

En: Agroindustria rural, recursos técnicos y alimentación. Boucher F, Muchnik J, eds. San José, Costa Rica, Serie Agroindustria Rural CIRAD-CIID-IICA No. 1, junio, 1995, p. 83-114.

AMARANTO: COMPOSICION QUIMICA Y VALOR NUTRITIVO DEL GRANO

Ricardo Bressani
Universidad del Valle de Guatemala/INCAP

Introducción

El valor que se le da a un producto alimenticio depende del número de atributos que posee, desde los aspectos particulares a su producción hasta aquéllos relacionados con su consumo, solo o como parte de un sistema alimentario. En el caso del amaranto -grano aparentemente muy popular entre las antiguas civilizaciones azteca, maya e inca-, su redescubrimiento como cultivo significativo potencial está bien respaldado por varios hechos de importancia como son: su fácil adaptación, desde el punto de vista agrícola, a las diferentes áreas del mundo; la tolerancia que demuestra a la sequía y altas temperaturas; y el hecho de que el grano posee una composición química y valor nutritivo muy atractivos, comparables y superiores en base similar a otros granos, ya sean cereales o leguminosas. El tema de esta presentación ha sido tratado anteriormente (Saunders y Becker 1984; Teutonico y Knorr 1985; Bressani 1989; Paredes-López *et al.* 1990), sin embargo se considera conveniente prestar también atención a otros aspectos de composición química y valor nutritivo que servirán para entender mejor los atributos de este producto y su potencial como alimento. Asimismo, se espera que sean útiles para el desarrollo de nuevas áreas de investigación.

Tamaño y estructura del grano

Con el propósito de comprender mejor el significado de la composición química y valor nutritivo del grano de amaranto, así como apreciar

las implicaciones de sus características en procesamiento, es necesario conocer todo lo que sea posible sobre las características físicas de este grano. Entre las características externas más evidentes, aparte del color, sobresale el tamaño del grano. Todos coinciden en que el tamaño de la semilla de amaranto es entre los granos comestibles uno de los más pequeños. Esto es evidente al observar los valores del Cuadro 1 en el cual el grano de amaranto se compara con otros granos comestibles como quinua, varios cereales y frijol común. Los datos claramente demuestran lo pequeño de esta semilla, razón por la cual es probable que su producción como grano continuará siendo muy limitada, a pesar de las importantes características agronómicas y nutricionales que posee.

Como es el caso para cada uno de los granos presentados en el Cuadro 1, existe variabilidad en el peso del grano de amaranto, tanto entre especies como entre variedades de la misma especie. La variabilidad entre 25 variedades de *A. caudatus* (Imeri *et al.* 1987) fue de 0.50 a 0.93 mg/semilla. Granos de mayor peso son en general los de *A. hypochondriacus* con un rango entre 0.53 a 1.18 mg/grano (Bressani *et al.* 1987a). La variabilidad es sumamente importante ya que podría permitir la selección de variedades con un grano de mayor tamaño. Esto traería como consecuencia mayor facilidad durante la cosecha, menos pérdida de grano en su manejo y un grano posiblemente más limpio que presente menos problemas en su procesamiento. Entre las desventajas podría ocurrir una pérdida en rendimiento, así como una disminución en la concentración de nutrientes, en particular proteína y grasa. Un análisis estadístico de un estudio que utilizó 25 variedades de *A. caudatus*, muestra alguna información de interés al respecto (Imeri *et al.* 1987). El

Cuadro 1. Peso del grano de amaranto en comparación con el peso de granos de otros alimentos (mg/semilla).

	Promedio	Variación
Amaranto	0.75	(0.50 - 0.93)
Quinua	2.45	(1.90 - 4.30)
Millet	7.7	(4.6 - 11.9)
Sorgo	31	(24 - 46)
Maíz	288	(216 - 412)
Frijol negro	250	(180 - 350)

Cuadro 2. Coeficientes de correlación (PEARSON) entre variables de 25 variedades de *A. Caudatus*.

Variable	Producción	Peso
Proteína	0.388 S=0.028*	0.102 S=0.317
Extracto etéreo	-0.225 S=0.140	-0.064 S=0.380
Peso semilla	-0.127 S=0.272	— —

Fuente: Imeri *et al.* 1987.

* S = Significancia, Altamente Significativo ($P < 0.05$).

Cuadro 2 muestra una correlación negativa estadísticamente no-significativa entre peso de semilla y producción, sugiriendo que un grano de mayor peso no afectaría la producción/ha. Asimismo, con base en las correlaciones mostradas en el cuadro, un grano de mayor peso no afectaría el contenido de proteína o de grasa. La Figura 1 muestra los promedios de producción, proteína y grasa con respecto al peso de la semilla. Se puede deducir de esta información limitada por el número de muestras y en una especie únicamente, que los cambios en proteína y grasa serían mínimos a mayor tamaño de grano producido.

No existen muchos estudios similares a los expuestos y se considera importante, en los esfuerzos que se hacen para llevar el amaranto a producción y utilización, que se logre seleccionar un grano de amaranto de mayor tamaño. Sería necesario conocer la heredabilidad de esta característica, así como el efecto que esto podría tener en producción y contenido de nutrientes. También sería muy útil conocer los efectos de diversas prácticas de cultivo, la distribución de tamaño de grano por panoja, así como el efecto de otros factores ambientales y culturales. De hecho, se ha informado que a través del tratamiento de la semilla de *A. caudatus* con colchicina se logró crear líneas tetraploides con un peso 2.5 veces mayor, con lo cual ya se lograría un grano de amaranto con un peso similar al peso de la quinua (Pal y Khoshoo 1977).

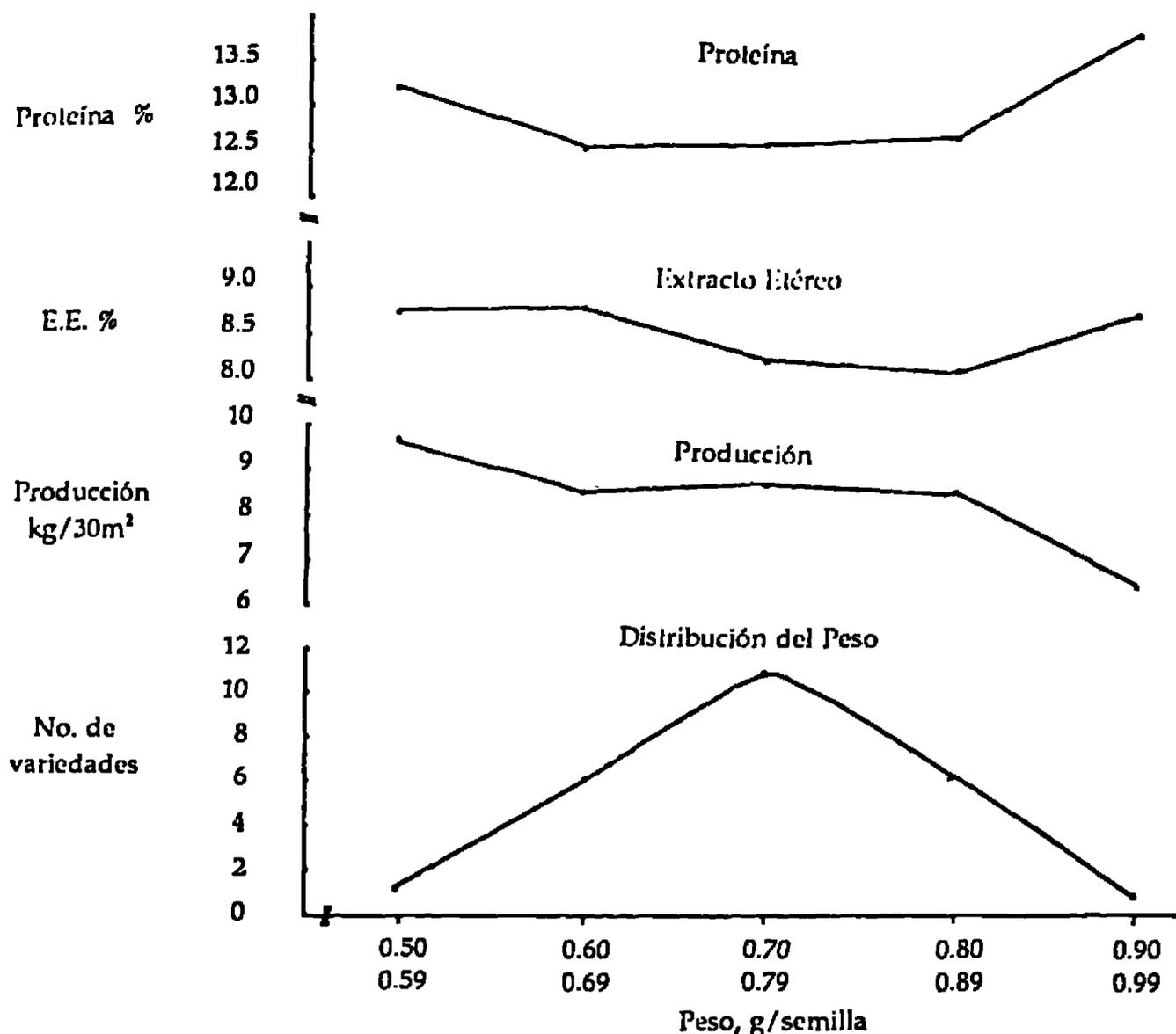
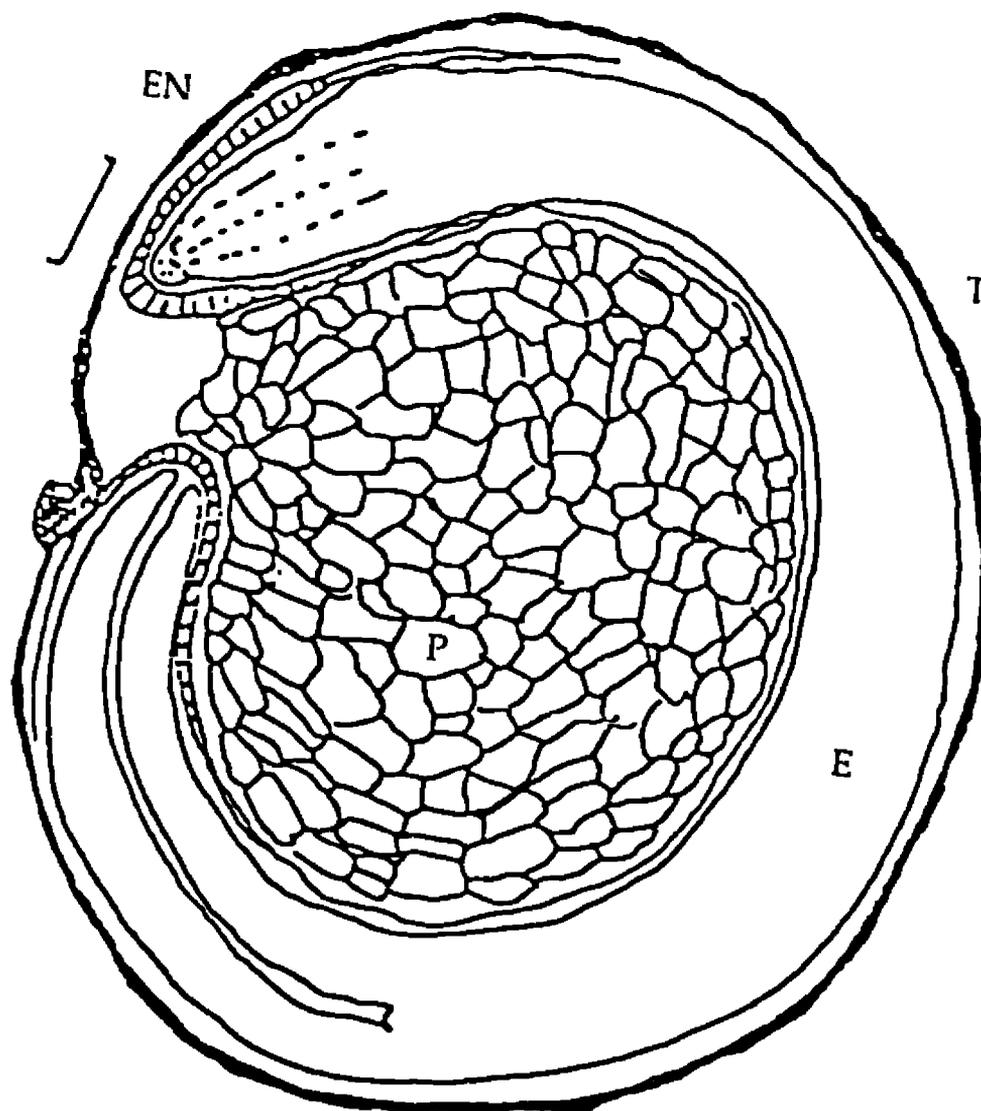


Fig. 1. Distribución de peso de grano, producción, y contenido de proteína y grasa en 25 variedades de *A. caudatus*.

El segundo aspecto de mucho interés con respecto a composición química, procesamiento y valor nutritivo es la estructura física del grano de amaranto. La Figura 2 muestra un corte longitudinal en el cual se pueden observar los principales componentes físicos del grano (Bertoni *et al.* 1984; Irving *et al.* 1981). El corte muestra el tegumento rodeando toda la semilla y un endospermo muy poco desarrollado. El germen o embrión es anular y relativamente grande con respecto al grano entero. El centro del grano contiene el perispermo cuyas células contienen gránulos pequeños de almidón. El tamaño de estos gránulos varía de 1.66 a 4.00 μm , habiendo diferencias entre las especies estudiadas.

De acuerdo con estudios de molienda, se ha indicado que la fracción física tegumento más germen representa entre 20.8 y 26.7% del peso del grano, similar a lo que se obtiene de la molienda del trigo (Betschart



- EN = Endospermo
 T = Tegumento
 E = Embrión
 P = Perispermo

Fig. 2. Corte longitudinal de un grano de amaranto (*A. cruentus*)

Fuente: Bertoni *et al.* 1984.

et al. 1981), pero superior a la proporción de las mismas fracciones para el maíz (Bressani y Mertz 1958). En vista de las implicaciones que esta distribución tiene, sobre todo en composición química y valor nutritivo, así como en relación con molienda, se considera que este aspecto debe ser estudiado con mayor detalle en especies y variedades dentro de una especie de amaranto.

Composición química, generalidades

El Cuadro 3 muestra la composición química de tres especies de grano de amaranto. El contenido de proteína cruda en todas las especies se

encuentra entre 13.2% y 17.6%. Es evidente que existe una variabilidad grande entre variedades para las tres especies, *A. caudatus*, *A. cruentus*, *A. hypochondriacus*. Una variabilidad similar se ha informado para otras especies como *A. hybridus* y *A. edulis* (Saunders y Becker 1984; Teutonico y Knorr 1985).

Cuadro 3. Composición proximal del grano de amaranto.

Nutriente	<i>Caudatus</i> *	<i>Cruentus</i> **	<i>Hypochondriacus</i> **
Humedad	b.s.	6.2 - 6.7	11.1
Proteína cruda	14.0 - 16.0	13.2 - 17.6	13.9 - 17.3
Lípidos	9.4 - 10.2	6.3 - 8.1	4.8 - 7.7
Fibra cruda	—	3.4 - 5.3	2.6
Fibra dietética	7.6 - 16.4	—	—
Ceniza	2.4 - 3.8	2.8 - 3.6	3.3 - 4.1
Almidón	51.5 - 65.8	—	—

* Pederson, Kalinowski y Eggum 1987.

** Citado por Teutonico y Knorr 1985.

El contenido total de lípidos es un segundo nutriente de interés en el grano. La variabilidad en todas las especies se encuentra entre 4.8% y 10.2%, lo cual se considera relativamente alto. Una variabilidad aún mayor ha sido informada por Lehmann (1991). Nutricionalmente, un contenido alto de lípidos es considerado de interés por la alta cantidad de energía que el grano de amaranto podría proporcionar en comparación con los cereales y leguminosas. Sería de mucho interés poder explicar la variabilidad que existe en el contenido de aceite, y si esta variabilidad es genética, o más bien se debe a factores ambientales. La variabilidad podría ser atribuida a un germen de mayor tamaño, ya que esta fracción física del grano contiene una mayor concentración de lípidos que el perispermo. Podría ser también debido a una mayor concentración de lípidos del germen. Un mayor tamaño del germen podría asimismo explicar un mayor contenido de proteína. Esta información es de interés práctico, ya que cuando el grano de amaranto se ha sometido a molienda fraccionada se ha encontrado que algunas de sus fracciones son rela-

tivamente altas en contenido de lípidos (Becker 1989), las cuales podrían servir como materia prima para producir aceite comestible de amaranto.

No existen muchos datos sobre contenido de fibra dietética del grano de amaranto. Valores de 7.6% a 16.4% para el *A. caudatus* han sido reportados, lo cual obviamente constituye una diferencia bastante significativa. Otros valores que se encuentran en la literatura informan un 15.2% para el grano de amaranto de especies no determinadas y de 10.2% para una harina de este mismo grano (Bressani 1989; Cardozo y Eitenmiller 1988; Pederson *et al.* 1990). Es posible que los valores más altos se deban más al hecho de que las muestras habían sido procesadas, que a una variabilidad del grano crudo (Pederson *et al.* 1990; Bressani *et al.* 1990). Estas cifras son similares a otras reportadas para maíz y sorgo (Cardozo y Eitenmiller 1988).

La concentración de ceniza en el amaranto se encuentra relativamente constante entre especies, y la variabilidad entre cada especie es también pequeña (Saunders y Becker 1984; Teutonico y Knorr 1985). El Cuadro 4 muestra el contenido de elementos minerales encontrados en la ceniza de la composición química próxima del amaranto. Todas las especies utilizadas para el estudio fueron sembradas en la misma localidad, por lo que el efecto que la localidad pudiera tener en el resultado del análisis fue eliminado. El contenido de elementos entre especies es relativamente constante. En algunos casos —como hierro en *A. hybridus*— el alto contenido encontrado es probablemente resultado de la contaminación como sucede en el caso del cobre (Bressani *et al.* 1987b).

Algunos datos sobre contenido de vitaminas se muestran en el Cuadro 5. La información presentada sugiere que existen valores relativamente constantes entre especies, como por ejemplo en riboflavina, niacina, biotina y ácido fólico. La tiamina presenta más variabilidad. Algunas de las vitaminas, por ejemplo la niacina, se encuentran en niveles bajos al compararlos con el contenido de esa misma vitamina en los cereales, que es de dos a tres veces más alto (Teutonico y Knorr 1985; Colmenares de Ruíz y Bressani 1990). La información sobre el contenido de vitaminas en el grano de amaranto es muy limitada.

El componente químico más abundante en el grano de amaranto es el almidón. Estudios de varios autores (Saunders y Becker 1984; Teutonico y Knorr 1985; Paredes-López *et al.* 1989) muestran cifras que varían de 48 a 69%. Los gránulos de almidón han sido descritos como polígonos muy pequeños de 1 - 4 μm de diámetro, aunque algunas veces también

Cuadro 4. Contenido de minerales del grano de amaranto* (mg/g - base seca).

Minerales	<i>Caudatus*</i>	<i>Hybridus</i>	<i>Cruentus</i>	<i>Hypochondriacus</i>
Fósforo	570	565	556	600
Potasio	532	532	525	563
Calcio	217	303	242	244
Magnesio	319	344	344	342
Sodio	22	26	25	23
Hierro	21	104	26	53
Cobre	0.86	4.10	1.69	2.40
Manganeso	2.9	5.2	3.4	3.5
Zinc	3.4	3.4	4.2	3.8
No. de muestras	3	1	3	7

* Todas las especies se cultivaron en una sola localidad. Bressani *et al.* 1987b.

pueden ser de forma esférica. El almidón se presenta principalmente como amilopectina, habiéndose encontrado informes con valores de 4.8% a 7.2% de amilosa. Otros carbohidratos encontrados en cantidades variables son sucrosa (1.08-2.26%), rafinosa (0.45-1.23%), estaquiosa (0.02-0.15%) y maltosa (0.02-0.3%) (Saunders y Becker 1984).

Cuadro 5. Contenido de vitaminas en grano de amaranto crudo (mg/100 g).

Vitamina	<i>Cruentus</i> *	<i>Hypochondriacus</i> **	<i>Caudatus</i> *
Tiamina	0.08 ± 0.02	0.25	0.10 ± 0.02
Riboflavina	0.21 ± 0.03	0.29	0.19 ± 0.03
Niacina	1.00 ± 0.28	1.15	1.00 ± 0.26
Biotina	42.5 ± 1.5	—	51.3 ± 1.6
Acido Fólico	43.8 ± 1.5	—	42.1 ± 1.3
Acido Ascórbico	4.62 ± 0.14	2.8	7.05 ± 0.30

* Colmenares de Ruiz y Bressani 1990.

** Teutonico y Knorr 1985.

La semilla de variedades de amaranto ha sido analizada por algunos factores de reconocida acción fisiológica adversa. Becker *et al.* (1981) señalan 0.08-0.42% en ácido tánico, mientras que Bertoni *et al.* (1984) presentan algunos datos relativos al ácido fítico (0.34-0.47%), nitratos/mg (29.0-61.6%), ácido oxálico/mg (0-156%) y los inhibidores de tripsina/mg (03.07-5.46%). En ningún caso las cantidades informadas son altas como para causar efectos antifisiológicos fuertes, sin embargo, puede ser que juntos influyan sobre la calidad nutritiva del producto (Bertoni *et al.* 1984).

Composición química: estudio de los nutrientes específicos

Contenido de ácidos grasos

Como se informó en la sección anterior, el contenido de grasa del grano de amaranto varía de 4.8 a 8.1% (Saunders y Becker 1984; Teutonico y

Knorr 1985; Becker 1989). En una revisión sobre el tema, Lehmann (1991) informó una variabilidad mayor, entre 5.2 y 19.3%. El germen es la fracción física rica en este compuesto químico. El contenido de ácidos grasos del aceite ha sido mencionado en varias publicaciones y algunos resultados representativos se muestran en el Cuadro 6. El aceite del amaranto es rico en ácido linoleico con valores que varían de 43.4% en el *A. cruentus* a 51.4% en el *A. hypochondriacus*. El contenido de ácido oleico es el segundo en concentración con valores de 21.3% para el *A. hybridus* a 31.9% para *A. cruentus*. El aceite de amaranto contiene 18.6 a 21.3% de ácido palmítico. La variabilidad reportada sugiere que existen diferencias entre especies y también diferencias entre variedades de la misma especie (Bressani *et al.* 1987a). Otras clases de lípidos las constituyen los esteroides, entre los cuales el espinosterol se encuentra en cantidades mayores, alrededor de 6.8% (Becker 1989). Otro compuesto lipídico de interés es el escualeno, el cual se encuentra en una concentración del 5 al 8% del aceite de la semilla. La variabilidad en el contenido de escualeno entre especies y variedades se desconoce, así como de métodos para refinar el aceite crudo del amaranto. La composición de ácidos grasos del grano de amaranto es muy similar a la del aceite del germen de maíz y de arroz. El contenido total de ácidos grasos no-saturados para los tres aceites varía entre 78% para el arroz a 83% para el maíz, con aproximadamente 77% para el aceite de amaranto.

Proteína

Vamos a ver a continuación los nutrientes con respecto a la variabilidad y distribución de proteína en el grano y al contenido de aminoácidos.

Variabilidad en el contenido de proteína

Los resultados de varios informes sobre el contenido de proteína en la semilla de amaranto se presentan en el Cuadro 7. La variabilidad informada es amplia, entre valores mínimos de 11.1% a valores altos de 22.1%. Existen diferencias significativas entre variedades de una misma especie y entre diferentes especies. La variabilidad informada no ha sido explicada, sin embargo, se ha sugerido que se debe a la composición genética del material, así como a factores del ambiente y a prácticas culturales. Se considera que esta variabilidad amerita ser investigada, ya que el alto contenido de proteína existente en ciertas variedades podría ser el resultado de la acumulación de nitrógeno no-proteico. La planta de

Cuadro 6. Contenido de ácidos grasos en aceite de amaranto (%).

Acidos Grasos	<i>Caudatus</i>	<i>Cruentus</i>	<i>Hybridus</i>	<i>Hypochondriacus</i>
C14:0	Trazas	0.3	0.2	Trazas
C16:0	18.6	19.9- 20.3*	21.1	21.3
C18:0	2.3	3.6- 3.8*	5.4	2.9
C18:1	27.5	31.9- 19.4*	21.3	23.4
C18:2	48.6	43.4- 52.4*	50.4	51.4
C18:3	2.0**	1.0**-	0.7	0.83**
C20:0	—	— 1.4*	0.8	

* Citado por Teutonico y Knorr 1985.

** Total C18:3 y C20:0.

Otros valores: Bressani *et al.* 1987.

amaranto contiene nitratos y es posible que además de acumularse en las partes vegetativas también se acumule en el grano, cuando las condiciones lo permitan. Por otro lado, en base a lo que se ha observado en otros granos, altos niveles de proteína en el grano han sido asociados con bajos rendimientos. Desde el punto de vista nutricional, un aumento de proteína está asociado a una concentración mayor de aminoácidos esenciales por gramo de nitrógeno, lo cual constituye una limitante. Esta ocurre por ejemplo con lisina en el maíz, en el cual al aumentar en su contenido de proteína aumentan las prolaminas que son deficientes en ese aminoácido. Algo similar podría ocurrir en amaranto, en el cual una fracción proteínica aumenta más que las otras, trayendo como consecuencia un desbalance en los aminoácidos esenciales. Más aún, se ha informado una correlación negativa aunque no significativa entre el contenido de proteína y la calidad de proteína en muestras de variedades procesadas. Esta correlación no existe en las semillas crudas. Asimismo, se ha informado de una correlación positiva entre calidad de la proteína y el contenido de lisina (Bressani *et al.* 1987b).

Por otro lado, niveles bajos de proteína en amaranto le restan una de sus ventajas nutricionales que es el hecho muy citado de que es un grano con mayor contenido de proteína que los cereales. Un nivel adecuado podría ser entre 15 y 16%.

Cuadro 7. Variabilidad en el contenido de proteína en semilla de amaranto (%).

Muestra	Número	Rango	Promedio
<i>A. caudatus</i>	36	11.1 - 14.4	13.5
<i>A. hypochondriacus</i>	26	12.7 - 17.9	15.5
<i>A. cruentus</i>	21	13.0 - 20.6	15.7
<i>A. hybridus</i>	2	13.1 - 14.3	13.7
CIFAP germoplasma	406	11.3 - 19.0	—
Guatemala	33	12.8 - 17.4	15.0
Brasil	11	14.4 - 16.9	15.2
India	7	14.4 - 19.4	16.4
Estados Unidos	9	15.3 - 18.2	16.8
Argentina	4	17.5 - 22.1	19.5

Con base en estos argumentos, se considera de interés práctico conocer más profundamente los factores responsables de la variabilidad en proteína, entre los cuales podrían mencionarse niveles de fertilizantes nitrogenados, aplicación de fertilizantes orgánicos, densidad de población por unidad de área, época de aplicación de fertilizantes y disponibilidad de agua. Sería también muy útil conocer la distribución proteínica del grano de alto contenido de proteína versus la de granos con un contenido de proteína intermedia y baja.

Distribución de la proteína en el grano

Usando técnicas de fraccionamiento anatómico de la proteína, así como molienda de tipo abrasivo controlado, Betschart *et al.* (1981) reportaron que la mayor parte de la proteína del grano de amaranto se encuentra en el germen y la cáscara. El endospermo del grano contiene 35.0% de la proteína total del grano, mientras que la fracción del germen más la cáscara contienen 65%. Esta distribución, por ejemplo, es muy diferente a la encontrada para el arroz, sorgo y maíz, en donde el germen contribuye con 12.5, 15.2 y 18.5% respectivamente, y el endospermo con 87.5, 84.8 y 81.5% de la proteína total del grano (Earle *et al.* 1946; Bradbury *et al.* 1956). Aunque sería deseable llevar a cabo estudios adicionales, particularmente en las especies más comunes como el *A. cruentus*, *A. caudatus* y *A. hypochondriacus*, dichos datos sugieren que esta distribución es la responsable del alto contenido proteínico del amaranto, al compararlo con los cereales comunes. La concentración de proteína en la fracción física del germen de las semillas, es más alto que la concentración encontrada en el endospermo (Earle *et al.* 1946; Bradbury *et al.* 1956).

Es difícil realizar estudios relacionados con la distribución del contenido de proteína en las fracciones físicas del grano de amaranto debido al tamaño pequeño de la semilla. Con base en el limitado número de resultados reportados en este sentido, existe la necesidad de llevar a cabo estudios adicionales en este aspecto.

Fracciones de proteína en el amaranto

Se han llevado a cabo algunos estudios sobre la distribución de las fracciones proteínicas de la proteína del amaranto. Datos de tres especies analizadas muestran que una variación en albúmina de 19% a 23% se encontró en el grano, mientras que las globulinas variaron entre 18 a

21%. Las prolaminas solubles en alcohol variaron entre 1.7 y 2.7%, y las glutelinas –proteínas solubles en álcali– variaron de 42.5% a 46.5% (Bressani 1989). Resultados similares han sido informados por otros investigadores. Valores de alrededor de 7.3 g/100 g de proteína han sido reportados como nitrógeno no-proteico (Paredes-López *et al.* 1988). Las cantidades de nitrógeno no-proteico podrían ser responsables por las diferencias en contenido de proteína cruda. Los datos de la literatura demuestran que aun cuando se usa el mismo método de fraccionamiento de proteína, no se encuentra mayor diferencia en cantidad de fracción de proteína entre especies, ni entre cultivares.

Contenido de aminoácidos

Grano entero

Varios autores han publicado datos sobre el contenido de aminoácidos de diferentes especies de amaranto (Saunders y Becker 1984; Teutonico y Knorr 1985; Bressani 1989; Betschart *et al.* 1981). El Cuadro 8 presenta valores promedio obtenidos de la literatura. El análisis de la información indica que el patrón de aminoácidos es similar entre especies. Uno de los problemas con estos datos es que no se conoce cuáles podrían ser las pérdidas de aminoácidos durante el proceso de hidrólisis, especialmente de aminoácidos azufrados. Esto puede dificultar establecer si existen diferencias consistentes en el patrón de aminoácidos entre especies y entre variedades de la misma especie. Para intentar saber si existe un exceso o deficiencia relativo de uno o más aminoácidos, se compara el patrón de aminoácidos con el patrón de referencia, que en el presente caso fue el de la FAO/OMS (1973). Esta comparación revela que el aminoácido más limitante es la leucina. Sin embargo, los aminoácidos valina, isoleucina y treonina también pueden limitar el poder nutritivo en el grano de amaranto. Otros investigadores han llegado a estas mismas conclusiones (Saunders y Becker 1984; Teutonico y Knorr 1985; Betschart *et al.* 1981). Los datos también señalan a la proteína del amaranto como una buena fuente de lisina, triptofano y aminoácidos azufrados. En contraste con lo anterior, se conoce que los cereales son deficientes en lisina y el maíz deficiente en triptofano. En todo caso, el balance de aminoácidos esenciales de la proteína del grano de amaranto es significativamente mejor que el de otras proteínas vegetales. Debido a que las proteínas del germen son fuentes ricas de aminoácidos esenciales comparadas con las proteínas de reserva encontradas en el endospermo,

Cuadro 8. Contenido de aminoácidos (mg/g N).

Aminoácido	<i>A. caudatus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>	<i>A. cruentus</i>	<i>A. edulis</i>	FAO Ref.
Lisina	364	374	337	329	340
Treonina	230 (92.0)	268	238 (95.2)	212 (84.8)	250
Metionina	148	106	118	125	
Cistina	116	131	127	123	
Azufrados totales	264	237	245	248	220
Valina	264 (86.8)	237 (76.4)	269 (86.8)	254 (81.9)	310
Isoleucina	218 (87.2)	250	222 (88.8)	216 (86.4)	250
Leucina	349 (79.3)	382 (86.8)	344 (78.2)	348 (79.1)	440
Fenilal	238	328	263	250	
Tirosina	205	269	200	207	
Aromáticos totales	443	597	463	457	380

(Cont. Cuadro 8).

Aminoácido	<i>A. caudatus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>	<i>A. cruentus</i>	<i>A. edulis</i>	FAO Ref.
Triptofano	86	84	75	59	60
Histidina	158	169	159	150	
Arginina	556	506	434	541	
Acido aspártico	495	506	485	500	
Serina	400	500	387	265	
Acido glutámico	1003	1037	956	870	
Prolina	254	287	244	223	
Glicina	453	525	461	415	
Alanina	229	244	216	215	

La distribución de la proteína puede explicar la concentración alta de lisina en el grano de amaranto, comparada con la de los cereales, exceptuando el maíz de alto valor nutritivo, cuyo endospermo contiene una proteína con mayor contenido de lisina.

Conociendo que un 65% de la proteína del grano de amaranto proviene del germen y 35% del endospermo, podría sugerirse que esta última representa las reservas de proteína del grano. Aunque el contenido de proteína puede aumentar en el germen, es más factible que esto suceda en el endospermo. Por lo tanto, es de interés insistir en que el patrón de aminoácidos para cada fracción anatómica es un medio que ayuda a comprender la interrelación existente entre el contenido de aminoácidos y el de proteína. Betschart *et al.* (1981) publicaron datos de contenido de aminoácidos en fracciones del germen y del endospermo de *A. cruentus*. La fracción del germen y de la cáscara contenían niveles más bajos de aminoácidos que el perispermo, con un puntaje químico de 72% en contraste con un puntaje de 88% para el perispermo. Sin embargo, la calidad proteínica, expresada como "índice de eficiencia proteínica" (PER) de la fracción del germen fue significativamente mayor que el PER de la fracción del perispermo. Estos resultados son opuestos al contenido de aminoácidos, lo que sugiere la necesidad de investigar más sobre esta área. Por ejemplo, el Cuadro 9 muestra datos de dos laboratorios sobre molienda de grano de amaranto. En los dos estudios, el contenido de proteína en la fracción cáscara más embrio es alto y el contenido de proteína del grano pulido es bajo. La calidad de la proteína del grano es 76.9 y 83.0% del valor de caseína. La fracción cáscara más embrio en los dos estudios tiene una calidad alta, de 82.5 y 100.5%. La diferencia se encuentra en la calidad del grano pulido que en un caso es 66.1% del valor de caseína y de 34.1% en el otro. Es posible que esta diferencia se deba al grado de eliminación de la fracción embrio más cáscara, que fue mayor en un estudio que lo fue en el otro a juzgar por el contenido de proteína. Esto debe ser estudiado con mayor detalle ya que la materia prima difería mucho en contenido proteínico.

Contenido de aminoácidos esenciales en fracciones proteínicas

Recientemente, varios autores han publicado datos sobre el contenido de aminoácidos en las fracciones proteínicas del grano que para fines prácticos se agrupan en albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. El Cuadro 10 resume datos de un estudio, aunque comparando estas cifras con las de otros autores éstas coinciden bastante bien. Las diferen-

La distribución de la proteína puede explicar la concentración alta de lisina en el grano de amaranto, comparada con la de los cereales, exceptuando el maíz de alto valor nutritivo, cuyo endospermo contiene una proteína con mayor contenido de lisina.

Conociendo que un 65% de la proteína del grano de amaranto proviene del germen y 35% del endospermo, podría sugerirse que esta última representa las reservas de proteína del grano. Aunque el contenido de proteína puede aumentar en el germen, es más factible que esto suceda en el endospermo. Por lo tanto, es de interés insistir en que el patrón de aminoácidos para cada fracción anatómica es un medio que ayuda a comprender la interrelación existente entre el contenido de aminoácidos y el de proteína. Betschart *et al.* (1981) publicaron datos de contenido de aminoácidos en fracciones del germen y del endospermo de *A. cruentus*. La fracción del germen y de la cáscara contenían niveles más bajos de aminoácidos que el perispermo, con un puntaje químico de 72% en contraste con un puntaje de 88% para el perispermo. Sin embargo, la calidad proteínica, expresada como "índice de eficiencia proteínica" (PER) de la fracción del germen fue significativamente mayor que el PER de la fracción del perispermo. Estos resultados son opuestos al contenido de aminoácidos, lo que sugiere la necesidad de investigar más sobre esta área. Por ejemplo, el Cuadro 9 muestra datos de dos laboratorios sobre molienda de grano de amaranto. En los dos estudios, el contenido de proteína en la fracción cáscara más embrio es alto y el contenido de proteína del grano pulido es bajo. La calidad de la proteína del grano es 76.9 y 83.0% del valor de caseína. La fracción cáscara más embrio en los dos estudios tiene una calidad alta, de 82.5 y 100.5%. La diferencia se encuentra en la calidad del grano pulido que en un caso es 66.1% del valor de caseína y de 34.1% en el otro. Es posible que esta diferencia se deba al grado de eliminación de la fracción embrio más cáscara, que fue mayor en un estudio que lo fue en el otro a juzgar por el contenido de proteína. Esto debe ser estudiado con mayor detalle ya que la materia prima difería mucho en contenido proteínico.

Contenido de aminoácidos esenciales en fracciones proteínicas

Recientemente, varios autores han publicado datos sobre el contenido de aminoácidos en las fracciones proteínicas del grano que para fines prácticos se agrupan en albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. El Cuadro 10 resume datos de un estudio, aunque comparando estas cifras con las de otros autores éstas coinciden bastante bien. Las diferen-

Cuadro 9. Valor nutritivo de la proteína del grano entero y fracciones de la molienda del grano.

	Proteína, % (1)	Calidad Proteínica % caseína (1)	Proteína, % (2)	Calidad Proteínica % caseína (2)
Grano entero	13.9	76.9	18.5	83.0
Cáscara + embrio	31.7	82.5	42.0	100.5
Grano pulido	7.4	66.1	7.7	34.1

1. Bressani. Datos no publicados.

2. Betschart *et al.* 1981.

cias pueden atribuirse a especie y variedad, método de fraccionamiento y método de análisis de aminoácidos. Haciendo uso de la información de tres estudios (Duarte-Correa *et al.* 1986; Bressani y García Vela 1990; Gorinstein *et al.* 1991), se intenta indicar qué aminoácidos esenciales predominan en las cuatro fracciones de proteína. Las albúminas por ejemplo, aportan lisina, treonina y triptofano; las globulinas, lisina, aminoácidos azufrados y aromáticos, y triptofano; y las prolaminas, leucina, lisina, aminoácidos azufrados y valina. Las prolaminas contienen cantidades relativamente altas de varios aminoácidos, sin embargo sólo representan 2 a 4% de la proteína total, de tal manera que su contribución a la proteína del grano es muy pequeña. Esta proteína no es similar a la prolamina convencional de los cereales, a juzgar por el contenido de aminoácidos.

La importancia de estos estudios radica en la posibilidad de seleccionar variedades con niveles mayores que algunas de las fracciones proteínicas, con el fin de obtener un grano más rico en los principales aminoácidos esenciales.

Cuadro 10. Contenido promedio de aminoácidos esenciales en fracciones proteínicas de la semilla de amaranto (var. *A. Caudatus*, *Hypochondriacus*, *Cruentus*), g/16 gN.

Aminoácido	Albúminas	Globul	Prolam	Glutel 1	Glutel 2	FAO
Isoleucina	4.2	3.0	4.6	2.0	3.6	4.0
Leucina	6.8	4.2	7.6	3.1	8.7	7.0
Lisina	7.2	6.3	5.3	2.9	4.6	5.4
Metionina	2.4	3.6	0.8	1.1	1.3	3.5
Cistina	1.0	4.4	n.d.	n.d.	n.d.	—
Fenilalan	4.8	5.3	4.6	3.0	4.6	—
Tirosina	3.7	3.9	2.4	1.9	2.6	6.0
Treonina	4.5	2.8	4.5	2.2	3.5	4.0
Triptofano	1.4	0.7	0.8	0.4	1.7	1.0
Valina	5.1	3.3	4.8	2.1	4.1	5.0
Total AAE	41.1	37.5	35.4	18.7	34.7	35.9

Fuente: Bressani y García-Vela 1990.

Valor nutritivo

Con el propósito de ampliar el número de aplicaciones, así como para conocer los efectos de los diferentes procesos aplicados a la semilla para su utilización, se han llevado a cabo estudios del valor nutritivo del grano de amaranto y el de sus componentes orgánicos.

Aceite

Se han llevado a cabo algunos estudios sobre el valor nutritivo de la grasa cruda que contiene el grano de amaranto cuando éste fue adicionado a dietas de caseína en 5% y 10%. En estos estudios se utilizó aceite de algodón como aceite de referencia. Los resultados obtenidos demuestran que la digestibilidad de la grasa cruda varía de 91.7 a 94.1% con un 5% de adición y entre 91.1% y 93.8% a un 10% de adición. Estos resultados son significativamente más bajos que los reportados para el aceite de algodón refinado para ambos niveles de adición. La digestibilidad más baja se debió probablemente a la presencia de esteroides (un total de 0.37) y de material no saponificable en el aceite de amaranto crudo; sin embargo, éstos y otros estudios no han reportado efectos dañinos al ser consumidos (García *et al.* 1987).

Energía metabolizable del grano de amaranto

Las dos fuentes principales de energía en el grano de amaranto son la fracción de carbohidratos y el contenido de aceite. La energía metabolizable ha sido informada y algunos valores para grano claro y oscuro se presentan en el Cuadro 11. En estos estudios *A. cruentus* fue procesado por diferentes técnicas. Los resultados muestran que el grano claro tiene una mayor energía metabolizable que el grano oscuro y que el proceso de cocción-extrusión fue el proceso más efectivo para aumentar la energía metabolizable del grano, particularmente para el grano claro (López y Bressani 1987).

Proteína

El valor nutritivo de la proteína del amaranto ha sido informado y determinado por varios autores (Saunders y Becker 1984; Bressani *et al.* 1987a; Betschart *et al.* 1981).

Cuadro 11. Efecto de varios métodos de procesamiento sobre la energía metabolizable verdadera en *A. Cruentus* (Kcal/g).

Proceso	Condiciones	Grano X	Claro Variación	Grano X	Oscuro Variación
Crudo	Ninguna	2.91	2.00-3.70	2.79	2.02-3.46
Cocción atmosférica	20 min, 96°C	3.44	3.30-3.60	3.22	3.06-3.37
Secador de rodos	2 rpm, 132°C	3.67	3.20-4.05	3.52	3.39-3.68
Cocción Extrusión*	165°C velocidad de alimentación 34 rpm	4.22	3.99-4.43	3.36	2.91-3.90

* Procesamiento seco en el Extrusor Brady
 Abertura de cono menor a 1.5 mm
 Animales experimentales utilizados: pollos
 Fuente: López y Bressani 1987.

Una de las conclusiones más importantes es que el valor proteínico del grano crudo no refleja el patrón de aminoácidos de la proteína. Esto se indica en el Cuadro 12, en donde puede observarse que el grano procesado por cocción húmeda tiene una calidad proteínica más alta que el grano crudo en todas las especies de amaranto (Bressani *et al.* 1987a; Betschart *et al.* 1981; Imeri *et al.* 1987). Más aún, cuando se procesa bajo condiciones en las cuales no daña la disponibilidad de los aminoácidos esenciales, la calidad de su proteína está muy cercana a la calidad de la caseína (Mendoza y Bressani 1987). El efecto más evidente del proceso es en el consumo de la dieta y la ganancia en peso de animal. Este efecto todavía no se ha explicado y merece darle más atención. Algunos investigadores han sugerido que puede ser causado por la presencia de factores antifisiológicos, aunque la cantidad de inhibidores de tripsina, lectinas y otros compuestos presentes en el grano de amaranto es muy baja (Saunders y Becker 1984).

El efecto del procesamiento sobre la digestibilidad de la proteína se muestra en el Cuadro 13. Algunos procesos utilizados, como la expansión, laminado y cocción húmeda, aparentemente no afectan la digestibilidad. Sin embargo, el producto del tostado da una digestibilidad de la proteína que en un estudio es igual y en el otro más baja que la del grano crudo. Estos datos contradictorios pueden interpretarse como que las condiciones de procesamiento no han sido bien estandarizadas (Pederson *et al.* 1987).

Otro aspecto de interés es que de acuerdo con el puntaje químico, todos los informes indican que la leucina es el aminoácido más limitante. Los datos obtenidos de estudios biológicos con ratas en crecimiento sugieren sin embargo que el primer aminoácido limitante es la treonina, tanto para el grano claro como para el oscuro, crudo y procesado (Bressani *et al.* 1989). La deficiencia en este aminoácido se debe probablemente a la baja biodisponibilidad de la proteína.

Evaluación en humanos

Pocos estudios se han llevado a cabo para evaluar la calidad nutritiva de la proteína del amaranto en seres humanos. En unos estudios de Morales *et al.* (1986) y Graham y Morales (1987), nueve niños fueron alimentados con harinas procesadas de *A. caudatus*. Los productos fueron harinas de amaranto tostado, de grano expandido y de hojuelas. Estos productos se agregaron a una dieta básica en cantidades que aportaron 50% de la energía de la dieta. Asimismo, 6.4 a 6.7% de la energía fue

Cuadro 12. Calidad proteínica de grano de amaranto crudo y procesado.

	<i>Cruentus</i> (US)	<i>Cruentus</i> (GUA)	<i>Hypochond.</i> (US)	<i>Caudatus</i> (PERU)
CRUDO				
Ingesta de alimento, g	377 ± 35.0	373 ± 33.9	362 ± 31.7	373 ± 33.4
Ganancia en peso promedio, g	72 ± 12.7	93 ± 22.5	86 ± 11.3	93 ± 22.5
Per	1.98 ± 1.28	2.53 ± 0.28	2.47 ± 0.19	2.53 ± 0.28
PROCESADO				
Ingesta de alimento, g	464 ± 39.5	438 ± 34.5	457 ± 46.9	438 ± 34.5
Ganancia en peso promedio	114 ± 17.1	116 ± 13.6	118 ± 19.8	116 ± 13.6
Per	2.48 ± 0.21	2.66 ± 0.17	2.56 ± 0.22	2.66 ± 0.17

Fuente: Bressani *et al.* 1987a.

Cuadro 13. Efecto del procesamiento sobre la digestibilidad de la proteína del amaranto.

Espece	Digestibilidad proteínica verdadera, % (1)	Digestibilidad proteínica aparente, % (2)
<i>A. caudatus</i>		
Crudo	88.5 a*	—
Reventado	85.6	—
<i>A. caudatus</i>		
Crudo	86.6 bc	76.0 ± 2.8
Reventado	88.4 abc	78.7 ± 2.4
Hojuelas	89.5 a	79.5 ± 3.5
Tostado	89.9	62.2 ± 1.9
<i>A. caudatus</i>		
Crudo	87.1 abc	—
Reventado	87.2 abc	—
<i>A. caudatus</i>		
Crudo	79.2 d	
Tostado	68.1 e	

* Números seguidos de letras diferentes son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

1. Pederson *et al.* (1987).
2. Bressani *et al.* (1987b).

proporcionada por la proteína del amaranto procesado. Los resultados de balance nitrogenado indican que la mayor retención nitrogenada se obtuvo con el amaranto tostado, luego con el expandido y finalmente con el de hojuelas. Estos datos son muy diferentes a los observados con ratas alimentadas con los mismos productos. En este caso, usando el mismo material, el amaranto tostado dio la menor calidad. En otro estudio, siete niños fueron alimentados con mezclas de amaranto y maíz, y los resultados de balance de nitrógeno muestran que las retenciones de nitrógeno entre la mezcla 80/20 maíz/amaranto no fue diferente a la retención de nitrógeno con la mezcla 70/30. Las retenciones fueron significativamente menores a las observadas con caseína. Los autores de estos estudios concluyeron, sin embargo, que el amaranto solo o combinado con maíz aumentaría el contenido de proteína y de energía de la dieta,

ya que representa una fuente proteínica particularmente estructurada con gran potencial para suplementar o complementar a los cereales. En este sentido, vale la pena mencionar los resultados de Del Valle *et al.* (1987), quienes demostraron que una mezcla de amaranto/soya/avena indujo un porcentaje de aumento en peso en 28 días de 4.1% en comparación con una mezcla de soya/avena de 3.9% y, cuando no recibieron ningún suplemento, de 0.3%.

Un ensayo de calidad de proteína de puntos múltiples con sujetos adultos arroja algunos resultados interesantes sobre la digestibilidad de la proteína verdadera y calidad proteínica del grano de amaranto procesado. El grano de amaranto cocido por extrusión mostró tener un valor proteínico de 89% relativo al valor del queso, mientras que el material expandido dio un valor de 81% del valor del queso. El valor más bajo para el grano de amaranto reventado sugiere que el procesamiento provoca alguna destrucción de la calidad de la proteína. Los valores de digestibilidad siguieron el mismo orden (Bressani *et al.* 1990).

Valor suplementario y complementario

Como se demostró previamente la proteína del grano de amaranto contiene cantidades más altas de lisina, aminoácido deficiente en los cereales. Por lo tanto, se esperaría que la adición de amaranto a la harina de cereales o la sustitución de una por la otra mejore la calidad de la mezcla. Datos al respecto muestran un incremento en la calidad proteínica de 62% para harina de trigo, 40% para maíz y 25% para arroz, de la adición de 30% de harina de amaranto a 70% de cada harina de los cereales probados (arroz, maíz y harina de trigo) (Bresani 1989). Los resultados indican que usar amaranto como el único alimento, debido a su alta calidad proteínica, sería una muy buena alternativa, como lo sería también utilizarlo en mezclas con cereales, mejorando así la calidad de estos granos.

Otra forma de utilizar el amaranto y así aprovechar su excelente balance de aminoácidos es a través de la complementación proteínica. La Figura 3 presenta datos con mezclas de amaranto y cereales. Las respuestas para maíz/amaranto, avena/amaranto y sorgo/amaranto son similares, o sea que hay una proporción entre ellas que indica que el valor proteínico del cereal mejora hasta el nivel del 60% de la proteína en la mezcla de amaranto. Esto no ocurre con la harina de trigo en donde a mayor contenido de amaranto mejor la calidad de mezclas amaranto/trigo. En ninguno de estos casos ocurre una verdadera complementación proteínica.

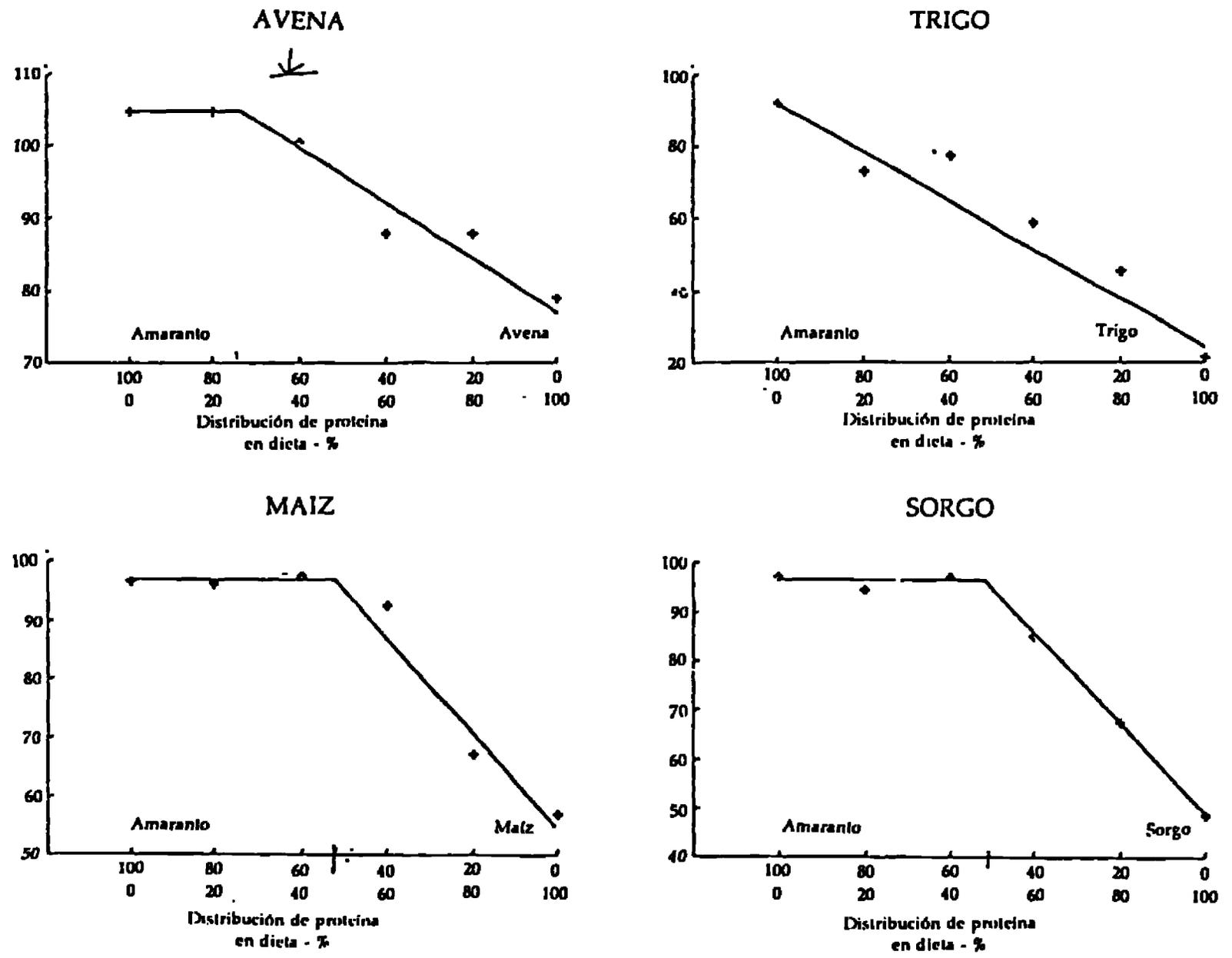


Fig. 3. Complementación entre las proteínas del amaranto y de algunos cereales (% de caseína).

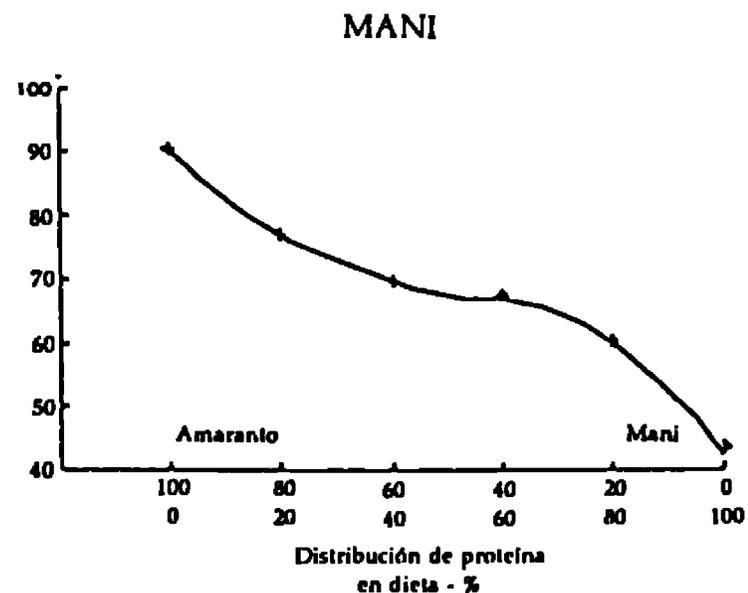
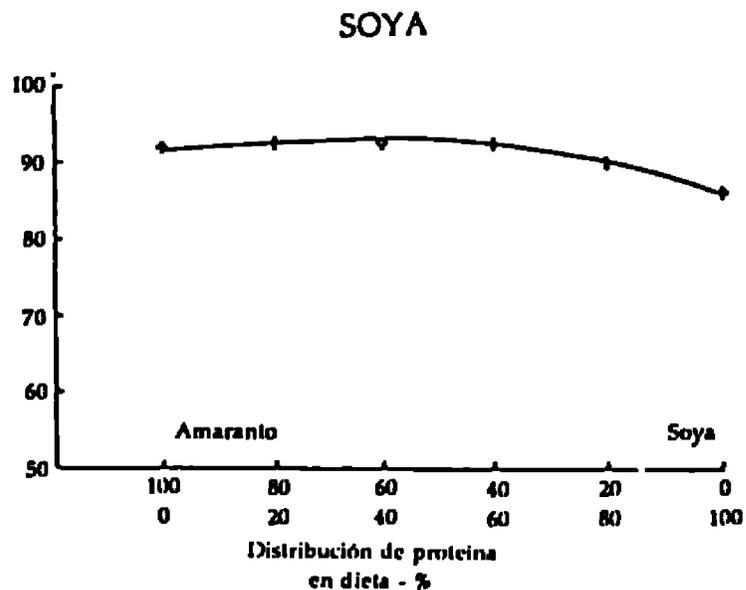
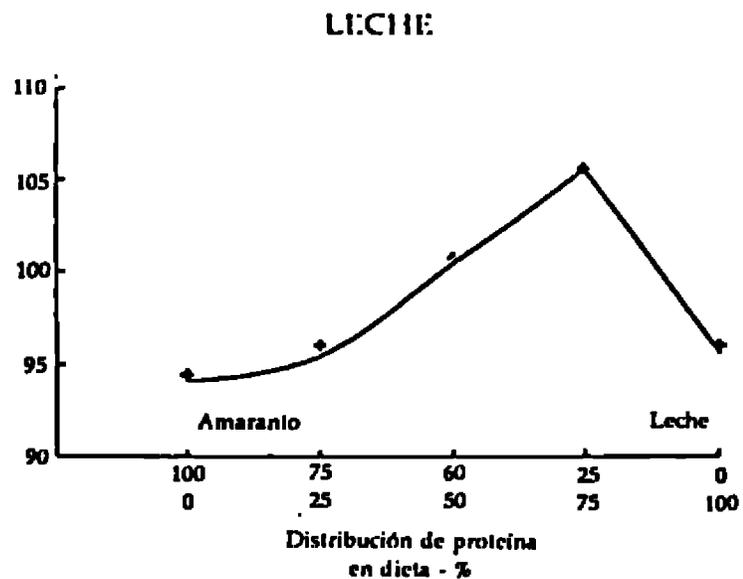
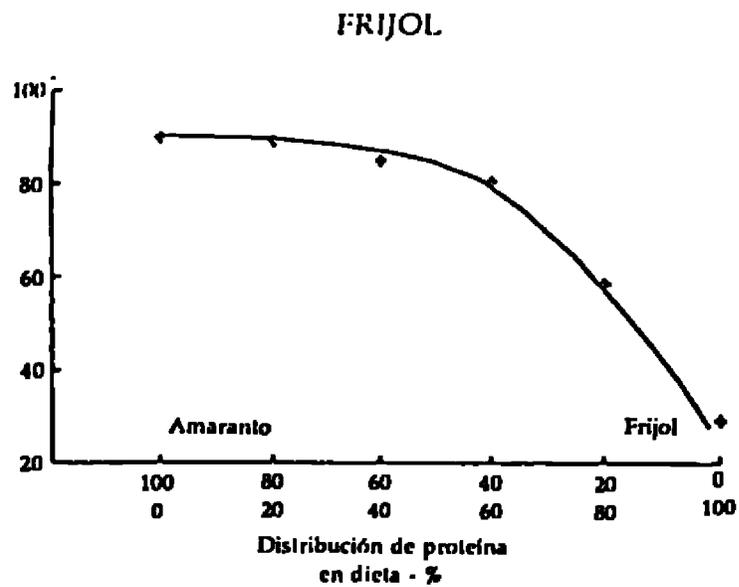


Fig. 4. Complementación entre las proteínas del amaranto y otras fuentes de proteína (% de caseína).

Otros datos se muestran en la Figura 4 para mezclas de amaranto y fuentes convencionales de proteína como es el frijol (A), la leche (B), la soya (C) y el maní (D). Con respecto al frijol, se observa que conforme el amaranto disminuye en la mezcla y aumenta el frijol, el valor proteínico como porcentaje de caseína disminuye. En otras palabras, la calidad del frijol mejora con adición de proteína de amaranto. Con respecto al amaranto/soya, la respuesta es ligeramente superior hacia el lado del amaranto. Las diferencias no son estadísticamente significativas. Con respecto al maní, el comportamiento con amaranto es similar al del frijol, o sea que a mayor proporción de amaranto y menor de maní, la calidad es superior. Lo que sí ha sido de interés es la respuesta con leche. En este caso, se observa una verdadera complementación inducida por la proteína de la leche. Un alimento de 57 partes de leche y 43 partes de amaranto tendría una calidad superior a la leche y al amaranto.

Estos datos tienen múltiples aplicaciones para el desarrollo de productos. Lo más importante ahora para que esto sea realidad es que el cultivo del amaranto se extienda con retornos económicos atractivos para agricultor y que el sector industrial alimentario haga uso adecuado de este gran recurso para beneficio de la población.

El amaranto es un recurso agrícola subexplotado, cuyo centro de origen es Mesoamérica y la zona andina, de donde se diseminó al resto del mundo. Ocupó una posición alimentaria de mucho prestigio en las civilizaciones maya, azteca e inca, y el interés en producirlo y utilizarlo renació hace unos 15 años. Sus hojas son una hortaliza agradable y de alto valor nutritivo, la planta entera se utiliza verde o procesada para alimentación animal y el grano, por sus excelentes características nutricionales y de procesamiento, comienza a introducirse en los mercados como un cereal solo o en combinación con los cereales convencionales y en otros productos. A pesar de que es necesario todavía incrementar su producción y disponibilidad, el potencial que tiene le hace acreedor del nombre de "El cultivo del futuro".

BIBLIOGRAFIA

- BERTONI, M.H.; GOMEZ, R.G.; CATTANEO, P.; COVAS, G. 1984. Estudios sobre semilla de especies americanas de *Amaranthus*. II. Harinas de Extracción de *A. caudatus*, *A. cruentus* y *A. mantegazzianus*. An. Asoc. Quím. Argentina 72:547-605.
- BECKER, R. 1989. Preparation, composition and nutritional implications of amaranth seed oil. Cereal Foods World 34:950-953.
- BETSCHART, A.A.; IRVING, D.W.; SHEPHERD, A.D.; SAUNDERS, R. M. 1981. *Amaranthus cruentus*: characteristics, distribution of nutrients within seed components, and the effects of temperature on nutritional quality. J. Food Sci. 46:1181-1187.
- BRADBURY, D.; CULL, I.M.; MACMASTERS, M.M. 1956. Structure of the mature wheat kernel. 1. Gross anatomy and relationship of parts. Cereal Chem. 33:329-342.
- BRESSANI, R.; MERTZ, E. T. 1958. Studies on corn proteins. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties. Cereal Chem. 35:227-235.
- BRESSANI, R.; GONZALEZ, J.M.; ZUÑIGA, J.; BREUNER, M.; ELIAS, L. G. 1987. Yield, selected chemical composition and nutritive value of 14 selections of amaranth grain representing four species. J. Sci. Food Agr. 38:347-356.
- BRESSANI, R.; GONZALEZ, J. M.; ELIAS, L. G.; MELGAR, M. 1987a. Effect of fertilizer application on the yield, protein and fat content, and protein quality of raw and cooked grain of three amaranth species. Plant Foods Human Nutr. 37:59-67.
- BRESSANI, R.; KALINOWSKI, L.S.; ORTIZ, M.A.; ELIAS, L.G. 1987b. Nutritional evaluation of roasted, flaked and popped *A. caudatus*. Arch. Latinoamer. Nutr. 37:525-531.
- BRESSANI, R. 1989. The proteins of grain amaranth. Food Res. Intern. 5:13-18.

- BRESSANI, R.; ELIAS, L. G.; GARCIA-SOTO, A. 1989. Limiting aminoacids in amaranth grain protein from biological tests. *Plants Foods Human Nutr.* 39:233-235.
- BRESSANI, R.; VELASQUEZ, L.; ACEVEDO, E. 1990. Contenido de fibra dietética en varias especies del grano de amaranto y efecto del procesamiento. *Amaranth Newsletter* No. 1.
- BRESSANI, R.; DE MARTELL, E.C.M.; DE GODINEZ, C.M. 1993. Protein Quality Evaluation of Amaranth in Adults Humans. *Plant Foods Human Nutrition* 43: 123-143.
- CARDOZO, M.S.; EITENMILLER, R.R. 1988. Total dietary fiber analysis of selected baked and cereal products. *Cereal Foods World* 33:414.
- COLMENARES DE RUIZ, A. S.; BRESSANI, R. 1990. Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain. *Cereal Chem.* 67:519-522.
- DEL VALLE, F.R.; SANCHEZ-MARROQUIN, A.; ESCOBEDO, M.; AVITIA, R.; BOURGES, H.; MAYA, S.; VEGA, M.; BECKER, R. 1987. Development and evaluation of a low-cost amaranth (*A. cruentus*) containing food for pre-school children. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 37:480-493.
- DUARTE-CORREA, A.; TIKE, L.; CARLSSON, R. 1986. Amino acid composition of some *Amaranthus* sp. grain proteins and of its functions. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 36:466-476.
- EARLE, F.R.; CURTIS, J.J.; HUBBARD, J.E. 1946. Comparison of the component parts of the corn kernel. *Cereal Chem.* 23:504-511.
- GARCIA, J. A.; ALFARO, M.A.; BRESSANI, R. 1987. Digestibility and nutritional value of crude oil from three amaranth species. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 64:371-375
- GORINSTEIN, S.; MOSHA, R.; GREENE, L.J.; ARRUDA, P. 1991. Evaluation of four *Amaranthus* species through protein electrophoretic patterns and their amino acid composition. *J. Agr. Food Chem.* 39:851-854.

- GRAHAM, G.G.; LEMBCKE, J.; MORALES, E. 1990. Post-prandial plasma aminograms in the assessment of protein quality for young children: maize and grain amaranth alone and combined. *European J. Clin. Nutr.* 44: 35-43.
- IMERI, A.G.; GONZALEZ, J.M.; FLORES, R.; ELIAS, L.G.; BRESSANI, R. 1987. Variabilidad genética en rendimiento, tamaño del grano, composición química y calidad proteínica de 25 variedades de *Amaranthus caudatus*. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 37:132-146.
- IRVING, D.W.; BETSCHART, A.A.; SAUNDERS, R. M. 1981. Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. *J. Food Sci.* 46:1170-1174.
- LEHMANN, J. W. 1991. Lipids of grain and ferol *amaranthus*. *Legacy* Vol. 4, No. 1.
- LOPEZ, M.; BRESSANI, R. 1987. La energía metabolizable verdadera de la semilla de amaranto (*Amaranthus* sp.) en aves de corral. *Amaranth Newsletter* No. 3, pp. 7-9.
- MENDOZA, M.; BRESSANI, C. AND R. 1987. Nutritional and functional characteristics of extrusion-cooked amaranth flour. *Cereal Chem.* 64:218-222.
- MORALES, E.; LEMBCKE, J.; GRAHAM, G. G. 1986. Nutritional value for young children of grain amaranth and maize-amaranth mixtures. Effect of Processing. *J. Nutr.* 118:78-85.
- PAL, M.; KHOSHOO, T.N. 1977. Evaluation and improvement of cultivated *amaranthus*. VIII. Induced autotetraploidy in grain types. *Z. Pflanzenzucht.* 78:135-148.
- PAREDES-LOPEZ, O.; BARBA DE LA ROSA, A. P.; LOPEZ, D.H.; CARABEZ-TREJO, A. 1990. Amaranto. Características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial. Laboratorio de Biotecnología de Alimentos, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Irapuato GTO, México.
- PAREDES-LOPEZ, O.; SCHEVENIN, M. L.; HERNANDEZ-LOPEZ, D.; CARABEZ-TREJO, A. 1989. Amaranth starch-isolation and partial characterization. *Starch/Starke* 41:205-207.

- PEDERSON, B.; KALINOWSKI, L. S.; EGGUM, B. 1987. The nutritive value of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*). I. Protein and mineral of raw and processed grain. *Plant Foods Human Nutr.* 36:309-324.
- PEDERSON, B.; BOCK KNUDSEN, K. E.; EGGUM, B. 1990. The nutritive value of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*). 3. Energy and fibre of raw and processed grain. *Plant Foods Human Nutr.* 40:61-71.
- SAUNDERS, R. M.; BECKER, R. 1984. *Amaranthus*: a potential food and feed resource. In *Advances in Cereal Science and Technology*. Y. Pomeranz (ed.). Amer. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, MN, Vol. 6, p. 357.
- TEUTONICO, R. A.; KNORR, D. 1985. Amaranth: composition, properties and applications of a rediscovered food crop. *Food Technol.* 39:49-60.