento lineal significativo ($P < 0.05$) al aumentar el tiempo de cocción. Es un hecho conocido que la lisina es muy afectada por el tratamiento térmico, disminuyendo conforme más severo sea éste. No obstante, la tendencia observada en el ensayo que comentamos, puede deberse a una mayor accesibilidad de la lisina a los reactivos químicos usados para determinar lisina disponible, en vista de que el mayor tiempo de cocción indujo un mayor desdoblamiento del almidón del grano.

El análisis de los factores antinutricionales de *A. caudatus* (Tabla 2) demostró que no hay inhibidores de tripsina en esta especie. Por otro lado, la concentración de taninos expresados como catequinas fue del orden de 0.09 a 0.15 g/o tanto para la harina cruda como para las cocidas de 10 a 30 min; después de 40 min de cocción, no se detecta su presencia. En cuanto a la determinación de hemaglutininas, se detectaron contra eritrocitos de vaca, de humanos y de carnero, siendo los mayores títulos encontrados de 4, 6 y 4, respectivamente, con la harina cruda. No se constataron hemaglutininas contra eritrocitos de vaca ni de carnero en las harinas cocidas durante 10 a 60 min, pero sí contra eritrocitos de humanos en las harinas cocidas durante 10 y 20 min; después de este tiempo la reacción fue negativa también contra este tipo de eritrocitos. Los resultados a que se alude indican que el *A. caudatus* contiene hemaglutininas que se destruyen con el calor, y que las hemaglutininas que reaccionan contra eritrocitos humanos se encuentran en mayor cantidad y son relativamente más resistentes a su destrucción por el calor.

Los valores de hemaglutininas determinados en *A. caudatus* son similares a los encontrados en *A. leucocarpus* (8). En la misma forma se

TABLA 2

FACTORES ANTINUTRICIONALES EN *A. caudatus* Y SU COMPORTAMIENTO CON EL TRATAMIENTO TERMICO

Tiempo de cocción (min)	Hemaglutininas*			Taninos** (g ^o /o)	Inhibidores de tripsina (UIT)
	Vaca	Humana	Carnero		
0	4	6	4	0.015	0
10	0	2	0	0.015	0
20	0	1	0	0.009	0
30	0	0	0	0.015	0
40	0	0	0	0.000	0
50	0	0	0	0.000	0
60	0	0	0	0.000	0

* Lecturas expresadas como título hemaglutinante representan la dilución de la muestra hasta la cual se ha producido aglutinación de los eritrocitos; el 0 debe interpretarse como reacción negativa (no hay aglutinación).

** Taninos expresados como catequinas.

detecta su presencia en crudo, pero no cuando las semillas se someten a procesos térmicos, ya que es un hecho conocido que las fitohemaglutininas se destruyen completamente después de 20 min en el autoclave (17, 19).

Algunas lectinas o fitohemaglutininas son proteínas extremadamente tóxicas para los animales, y en algunos casos (las lectinas) sólo constituyen uno de los factores que contribuyen al bajo valor nutricional de los alimentos (17, 19). A juzgar por los resultados obtenidos en *A. caudatus*, aparentemente las hemaglutininas constituyen el factor o uno de los factores responsables de la baja calidad nutricional de las harinas crudas. No obstante, todavía es difícil indicar cuál es el factor tóxico responsable del bajo valor nutritivo en crudo, y aunque parece existir cierta correlación entre el mejor valor nutricional y la destrucción de hemaglutininas, no necesariamente puede establecerse una relación causal.

En *A. leucocarpus* se ha informado la presencia de inhibidores de tripsina (8), pero en este trabajo con la especie de *A. caudatus* al igual que en las especies de amaranto trabajadas por Calderón *et al.* (32), no se encontró actividad antitriptica.

En lo referente al contenido de taninos expresados como equivalentes de catequina, se encontró que en *A. caudatus* ese contenido (0.015^o/o) es mucho menor que la informada para otras especies de amaranto (8) en las que se han determinado niveles de taninos de 0.043 a 0.116^o/o (equivalentes de catequina). A pesar de que los niveles detectados en este trabajo son significativamente inferiores a los niveles que causan problemas fisiológicos (17-19) sí podrían tener un efecto ligeramente perjudicial, dada la astringencia que le confieren a los alimentos que podrían desarrollarse a partir de amaranto (6, 8). En el estudio aquí descrito no se detectaron catequinas después de 30 min de cocción.

Por consiguiente, en el *A. caudatus* se pone de manifiesto el contenido tolerable de taninos en las semillas, al igual que lo notificado por algunos investigadores en estudios bromatológicos al respecto (7, 8, 10).

Efecto del Nivel Proteínico y Suplementación con Aminoácidos

Los resultados promedio de NPR para los diferentes niveles de proteína empleados (8, 9.5 y 11%) y de las dietas suplementadas con los aminoácidos se dan a conocer en la Tabla 3 y en la Figura 2.

TABLA 3

EFFECTO DEL NIVEL PROTENICO Y SUPLEMENTACION CON AMINOACIDOS EN EL INDICE DE RAZON PROTEINICA NETA (NPR)

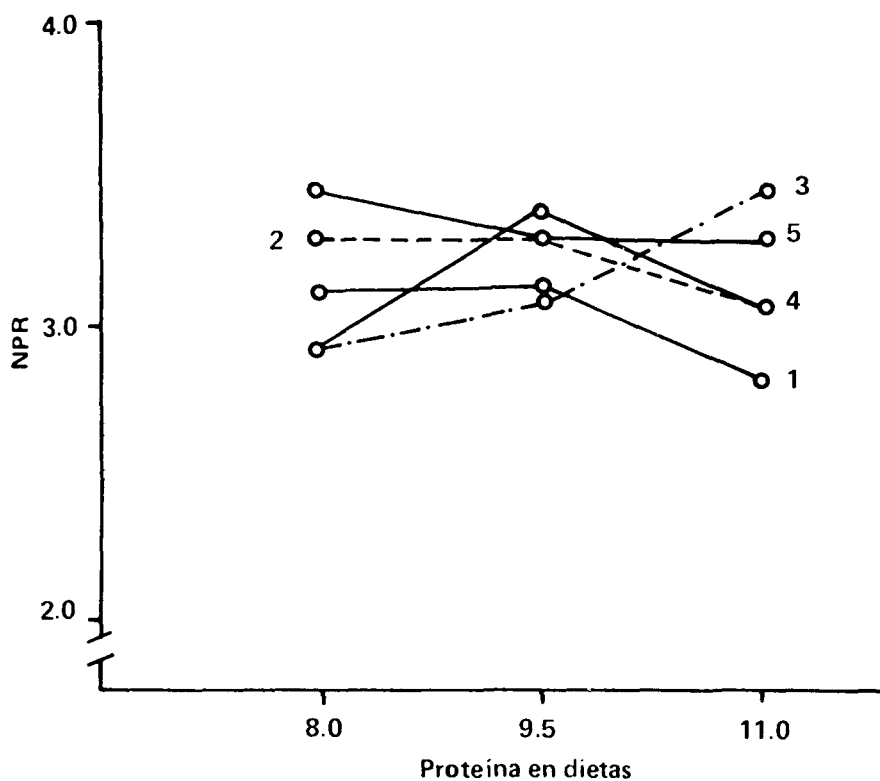
Proteína (%)	Dietas				
	1	2	3	4	5
8.0	3.11	3.29	2.92	2.91	3.45
9.5	3.16	3.27	3.08	3.38	3.30
11.0	2.82	3.03	3.45	3.15	3.28

- 1 = Dieta basal.
- 2 = Dieta basal + treonina (0.2%).
- 3 = Dieta basal + leucina (0.2%).
- 4 = Dieta basal + metionina (0.2%).
- 5 = Dieta basal + treonina + leucina + metionina (0.2% de c/u.).

El análisis de varianza de dos vías efectuado indicó que no hay diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en lo concerniente al nivel de proteína utilizado, ni con los aminoácidos suplementados (treonina, leucina y metionina). Sin embargo, la interacción entre proteína y aminoácido sí fue significativa ($P < 0.05$). En otros términos, aunque no tiene ningún efecto el elevar el nivel de proteína y el suplementar con los aminoácidos empleados, la combinación de un nivel de proteína con un aminoácido determinado provoca efectos adicionales.

Así, podemos establecer que se obtienen mejores valores de NPR cuando se suplementa con los tres aminoácidos a un nivel proteínico de 8% (NPR = 3.45), nivel en el que parece haber cierto efecto causado por la treonina. Al nivel proteínico de 9.5% la NPR es mayor (3.38) al suplementarse con metionina, y al de 11%, es mejor cuando se suplementa con leucina (NPR = 3.45).

Los resultados de la suplementación con aminoácidos son difíciles de interpretar. Se ha demostrado que la cantidad de proteína en la dieta desempeña un papel determinante en facilitar el establecimiento del aminoácido esencial que limita la calidad de la proteína. A niveles bajos de proteína en la dieta, la deficiencia del aminoácido más limitante se mag



- 1 = dieta basal con pool Amaranto
 2 = dieta basal + treonina (0.20/o)
 3 = dieta basal + leucina (0.20/o)
 4 = dieta basal + metionina (0.20/o)
 5 = dieta basal + treonina + leucina + metionina (0.20/o de c/u)

FIGURA 2

Incap 86-23

Efecto del nivel proteínico y suplementación con aminoácidos en el Índice de Razón Proteínica Neta (NPR)

nifica, pero si la cantidad adicionada es más de lo necesario, puede inducir la deficiencia del segundo limitante, y causar así imbalances. De acuerdo con lo expuesto, los resultados biológicos de este estudio no confirman que la leucina —que el cómputo químico señala como el aminoácido limitante— lo sea efectivamente, lo que viene a corroborar estudios anteriores (13). Por el contrario, parece ser que la treonina es el aminoácido limitante en primer término. Si su efecto no fue mayor es posible que ello se deba a que se adicionó en cantidades superiores a las requeridas. Al nivel de 80/o de proteína en la dieta, el agregado de metionina y

de leucina redujo la calidad, al comparar los respectivos valores de NPR con los del grupo control. Si esto no se hizo evidente con mayores niveles proteínicos, es porque con 11.00/o de proteína en la dieta, la proteína se estaba utilizando ineficientemente, ya que a este nivel la NPR fue menor que la obtenida a 8 y 9.50/o, respectivamente. Este aspecto de la calidad nutricional de la proteína de amaranto debe, por lo tanto, ser objeto de estudios futuros.

Los resultados de digestibilidad verdadera obtenidos al incrementar el nivel de proteína de 8 a 110/o y de suplementar con los aminoácidos leucina, treonina y metionina, se exponen en la Tabla 4. El análisis de varianza efectuado (ANOVA) demostró que la digestibilidad no se ve afectada por la suplementación con aminoácidos, pero sí lo es en forma significativa ($P < 0.05$) por el nivel de proteína en la dieta. El análisis de varianza efectuado, indicó que la digestibilidad de las dietas con un nivel de proteína de 8 y 9.50/o es igual ($X = 760/o$), pero ambas son significativamente distintas ($P < 0.05$) a las dietas cuyo contenido proteínico es de 110/o ($X = 780/o$). Este hecho indica que el nivel de proteína de 110/o mejora significativamente la digestibilidad de la proteína.

TABLA 4

EFFECTO DEL NIVEL PROTEINICO Y SUPLEMENTACION CON AMINOACIDOS EN LA DIGESTIBILIDAD VERDADERA DE LA PROTEINA

Proteína (o/o)	Dietas				
	1	2	3	4	5
8.0	77	75	78	77	77
9.5	76	78	75	76	75
11.0	76	79	80	77	80

- 1 = Dieta basal.
- 2 = Dieta basal + treonina (0.20/o).
- 3 = Dieta basal + leucina (0.20/o).
- 4 = Dieta basal + metionina (0.20/o).
- 5 = Dieta basal + treonina + leucina + metionina (0.20/o de c/u.).

La investigación aquí expuesta y discutida, debe ser aplicada a las otras especies de grano de amaranto con el propósito de hacer la mejor y más práctica utilización de este recurso de gran potencial nutricional.

SUMMARY

EFFECT OF PROCESSING AND OF AMINO ACID SUPPLEMENTATION ON THE PROTEIN QUALITY OF AMARANTH (*Amaranthus caudatus*)

The present study was undertaken to evaluate the effect of thermic processing on

the protein quality of amaranth (*A. caudatus*). It was also intended to establish the order of essential amino acid deficiencies suggested by the chemical score as limiting protein quality.

The *A. caudatus* grain was cooked in water in the autoclave at 15 lb pressure during 0, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 min. Once cooked, the samples were dehydrated with hot air at 60°C and ground into flours. These were analyzed for: tannins, trypsin inhibitors, hemagglutinins (with cow, sheep, and human erythrocytes), damaged starch, available lysine, protein quality (by the NPR method), and true digestibility. Results indicated that the flours (0 to 60 min cooked) did not contain trypsin inhibitors and that their small tannin content, expressed as catechin, disappeared after 30 min of cooking. The quantities of these antiphysiological substances in the raw material are so small that they do not constitute a factor that may cause a decrease of the product's quality. A positive response was obtained for hemagglutinins, stronger with human erythrocytes, which disappeared with cow's and sheep's erythrocytes after 10 min of cooking and with human erythrocytes, after 20 min. As expected, cooking time increased the damaged starch and a slight increase was observed in available lysine, a finding which was impossible to explain satisfactorily. There were no important changes in true protein digestibility with respect to cooking time. Once again, results demonstrated the positive effect thermic treatment had on protein quality, suggesting the presence of antiphysiological active substances or a low nutrient bioavailability in raw samples. Longer cooking times did not alter substantially the protein quality (NPR and digestibility) and it was concluded that 10 min of cooking is an adequate time for the type of processing used.

A sample of processed *A. caudatus* was utilized for the supplementation studies carried out with threonine, methionine, leucine, individually, or with the three amino acids together at 8.0, 9.5 and 1.0% protein in the diet. According to the results obtained, higher NPR values were observed with 9.0 and 9.5% protein content in the diet. No clear effects were detected when the amino acids were added, but there was an interaction between protein in the diet and amino acids. No effect occurred when leucine was added, suggesting that it is not a limiting amino acid. Possibly, threonine is a more limiting amino acid, but the effects were not as high, probably due to the level added to the diets. No effect was observed on protein digestibility.

BIBLIOGRAFIA

1. Cheeke, P. R. & J. Bronson. Feeding trials with amaranthus grain, forage and leaf protein concentrates. En: Proc. 2nd. Amaranth Conference. Kutztown, PA, Rodale Press, Inc., 1979, p. 5-11.
2. El Amaranto y su Potencial. (Boletín No. 1). Guatemala, Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 1983.
3. Marx, J. L. Amaranth: A comeback for the food of the Aztecs. Science, 198: 40, 1977.
4. Sánchez-Marroquín, A., S. Maya & J. L. Pérez. Agroindustrial potential of amaranth in Mexico. En: Proc. 2nd. Amaranth Conference. Kutztown, PA, Rodale Press, Inc., 1979, p. 95-104.
5. Sánchez-Marroquín, A. Dos cultivos olvidados, de importancia agroindustrial: El amaranto y la quinua. Arch. Latinoamer. Nutr., 33(1): 11-32, 1983.
6. Sánchez-Marroquín, A. Perspectivas biotecnológicas del sistema amaranto. En: Memoria del 1er. Seminario Nacional de Amarantho. Vol. I. México, 1984, p. 28-48.
7. Betschart, A. A., D. W. Irving, A. D. Shepherd & R. M. Saunders. *Amaranthus*

- cruentus*: Milling characteristics, distribution of nutrients within seed components, and the effects of temperature on nutritional quality. *J. Food Sci.*, 46(4): 1181-1187, 1981.
8. Bourges, A. Perfil bromatológico del amaranto. En: *Memoria del 1er. Seminario Nacional de Amaranto*. Vol. I. México, 1984, p. 252-270.
 9. Bressani, R. Calidad proteínica de la semilla de amaranto cruda procesada. En: *El Amaranto y su Potencial*. (Boletín No. 3). Guatemala, Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 1983.
 10. Carlsson, R. Quantity and quality of *Amaranthus* grain from plants in temperate, cold and hot, and subtropical climates. A review. En: *Proc. 2nd. Amaranth Conference*. Kutztown, PA, Rodale Press, Inc., 1979, p. 48-58.
 11. Tovar, L.R. & K. J. Carpenter. The effects of alkali-cooking of corn and supplementation with amaranth seed on its deficiencies in lysine and tryptophan. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 32(4): 961-972, 1982.
 12. Ott, L. *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*. Belmont, CA, Wadsworth Publishing Co., Inc., 1977.
 13. Bressani, R., J. M. González & L. G. Elías. INCAP, Program on amaranth grain. En: *Third Amaranth Conference*. Kutztown, PA, Rodale Press Inc., 1984.
 14. Bender, A. E. & B. H. Doell. Biological evaluation of proteins: A new aspect. *Brit. J. Nutr.*, 11: 140-148, 1957.
 15. Carpenter, K. J. The estimation of available lysine in animal protein foods. *Biochem. J.*, 77: 604-610, 1960.
 16. Del Valle, F. R. Nutritional qualities of soya protein as affected by processing. *JAACS*, 58: 419-429, 1981.
 17. Liener, I. E. Effect of heat on plant proteins. En: *Processed Plant Protein Foodstuffs*. A. M. Altschul (Ed.). New York, Academic Press, 1958, p. 79-129.
 18. Jaffé, W. G. & O. Brucher. Toxicidad y especificidad de diferentes fitohemaglutininas de frijoles (*Phaseolus vulgaris*). *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 22: 267-281, 1972.
 19. Liener, I. E. Toxic factors in edible legumes and their elimination. *Am. J. Clin. Nutr.*, 11: 281-298, 1962.
 20. Bressani, R. Efecto del procesamiento térmico o seco sobre la calidad proteínica del grano de amaranto. En: *Memoria del 1er. Seminario Nacional de Amaranto*. México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1984, p. 88-104.
 21. Bressani, R. & L. G. Elías. Development of 100% amaranth foods. En: *Third Amaranth Conference*. Kutztown, PA, Rodale Press, Inc., 1984.
 22. Imeri, A., J. M. González, R. Flores, L. G. Elías & R. Bressani. Variabilidad genética y correlaciones entre rendimiento, tamaño del grano, composición química y calidad de la proteína de 25 variedades de amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 37(1): 132-146, 1987.
 23. Kakade, M. L. & R. J. Evans. Growth inhibition of rats fed raw navy beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Nutr.*, 90: 191-198, 1966.
 24. Price, M. L., S. Van Scowoc & L. G. Butler. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin and sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.*, 26(5): 1214-1218, 1978.
 25. Farrand, E. A. Flour propriety in relation to the modern bread process in the United Kingdom with special reference to alpha-amylase and starch damage. *Cereal Chem.*, 41: 98-110, 1964.
 26. Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 11th ed. Washington, D. C., The Association, 1970.
 27. Hegsted, D. M., R. C. Mills, C. A. Elvehjem & E. B. Hart. Choline in the nutrition of chicks. *J. Biol. Chem.*, 138: 459-466, 1941.

28. Manna, L. & S. M. Hauge. A possible relationship of vitamin B₁₃ to orotic acid. *J. Biol. Chem.*, **202**: 91-96, 1953.
29. Bressani, R., L. G. Elías & M. R. Molina. Estudios sobre la digestibilidad de la proteína de varias especies de leguminosas. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, **27**(2): 215-231, 1977.
30. Bressani, R. & L. G. Elías. The problem of legume protein digestibility. En: *Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legume Breeders*. L. W. Billingslye (Ed.). Ottawa, IDRC, 1977, p. 61-72.
31. Becker, R., O. K. Grsoyea & K. Lorenzo. Saccharides and starch of grain amaranth. En: *Proc. 2nd Amaranth Conference*. Kutztown, PA, Rodale Press, Inc., 1979, p. 58.
32. Calderón, A. M., E. Zenteno, M. Valencia & J. L. Ochoa. Uso potencial de la semilla de amaranto en la obtención de un reactivo biológico y su relación con el valor nutritivo de la harina. En: *Memoria del 1er. Seminario Nacional de Amaranto*. Vol. I. México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 1984, p. 290-297.