

**VARIABILIDAD GENETICA, Y CORRELACIONES ENTRE
RENDIMIENTO, TAMAÑO DEL GRANO, COMPOSICION QUIMICA
Y CALIDAD DE LA PROTEINA DE 25 VARIEDADES DE
AMARANTO (*Amaranthus caudatus*)¹**

Ana Imeri,² *Jorge Mario González*,³ *Rafael Flores*,⁴ *Luiz G. Elías*⁵
y *Ricardo Bressani*⁶

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

RESUMEN

Con el objeto de evaluar la variabilidad entre cultivares en lo que a calidad nutricional se refiere, así como los factores que pueden afectarla, se estudiaron 25 variedades de amaranto (*Amaranthus caudatus*)

Se encontró una gran variabilidad entre las variedades de amaranto en todos los parámetros evaluados, pudiéndose establecer que, en promedio, las semillas de *A. caudatus* tienen un peso de 0.75 mg, un tamaño de 1.23 x 1.14 mm, y un contenido de humedad, proteína y grasa de 11.81, 12.66 y 8.44 g/o, respectivamente. Las determinaciones de los aminoácidos esenciales metionina, treonina, cistina, leucina y lisina arrojaron valores de 168, 276, 74, 381 y 370 mg/g N, en el mismo orden.

Se pudo establecer correlaciones significativas positivas entre rendimiento-proteína, metionina-cistina, metionina-lisina, y treonina-leucina, al igual que correlaciones

Manuscrito modificado recibido 10-10-86

- 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-380/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 Administrador de la Finca Experimental del INCAP.
- 4 Estadístico del INCAP
- 5 Científico de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP
- 6 Coordinador de Investigación y Jefe de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Apartado Postal 1188, Guatemala, Guatemala, C. A.

negativas significativas entre proteína-cistina, grasa-metionina y cistina-leucina. En el caso de *A. caudatus* no fue posible seleccionar variedades de mayor rendimiento debido al peso de las semillas, ya que se calculó una correlación negativa carente de significado entre estas variables.

En cuanto a los aminoácidos limitantes, se encontró que los azufrados fueron limitantes en cinco variedades; lisina, lo fue en una variedad, cuatro fueron limitantes en treonina, y leucina fue el aminoácido limitante en el caso de la mayoría de las variedades de acuerdo al patrón FAO/OMS. Tres de las variedades no acusaron ningún aminoácido limitante entre las evaluadas, y una mezcla de las 25 variedades tuvo un puntaje de 0.87 y fue limitante en leucina.

El estudio biológico desarrollado con semillas cocidas demostró que no existen diferencias en NPR entre las variedades (NPR promedio de 3.54) ni con la NPR de caseína.

El análisis de la digestibilidad verdadera estableció dos grupos, uno con digestibilidad verdadera de 79% y el otro, de 81%. Ambos grupos resultaron ser diferentes a la digestibilidad de la caseína, que se empleó como control (93%). Se estima que la variabilidad encontrada es de interés para fines de mejoramiento nutricional de este grano.

INTRODUCCION

Es un hecho conocido que existen especies de plantas sub-utilizadas y que, sin embargo, para civilizaciones pasadas constituyeron fuentes significativas de nutrientes, siendo el amaranto una de ellas. En la actualidad, su estudio ha cobrado interés, ya que se le ha clasificado como uno de los pseudo-cereales de un valor nutricional prometedor (1).

Se ha logrado determinar que el grano es fuente de proteína de alta calidad comparada con el patrón FAO/OMS para nutrición humana, con un puntaje aminoacídico superior al de cereales comúnmente empleados en dietas latinoamericanas, en vista de que en comparación con los granos comunes, posee altas concentraciones de lisina (2-5).

Una de las especies de amaranto, el *Amaranthus caudatus*, se cultiva en los valles interandinos de Perú y Bolivia. Sus granos son blancos y muy pequeños pero de alto valor nutritivo y a pesar de lo anterior, es un cultivo en vías de extinción (6). En vista de su atractiva composición química y alto valor nutritivo, y teniendo en cuenta que todavía hoy en día el grano procesado por diferentes métodos es consumido por varias poblaciones, se considera de importancia fomentar su producción y utilización conociendo más sobre los factores que afectan esos objetivos.

El trabajo aquí comentado, tuvo como propósito determinar la variabilidad genética en rendimiento, características físicas del grano, composición química, y valor nutritivo de 25 variedades de *A. caudatus*.

MATERIAL Y METODOS

Se emplearon 25 variedades de *A. caudatus* procedentes de Cusco, Perú⁷, las cuales fueron sembradas y cosechadas en la Finca Experimental

del INCAP, ubicada a 1,500 m sobre el nivel del mar, en San Raymundo Sacatepéquez, Guatemala. La siembra se hizo en parcelas experimentales de 6 x 5 m (30 m²) a una distancia de 12 cm entre plantas y 80 cm entre surcos. Las variedades se sembraron en junio y se cosecharon en octubre de 1983, midiéndose su rendimiento. Para esto, las panojas de cada variedad se cosecharon a mano y se colocaron en una galera con corriente de aire para llevarlas todas a la misma humedad. Los rendimientos se expresan en base a la humedad que el grano contenía al separarlo de la panoja. Con las semillas así obtenidas (todas de color claro), se efectuaron tres tipos de determinaciones: física, química y biológica.

1. Determinación Física

En una balanza analítica (Mettler H20T) se pesaron 30 semilla de cada variedad de tres grupos de 10 semillas cada uno, obteniéndose el peso promedio por semilla para cada grupo. El largo y ancho de 10 semillas de cada variedad también se midió valiéndose de una lupa con aumento 8X y con escala de 0-15 mm.

2 Determinación Química

De cada variedad se trajeron cuatro muestras de aproximadamente 25 g cada una, las cuales se molieron en forma independiente en un molino ciclón Neotec, almacenándose después a temperatura ambiente en frascos de vidrio hasta el momento de su análisis. A cada una de las muestras se les determinó

- Humedad, según metodología descrita por la AOAC (7), para lo cual se pesó de 0.3 a 0.7 g de la muestra,
- Grasa, por el método de extracto etéreo (7) utilizando el aparato de micro-Soxhlet, pesando 0.1 g de muestra y mantenidas en reflujo durante 2 horas (8).
- Nitrógeno, por el método macro-Kjeldahl (7), expresando los resultados como proteína cruda (N x 6.25).

Se determinaron los aminoácidos metionina, cistina y leucina utilizando el método microbiológico descrito por la AOAC (7), empleando los microorganismos *Leuconostoc mesenteroides* y *Streptococcus faecalis* para la determinación de treonina. Ambos microorganismos fueron adquiridos del cepario del Instituto Centro Americano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). La lisina se cuantificó utilizando el método electroforético descrito por Gómez-Brenes y Bressani (9).

3. Determinación Biológica

Las semillas de cada variedad se cocieron a presión atmosférica en agua hirviendo, utilizando tres litros de agua por kilo de semilla (relación 3:1) durante 10 min, con agitación constante. Luego fueron secadas con un secador de rodos a una presión de vapor de 70 psi, y a la velocidad de 3 rpm. Seguidamente se obtuvo la harina del material seco con ayuda de un molino de martillos Raymond.

A todas las harinas se les determinó nitrógeno y se prepararon dietas

ajustando a 90% el nivel de proteína, agregándoseles 4% de sales minerales (10), 1% de aceite de hígado de bacalao, 5% de aceite de semilla de algodón, almidón de maíz para ajustar 100% y 5 ml de una solución de vitaminas (11) por cada 100 g de dieta.

Estas dietas fueron ofrecidas *ad libitum* a ratas de la raza Wistar de 22 días de edad de la colonia animal del INCAP, cuyo peso inicial oscilaba entre 40 y 50 g, asignando ocho ratas a cada dieta (cuatro hembras y cuatro machos) para el ensayo de NPR (12). Se preparó una dieta control de caseína al mismo nivel de proteína, y otra libre de nitrógeno. Los animales fueron alojados en jaulas individuales de tela metálica, recolectándose datos de cambio de peso y consumo de alimento cada siete días durante 14 días. Las heces de los animales experimentales se recolectaron durante la segunda semana de iniciado el experimento, para determinación de digestibilidad, secándolas en horno a 60°C, limpiándolas con aire y posteriormente fueron molidas con un molino Wiley. Tanto a las dietas como a las heces recolectadas se les determinó el contenido de nitrógeno por el método Kjeldhal (7).

Análisis Estadístico

Todos los resultados que se obtuvo fueron sometidos a la prueba estadística de análisis de varianza y a la prueba de correlación de Pearson a un nivel de confiabilidad de 0.05 (13).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. *Caracterización de las Variedades de Amaranthus caudatus*

Los resultados de rendimiento y de las determinaciones de peso, largo y ancho promedio, por semilla de las variedades de *A. caudatus*, se muestran en la Tabla 1. Según atestiguan los datos, el rendimiento varió de 5.1 a 11.5 kg por 30 m² con un promedio de 8.6 kg. Tal como se observa, el peso varió de 0.496 a 0.933 mg con un peso promedio (X) de 0.748 ± 0.11, mientras que el largo y el ancho oscilaron entre 1.11 y 1.37 mm (X = 1.23 ± 0.12) y entre 1.05 y 1.28 mm (X = 1.14 ± 0.10), respectivamente.

A partir de los resultados expuestos en la Tabla 1, se aprecia que las semillas de *A. caudatus* son sumamente pequeñas, lo que hace tarea bastante difícil la cosecha del grano. Uno de los componentes de rendimiento (kg/ha) es el peso del grano. Tanto éste como las dimensiones de la semilla acusaron una variabilidad relativamente amplia, lo que sugiere que estas características varietales podrían ser manipuladas por los genetistas de manera que se logre seleccionar según el mayor tamaño o peso del grano, sin afectar por ello la cantidad y calidad de la proteína de la semilla.

En la Tabla 2 se presentan los resultados promedio de proteína, grasa y humedad. La humedad osciló entre 10.55 y 12.86 g% con un promedio de 11.81 ± 0.79, y el contenido de proteína y grasa varió de 11.08 a 13.90 (X = 12.66 ± 0.96) y de 6.41 a 11.26 (X = 8.44 ± 1.54), respectivamente. Esta variabilidad también es de interés, sugiriendo que se podría seleccionar según estos dos nutrientes, proteína y energía, siempre

TABLA 1

CARACTERIZACION FISICA DE LAS VARIEDADES DE *Amaranthus caudatus*

Variedad	Identificación	Rendimiento kg/30 m ²	Peso, mg x̄ DE	Largo, mm x̄ DE	Ancho, mm x̄ DE
1	CAC-44	5.1	0.815 ± 0.09	1.34 ± 0.13	1.19 ± 0.09
2	CAC-2082	5.9	0.661 ± 0.06	1.19 ± 0.14	1.12 ± 0.09
3	CAC-10-C	8.1	0.769 ± 0.05	1.28 ± 0.12	1.16 ± 0.08
4	CAC-13-B	7.5	0.713 ± 0.10	1.25 ± 0.08	1.10 ± 0.08
5	CAC-2055	8.8	0.659 ± 0.02	1.21 ± 0.11	1.13 ± 0.09
6	CAC-2050	7.2	0.877 ± 0.03	1.24 ± 0.08	1.18 ± 0.08
7	CAC-39-B	10.5	0.720 ± 1.07	1.25 ± 0.16	1.19 ± 0.14
8	CAC-38	6.6	0.933 ± 0.03	1.33 ± 0.09	1.27 ± 0.08
9	CAC-8-A	9.6	0.496 ± 0.05	1.18 ± 0.09	1.09 ± 0.10
10	CAC-38-C	11.5	0.874 ± 0.01	1.37 ± 0.07	1.25 ± 0.07
11	CAC-47	8.9	0.673 ± 0.04	1.23 ± 0.13	1.14 ± 0.11
12	CAC-2	9.4	0.697 ± 0.01	1.17 ± 0.08	1.12 ± 0.06
13	CAC-41-F	10.7	0.753 ± 0.08	1.19 ± 0.10	1.07 ± 0.08
14	CAC-2002	10.4	0.633 ± 0.04	1.23 ± 0.08	1.16 ± 0.07
15	CAC-48-A	8.6	0.749 ± 0.04	1.22 ± 0.09	1.12 ± 0.08
16	CAC-50	10.7	0.782 ± 0.03	1.25 ± 0.05	1.16 ± 0.05
17	CAC-57	8.9	0.775 ± 0.05	1.15 ± 0.13	1.05 ± 0.07
18	CAC-55-B	11.5	0.838 ± 0.03	1.21 ± 0.12	1.11 ± 0.10
19	CAC-11-C	7.7	0.712 ± 0.02	1.12 ± 0.09	1.05 ± 0.10
20	CAC-69	9.1	0.820 ± 0.03	1.36 ± 0.08	1.28 ± 0.10
21	CAC-43-B	7.3	0.851 ± 0.06	1.19 ± 0.13	1.08 ± 0.08
22	CAC-2081	8.0	0.679 ± 0.06	1.11 ± 0.07	1.07 ± 0.08
23	CAC-7	8.7	0.673 ± 0.02	1.22 ± 0.09	1.12 ± 0.08
24	CAC-6-C	9.0	0.768 ± 0.11	1.22 ± 0.09	1.12 ± 0.08
25	CAC-2074	6.3	0.778 ± 0.13	1.25 ± 0.11	1.15 ± 0.07
Promedio		8.6	0.748 0.11	1.23 0.12	1.14 0.10

\bar{x} = Promedio.

DE = Desviación estándar.

y cuando ni el rendimiento ni la calidad nutricional de la proteína fueron afectados.

Las determinaciones de aminoácidos (Tabla 3) muestran que la metionina oscila entre 119 y 107 mg/g N ($X = 168 \pm 29$), la treonina varía de 194 a 344 mg/g N ($X = 276 \pm 44$), los valores de cistina son de 57 a 102 mg/g N ($X = 74 \pm 12$), la leucina oscila entre 239 y 490 mg/g N ($X = 381 \pm 18$), y el contenido de lisina varía de 308 a 438 mg/g N ($X = 370 \pm 41$).

El análisis de varianza efectuado entre las 25 variedades de *A. caudatus* estableció que existe una diferencia significativa ($P < 0.05$) en todas las determinaciones efectuadas (peso, largo y ancho de las semillas y en los contenidos de humedad, proteína, grasa y para todos los aminoácidos

TABLA 2

HUMEDAD, PROTEINA Y GRASA DE LAS VARIEDADES DE *Amaranthus caudatus*

Variedad	Humedad, g/o x DE	Proteína, g/o x DE	Grasa, g/o x DE
1	11.45 ± 0.64	11.08 ± 0.33	6.41 ± 0.45
2	11.76 ± 0.87	11.20 ± 0.94	7.71 ± 0.16
3	10.55 ± 0.43	11.92 ± 0.41	7.64 ± 0.49
4	11.91 ± 0.66	12.94 ± 0.37	8.01 ± 0.48
5	11.58 ± 0.44	11.90 ± 0.54	8.71 ± 0.36
6	11.92 ± 0.61	12.72 ± 0.48	8.13 ± 0.50
7	11.37 ± 0.44	12.54 ± 0.67	8.05 ± 0.33
8	10.84 ± 1.23	13.90 ± 0.65	8.75 ± 0.53
9	10.74 ± 1.01	13.17 ± 0.58	8.69 ± 0.46
10	10.91 ± 0.78	13.37 ± 0.73	7.65 ± 0.56
11	12.18 ± 0.48	12.34 ± 0.28	7.10 ± 0.34
12	11.79 ± 0.36	13.24 ± 0.67	7.68 ± 0.37
13	11.83 ± 0.43	13.61 ± 0.28	6.45 ± 0.42
14	11.72 ± 0.54	13.66 ± 0.45	8.60 ± 0.57
15	12.01 ± 0.62	13.06 ± 0.24	7.29 ± 1.04
16	11.52 ± 0.68	12.44 ± 0.29	6.74 ± 1.27
17	12.14 ± 0.46	12.92 ± 0.56	7.55 ± 0.75
18	12.81 ± 0.54	12.77 ± 0.60	7.17 ± 0.37
19	11.99 ± 0.66	13.06 ± 0.41	9.62 ± 0.74
20	12.17 ± 0.25	12.46 ± 0.51	9.61 ± 0.16
21	12.60 ± 0.27	13.68 ± 0.68	10.40 ± 1.09
22	12.35 ± 0.26	13.85 ± 0.52	9.25 ± 0.65
23	12.86 ± 0.57	11.45 ± 1.12	11.43 ± 1.18
24	12.31 ± 0.55	11.97 ± 0.23	11.26 ± 0.64
25	12.02 ± 0.41	11.38 ± 0.49	11.10 ± 0.64
Promedio	11.81 0.79	12.66 0.96	8.44 1.54

\bar{x} = Promedio de cuatro repeticiones.

DE = Desviación estándar

esenciales evaluados). Así pues, las variedades incluidas en este estudio son distintas entre sí, por lo que podrían clasificarse en grupos estadísticamente iguales por el contenido de cada uno de los componentes evaluados según la prueba estadística de Tukey, cuya clasificación se observa en la Tabla 4. Para la mayoría de los casos hay dos grupos, uno con alto contenido y el otro con bajo contenido del elemento en cuestión, sin embargo, en los casos de peso de la semilla y contenido de grasa, así como para metionina, treonina, cistina y leucina, las variedades se clasifican en tres grupos, o sea aquéllos con contenidos bajos, intermedios y altos.

TABLA 3

AMINOACIDOS ESENCIALES DE LAS VARIEDADES DE *Amaranthus caudatus*

No.	Metionina*		Treonina*		Cistina*		Leucina*		Lisina*	
	\bar{x}	DE	\bar{x}	DE	\bar{x}	DE	\bar{x}	DE	\bar{x}	DE
1	189	± 16	264	± 19	76	± 9	408	± 29	318	± 17
2	207	± 11	249	± 25	76	± 17	356	± 30	333	± 48
3	197	± 8	255	± 18	102	± 11	358	± 36	408	± 29
4	185	± 5	234	± 9	84	± 6	316	± 52	390	± 42
5	189	± 14	253	± 24	88	± 5	338	± 23	421	± 30
6	189	± 7	253	± 17	78	± 4	316	± 32	398	± 28
7	205	± 14	276	± 18	96	± 5	282	± 38	402	± 17
8	145	± 13	234	± 10	75	± 15	239	± 13	376	± 17
9	143	± 16	202	± 18	57	± 9	338	± 57	379	± 19
10	147	± 8	194	± 18	79	± 9	335	± 34	308	± 9
11	167	± 7	245	± 19	77	± 10	375	± 4	350	± 27
12	198	± 19	323	± 22	64	± 4	490	± 52	365	± 40
13	187	± 9	290	± 8	66	± 5	480	± 9	390	± 12
14	188	± 2	310	± 28	63	± 9	457	± 16	382	± 26
15	197	± 20	344	± 24	71	± 4	377	± 40	438	± 21
16	155	± 6	269	± 39	69	± 2	340	± 7	392	± 39
17	152	± 15	305	± 20	69	± 5	327	± 23	342	± 30
18	161	± 12	392	± 39	70	± 3	438	± 25	331	± 22
19	170	± 14	307	± 16	72	± 6	402	± 23	361	± 21
20	195	± 9	296	± 14	79	± 3	397	± 32	375	± 26
21	140	± 8	276	± 17	64	± 5	454	± 38	379	± 34
22	126	± 6	259	± 16	64	± 2	424	± 19	355	± 18
23	134	± 17	338	± 51	76	± 6	409	± 33	366	± 53
24	119	± 7	303	± 18	70	± 8	383	± 8	330	± 31
25	124	± 8	336	± 23	78	± 3	404	± 15	366	± 41
Promedio**	168	± 29	276	± 44	74	± 12	381	± 18	370	± 41

* mg/g N.

** Promedio de 25 variedades

 \bar{x} = Promedio

DE = Desviación estándar.

Los resultados de los análisis químicos practicados demostraron que la especie de *A. caudatus* se encuentra entre los límites detectados en general para las especies de amaranto (5, 14).

Es un hecho conocido (6, 14) que la variación es una propiedad de todos los seres vivos y que en el caso de las plantas no hay dos que sean exactamente iguales. Esta variación depende de la interacción herencia y medio ambiente, teniendo este último factor una gran influencia en el contenido de nutrientes de los vegetales. Esta variabilidad es de gran significancia ya que permite seleccionar materiales con características deseables.

TABLA 4

CLASIFICACION DE LAS VARIEDADES DE *A. caudatus* EN GRUPOS

Parámetro	Grupo	Variedades	Diferen- cia*	Prome- dio	Míni- mo	Máxi- mo
Ancho (mm)	1	1,2,3,4,5,6,7,9,11,12,13 14,15,16,17,18,19,21,22,23 24,25	0.14	1.12	1.05	1.19
	2	8,10,20		1.27	1.25	1.28
Largo (mm)	1	2,3,4,5,6,7,9,11,12,13,14,15 16,17,18,19,21,22,23,24,25	0.17	1.20	1.11	1.28
	2	1,8,10,20		1.35	1.33	1.37
Proteína (g %)	1	1,2,3,5,11,16,23,24,25	1.69	13.28	12.51	14.19
	2	4,5,6,7,8,9,10,12,13,14 15,17,18,19,20,21,22		15.06	14.44	15.81
Grasa (g %)	1	1,2,3,4,7,10,11,12,15,16 17,18	1.95	8.31	7.23	9.10
	2	5,6,8,9,14,19,20,22		10.09	9.23	10.94
	3	21,23,24,25		12.62	11.90	13.12
Metionina (mg/g N)	1	8,9,10,21,22,23,24,25	35.74	134.47	119.00	147.00
	2	11,16,17,18,19		160.90	152.00	170.00
	3	1,2,3,4,5,6,7,12,13,14 15,20		193.60	185.00	207.00
Treonina (mg/g N)	1	2,4,5,6,8,9,10,11	60.88	232.88	193.75	252.75
	2	1,3,7,13,16,17,18,20,21 22,24		281.18	254.75	305.00
	3	12,14,15,19,23,25		325.96	306.75	343.50
Cistina (mg/g N)	1	1,2,8,9,11,12,13,14,15,16 17,18,19,21,22,23,23	20.34	69.26	57.00	77.25
	2	6,10,20,25		78.50	77.50	79.25
	3	3,4,5,7		92.38	83.50	102.25
Leucina (mg/g N)	1	4,6,7,8	82.38	287.75	238.63	315.63
	2	2,3,5,9,10,11,15,16,17,19 20,24,25		364.24	326.50	408.00
	3	1,12,13,14,18,21,22,23		460.05	423.88	489.25
Lisina (mg/g N)	1	1,2,8,9,10,11,12,14,17,18 19,20,21,22,23,24,25	80.59	353.75	307.75	382.25
	2	3,4,5,6,7,13,15,16		404.34	389.50	438.00
Peso (mg)	1	2,5,9,11,14,22,23	0.19	0.64	0.49	0.68
	2	4,7,12,19		0.71	0.69	0.72
	3	1,3,6,8,10,13,15,16,17,18 20,21,24,25		0.81	0.74	0.93

* Diferencia que detecta la prueba de Tukey para determinar que dos variedades son distintas

superiores.

Algunos autores (5) han señalado que en el *A. caudatus* no se había determinado su variabilidad. Con los resultados obtenidos en este estudio se pudo determinar la gran variabilidad existente en dicha especie. Se ha establecido (15) que una variedad cultivada es más variable cuanto mayor es el porcentaje de fecundación cruzada y, en cierta medida, cuando la variedad es más vieja o ha sido manejada con cierto descuido en su reproducción, es decir, cuando la oportunidad de mezclas, cruzamientos y mutaciones sea mayor.

Se hicieron correlaciones entre los parámetros evaluados, incluyendo producción, y como se aprecia en la Tabla 5, se encontró la existencia de correlaciones positivas significativas ($P < 0.05$) sólo entre producción y proteína, y entre los aminoácidos metionina-cistina, metionina-lisina y treonina-leucina. También se estableció una correlación negativa significativa ($P < 0.05$) entre proteína-cistina, grasa-metionina y cistina-leucina. En la Tabla 6 se observan los valores de B (pendiente) con los cuales se establecen las relaciones entre las variables dependiente-independiente, de tal forma que para cada unidad de cambio de la variable independiente, hay un incremento o disminución de B para la variable dependiente.

Las correlaciones se hacen con el propósito de establecer los parámetros químicos que puedan predecir el valor nutricional de las semillas (16). No se encontró correlación significativa entre peso por semilla y producción, pero la tendencia observada (Tabla 5) es negativa, o sea que las semillas más pequeñas son las que tienen mayor producción (rendimiento). Esto podría atribuirse al mayor número de granos pequeños obtenidos en una unidad de área fija. En otras especies vegetales, el maíz, por ejemplo (15), la manera más segura de seleccionar variedades por mayor producción es determinando el peso total de las mazorcas o granos producidos por cada planta, sin embargo, no parece existir una regla general en este sentido.

En el estudio que aquí se describe, las correlaciones positivas establecidas entre producción y proteína, metionina y cistina, así como la correlación negativa entre proteína y cistina son de destacarse, ya que en el caso del amaranto, al incrementar la proteína con el aumento de producción, se obtendrá proteína de menor calidad. Se ha comentado (17, 18) que el incremento de proteína para obtener mejor calidad nutritiva no es eficaz, ya que por el contrario, el incremento en proteína tiene por consecuencia la disminución en el contenido de aminoácidos esenciales expresados en mg/g N, y por ende, en la eficiencia de utilización de la proteína. En el amaranto se estableció una correlación negativa entre el porcentaje de proteína y el contenido de cistina, y positiva entre cistina y metionina. En consecuencia, en el caso del amaranto se puede pensar en incrementar su valor nutritivo al aumentar el contenido de proteína. Por otra parte, la correlación positiva que se encontró entre metionina y lisina es de interés, ya que en la práctica es mucho más sencillo determinar la lisina que la metionina.

En la Tabla 7 se exponen los resultados de puntaje para los aminoácidos sometidos a ensayo. En ella se observa que los aminoácidos azufrados resultaron ser los aminoácidos limitantes para las variedades 21, 22, 23, 24 y 25, con puntajes que oscilaron entre 0.86 y 0.93, para las variedades 4, 8, 9, 10 y 11, el aminoácido treonina resultó ser limitante, mientras

TABLA 5

COEFICIENTES DE CORRELACION DE PEARSON ENTRE ASPECTOS FISICOS, QUIMICOS Y
PRODUCCION DE 25 VARIEDADES DE *Amaranthus caudatus*

Variable	Producción	Peso	Lisina	Leucina	Cistina	Treonina	Metionina	Extracto etéreo
Proteína	0.388 S = 0.028*	0.102 S = 0.317	0.157 S = 0.226	0.072 S = 0.366	-0.501 S = 0.005*	-0.101 S = 0.315	-0.138 S = 0.255	-0.087 S = 0.340
Extracto etéreo	-0.225 S = 0.140	-0.064 S = 0.380	-0.043 S = 0.420	0.197 S = 0.173	-0.082 S = 0.348	0.333 S = 0.052	-0.586 S = 0.001*	- -
Metionina	-0.006 S = 0.489	-0.091 S = 0.332	0.385 S = 0.029*	-0.072 S = 0.366	0.399 S = 0.024*	0.002 S = 0.496	- -	- -
Treonina	0.019 S = 0.465	0.005 S = 0.492	0.150 S = 0.237	0.581 S = 0.001	-0.173 S = 0.205	- -	- -	- -
Cistina	-0.138 S = 0.255	0.206 S = 0.161	0.253 S = 0.111	-0.464 S = 0.010*	- -	- -	- -	- -
Leucina	0.150 S = 0.237	-0.205 S = 0.162	-0.164 S = 0.217	- -	- -	- -	- -	- -
Lisina	0.054 S = 0.339	-0.165 S = 0.215	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Peso	-0.127 S = 0.272	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -

S = Significancia.

* Altamente significativo (<0.05).

TABLA 6

CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS ENTRE ALGUNOS PARAMETROS
EVALUADOS EN *Amaranthus caudatus*

Variables independiente-dependiente	r*	B**
Productividad-proteína	0.3880	0.2185
Metionina-cistina	0.3990	0.1470
Metionina-lisina	0.3850	0.4415
Treonina-leucina	0.5807	1.8609
Proteína-cistina	-0.5006	-5.3491
Grasa-metionina	-0.5862	-9.6980
Cistina-leucina	-0.4640	-5.8100

* r = Coeficiente de correlación de Pearson.

** B = Pendiente

que el aminoácido lisina fue limitante para las variedades 1, 2 y 18

En repetidas ocasiones se ha informado (1, 4, 14, 19, 20) que las especies de amaranto son ricas en los aminoácidos azufrados y lisina, y que son limitantes en el aminoácido leucina. Contrario a esto, en el caso de *A. caudatus* objeto del presente estudio, se demostró que unas variedades son ligeramente deficientes en aminoácidos azufrados y lisina, otras son ligeramente deficientes en treonina, y que de acuerdo al patrón de FAO/OMS, casi todas las variedades de *A. caudatus* son deficientes en el aminoácido leucina. Un aspecto interesante de mencionar es que de acuerdo al promedio para todas las variedades, resulta que ninguno de los aminoácidos esenciales es deficiente, a excepción de la leucina.

En cuanto al estudio biológico efectuado en las variedades, se encontró, como se aprecia en la Tabla 8, que el índice de razón proteínica neta (NPR) tiene un promedio de 3.54, y que la digestibilidad oscila entre 76 y 85% con un promedio de 80%.

El análisis de varianza demostró que no existe ninguna diferencia entre las variedades en lo que a NPR se refiere ($P < 0.05$) ni en contraste con el control de caseína empleado.

En lo referente a digestibilidad, el análisis de varianza detectó diferencias significativas entre variedades ($P < 0.05$), lográndose establecer dos grupos por la prueba de Tukey, el primero que incluye las variedades 1, 2, 4, 5, 10, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24 y 25 con una digestibilidad promedio de 79%, y el segundo grupo, que incluye las variedades 3, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 17, 19, 21 y 23, con una digestibilidad promedio de 81%. Además, ambos grupos fueron estadísticamente diferentes del grupo control de caseína cuya digestibilidad fue de 93%.

TABLA 7

PUNTAJE* DE LAS VARIEDADES DE *Amaranthus caudatus*

Variedad	AAA**	Treonina	Leucina	Lisina
1	1.20	1.06	0.93	0.94
2	1.29	0.99	0.81	0.98
3	1.36	1.02	0.81	1.19
4	1.22	0.94	0.72	1.15
5	1.26	1.01	0.77	1.24
6	1.21	1.01	0.72	1.17
7	1.36	1.10	0.64	1.18
8	0.99	0.94	0.54	1.11
9	0.91	0.81	0.77	1.11
10	1.03	0.78	0.76	0.91
11	1.11	0.98	0.85	1.03
12	1.19	1.29	1.11	1.07
13	1.15	1.16	1.09	1.15
14	1.14	1.24	1.04	1.12
15	1.21	1.38	0.86	1.29
16	1.02	1.08	0.79	1.15
17	1.00	1.22	0.74	1.01
18	1.05	1.21	0.99	0.97
19	1.10	1.23	0.91	1.06
20	1.25	1.18	0.90	1.10
21	0.93	1.10	1.03	1.11
22	0.86	1.04	0.96	1.04
23	0.95	1.35	0.93	1.08
24	0.86	1.21	0.87	0.97
25	0.92	1.34	0.92	1.08
Promedio	1.10	1.10	0.87	1.09

* Puntaje. mg/g N del aminoácido entre mg/g N del aminoácido de la proteína de referencia de FAO 1973, en mg/g N = AAA 220; treonina 250, leucina. 440, lisina: 340.

** Aminoácidos azufrados (cistina + metionina).

Los resultados del estudio biológico indican que todas las variedades de *A. caudatus* al ser administradas en forma cocida son de excelente calidad nutricional. No obstante, los bajos valores de digestibilidad señalan que hay algún factor antinutricional que impide la utilización total de la proteína del amaranto, factor que debe ser termoestable ya que las semillas fueron tratadas térmicamente durante 10 min y luego pasadas por un secador de rodos.

El presente estudio demostró la gran variabilidad que en todos los parámetros físicos y químicos evaluados existe entre las variedades de

TABLA 8

ESTUDIO BIOLOGICO DE LAS VARIEDADES DE AMARANTO

Variedad	NPR*	Digestibilidad verdadera (º/o)
1	3.79	80
2	3.76	80
3	3.64	81
4	3.53	80
5	3.58	80
6	3.45	81
7	3.28	82
8	3.55	81
9	3.42	81
10	3.45	80
11	3.54	81
12	3.39	81
13	3.65	80
14	3.72	81
15	3.43	80
16	3.71	80
17	3.41	82
18	3.47	76
19	3.60	85
20	3.87	77
21	3.46	81
22	3.53	79
23	3.50	81
24	3.33	79
25	3.47	79
Promedio	3.54	80
Control caseína	3.58	93

* NPR = Razón proteínica neta, promedio de 8 observaciones

A. caudatus estudiadas. Esto es importante ya que demuestra la factibilidad de mejorar la especie a través de programas de fitomejoramiento, y aprovechar así el potencial nutricional que esta especie presenta

SUMMARY

GENETIC VARIABILITY AND CORRELATIONS BETWEEN YIELD, GRAIN SIZE, CHEMICAL COMPOSITION AND PROTEIN QUALITY OF 25 VARIETIES OF AMARANTH (*Amaranthus caudatus*)

The purpose of the present research was to establish the variability in agronomic,

chemical and nutritional characteristics among 25 amaranth (*A. caudatus*) cultivars

A large variability was found among cultivars in all the parameters evaluated. Average seed weight was 0.75 mg, and had an average size of 1.23 x 1.14 mm. The average moisture, protein and fat content was 11.81, 12.66 and 8.44%, respectively. The average values for methionine, threonine, cystine, leucine and lysine were. 168, 276, 74, 381 and 370 mg/g N, in the same order as presented.

It was possible to establish significant, positive correlations between yield-protein, methionine-cystine, methionine-lysine, and threonine-leucine, as well as significant negative correlations between protein-cystine, fat-methionine and cystine-leucine. Furthermore, it is not possible to select cultivars of higher yield on the basis of seed weight, since these two variables were negatively correlated, although not statistically significant.

Among all 25 cultivars studied, some were deficient in sulfur-containing amino acids, while based on the FAO/WHO essential amino acid pattern, all of them were deficient in leucine.

The average protein quality value expressed as NPR was 3.54 in thermally-processed samples, with no differences between cultivars. Nevertheless, protein digestibility values probably classified the samples in two groups with average values of 79 and 81%, respectively. The variability found can thus be used to select cultivars with higher yields and higher nutritional characteristics.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Sánchez Marroquín, A. Dos cultivos olvidados, de importancia agroindustrial El amaranto y la quinua. *Arch. Latinoamer Nutr.*, 33(1) 11-32, 1983
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. Senft, J P Protein quality of amaranth grain En *Proceedings, 2nd Amaranth Conference*. Kutztown, Pa., 1979
5. Sumar Kalinowski, L El pequeño gigante. En *El Amaranto y Su Potencial*. (Boletín No 2) Guatemala, Archivos Latinoamericanos de Nutrición, junio, 1983
- 6 Devadas, R. P., V Anuradha & U Chandrasekhar Seasonal variation in the nutrient content of *Amaranthus flavus* *J Nutr Dietet.*, 6 305-307, 1969.
- 7 Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 11th ed. Washington, D C., 1970
- 8 Association of Official Agricultural Chemists *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 7th ed Washington, D C., 1950, p 346
- 9 Gómez-Brenes, R. A & R Bressani. Método para la determinación de aminoácidos, aplicable a problemas de suplementación, fitomejoramiento y bioquímica nutricional. *Arch Latinoamer Nutr*, 23(4). 443-464, 1973
- 10 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
11. Manna, L & S M. Hatige A possible relationship of vitamin B₁₃ to orotic acid *J Biol. Chem.*, 202 91-96, 1957
- 12 Bender, A. E & B. H. Doell. Biological evaluation of proteins A new aspect. *Brit. J. Nutr.*, 11: 140-148, 1957

13. Ott, L. **An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis.** Belmont, CA, Wadsworth Publishing Co., Inc., 1977.
14. Bourges, A. Perfil bromatológico del amaranto. En: **Memorias del Primer Seminario Nacional de Amaranto.** Vol. 1. México, 1984, p 252-270
15. Brauer, O. **Fitogenética Aplicada.** México, Limusa, 1969, p. 65-81.
16. Elías, L.G , G Fukuda & R. Bressani. Correlation between chemical and biological parameters to evaluate the nutritional value of leguminous seeds In: **XII International Congress of Nutrition, California, August 18-21, 1981.** (Abstract 368).
17. Bressani, R. Calidad proteínica de la semilla de amaranto cruda, y procesada. En **El Amaranto y Su Potencial.** (Boletín No. 3). Guatemala, Archivos Latinoamericanos de Nutrición, septiembre, 1983.
- 18 Fukuda, G. **Significado de Algunos Indicadores Químicos y Biológicos de la Evaluación del Frijol (*Phaseolus spp.*)** Tesis (*Magister Scientifice en Ciencia y Tecnología de Alimentos*) Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, CESNA/INCAP. Guatemala, 1978.
- 19 Becker, R., O. K Grsoyean & K. Lorenzo Saccharides and starch of grain amaranth. En: **Proceedings, 2nd. Amaranth Conference.** Kutztown, PA, Rodale Press, 1979
20. Sánchez Marroquín, A., S Maya & J. L. Pérez. Agroindustrial potential of amaranth in Mexico In **Proceedings, 2nd. Amaranth Conference** Kutztown, PA, Rodale Press, 1979, p 95-104