

## Estructura de correlaciones y selección de descriptores en la evaluación de germoplasmas de amaranto

### Correlation structure and choice of descriptors in the evaluation of amaranthus germplasms

S. D. Matteucci<sup>1</sup> y L. Pla<sup>2</sup>

#### Resumen

En el marco de la evaluación de germoplasmas de amaranto (*Amaranthus* spp.), la estructura de correlaciones fue analizada para seleccionar los mejores descriptores. Se obtuvo la matriz de correlaciones de Pearson para todos los pares de caracteres vegetativos y reproductivos medidos a la cosecha en 6 genotipos. Se identificaron 46 asociaciones de interés, de las cuales 17 se presentan en todos ellos. Todas las variables de biomasa correlacionaron significativamente entre sí y con el área foliar en los 6 germoplasmas, y para éstas se ajustaron modelos lineales con las bandas de confianza de las estimaciones que podrían hacerse para predecir el valor de una variable de respuesta a partir de los datos de la variable independiente. El análisis canónico separó el *A. mantegazzianus* por sus plantas más altas, y el *A. cruentus* cv Don Armando por sus panojas más cortas y semillas más livianas. Los germoplasmas se agruparon de acuerdo a los modelos de respuesta de cada par de variables usando como criterio de similitud el análisis de paralelismo y se obtuvo una función para cada grupo. Aplicando estas funciones se reduce la cantidad de caracteres a medir. Estos descriptores pueden ser utilizados en estudios posteriores para la construcción de modelos determinísticos.

**Palabras claves:** Adaptabilidad; cultivos alternativos; *A. hypochondriacus*, *A. cruentus*, *A. caudatus*; funciones canónicas, germoplasma.

#### Abstract

The correlation structure of biometric variables was analyzed as a tool for selecting the best descriptors for amaranth (*Amaranthus* spp) germplasms trials. A Pearson's correlation matrix was obtained for all the combinations of vegetative and reproductive traits measured at harvest in 6 germplasms. Signifi-

Recibido el 13-07-1998 • Aceptado el 23-10-1998

1. Investigadora Independiente de CONICET, Instituto Fitotécnico Santa Catalina-Centro de Investigaciones Genéticas, UNLP, CC-4 Llavallol, Pcia. de Buenos Aires. E-mail: smatt@cvtci.com.ar

2. Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola - UNEFM, Apdo. 7434, Coro, Venezuela. E-mail: laura@reacciun.ve

cant relationships were identified between 46 pairs of variables; only 17 of these associations are common to all the germplasms. Plant and organs biomass correlate significantly between them and with leaf area in the 6 germplasms. Linear regression models were fitted for each of the 17 related variable pairs, including the confidence bands for the response variable prediction. *A. mantegazzianus* was discriminated from the other five genotypes by canonical analysis for its taller plants, and *A. cruentus* cv Don Armando for its shorter seedheads and smaller seeds. Using regression lines parallelism as criteria of uniformity, the germplasms were grouped according to the response model for each variable pair, and a response function was obtained for each group. The application of these functions may reduce measurement effort. These descriptors may be used in future studies for the construction of deterministic models.

**Key words:** Adaptability, alternative crops, canonical analysis, *A. hypochondriacus*, *A. cruentus*, *A. caudatus*, germplasm.

## Introducción

El interés en el amaranto (*Amaranthus* spp.) surge por su potencial para ampliar la diversidad de cultivos comerciales, con una contribución importante a la reserva alimenticia mundial. Esto ha desencadenado la actividad de investigación genética, taxonómica, ecofisiológica, agronómica y en el campo de la tecnología de alimentos en diversos países (2).

El proyecto, ecofisiología del amaranto iniciado en 1996 se enmarca dentro de la nueva estrategia de la ciencia agronómica, que cambia el énfasis puesto anteriormente en la modificación del medio hacia el descubrimiento o redescubrimiento de cultivos adaptados a las condiciones naturales imperantes (4). Se propone comparar el comportamiento ecofisiológico de distintos germoplasmas y elegir los más promisorios para las condiciones locales.

El análisis de correlación es una

herramienta valiosa en fitotecnia para reconocer el mecanismo de la expresión del carácter de selección. La correlación entre dos o más caracteres puede explicarse por efectos genéticos, ambientales o la interacción entre ambos. Los caracteres fenotípicos cuantitativos, como el rendimiento y sus componentes pueden presentar correlación genética por pleiotropismo de los genes, pero también por la interacción de efectos genéticos y/o ambientales que modifican la expresión de los caracteres considerados. La diversidad de formas de interrelación entre características complejas como el rendimiento, hace difícil la selección sobre la base de un carácter y es necesario conocer estas formas para obtener los resultados deseados. Caracteres asociados entre sí en la dirección deseable y con el rendimiento pueden ser usados unitariamente como criterio de selección, pero caracteres que correlacionan de manera opuesta a lo deseable entre sí, aunque lo hagan

en la forma deseable con el rendimiento, impiden el progreso hacia un incremento del rendimiento porque sus efectos se compensarían (3).

El presente trabajo tiene como objetivo elegir los mejores descriptores para los estudios de comportamiento agronómico del amaranto.

## Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el predio del Instituto Fitotécnico Santa Catalina de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Plata, ubicado en la Provincia de Buenos Aires (58°27' Long W; 34°47' Lat S), durante la campaña 1996/97.

Se probaron 6 germoplasmas: *Amaranthus hypochondriacus*; *A. cruentus* cv Don Armando; *A. cruentus* cv Don Guiem; *A. mantegazzianus* cv Don Juan, el híbrido *A. cruentus* x *A. caudatus* cv Don León y *A. caudatus* cv peruano. Las semillas provienen de la Estación Experimental de INTA Anguil; excepto las de *A. mantegazzianus* que es segunda generación en el sitio de estudio.

Los detalles de la siembra y el manejo del cultivo se describen en otro artículo (5). El cultivo se obtuvo por trasplante. Los tratamientos se dispusieron en un diseño de bloques aleatorios, con parcelas formadas por dos hileras a 0,50 m de distancia como unidad experimental. La distancia entre plantas era de 0,20 m. A la cosecha se midieron caracteres vegetativos y reproductivos por planta: altura de la planta (ALT), longitud del tallo (LTA), longitud de la inflorescencia terminal (LIN), diámetro en el segundo entrenudo (DIA), peso fresco y seco de las hojas (PFHOJ y PSHOJ), peso seco de tallo

(PSTA), de panoja (PINF), de ejes (EJE), de granza (GRANZA), de grano cernido (GR1), de grano aventado (GRLI) y de mil semillas (P1000). Se estimó el área foliar por el método gravimétrico, a partir del peso fresco (AFF) y del peso seco (AFS) de las hojas y los discos. Se calculó el peso seco del vástago (PLANTA) a partir de la suma de los pesos de los órganos aéreos. Se hicieron dos muestreos, con 14 días de diferencia. En la segunda cosecha se midieron sólo las variables reproductivas.

Los datos se sometieron a análisis de correlaciones para detectar los mejores descriptores. Se obtuvo la matriz de correlaciones de Pearson para todos los pares de variables, incluyendo caracteres medidos por distintos métodos (altura de la planta evaluada como suma de longitud del tallo y de panoja; granos cernidos y granos aventados; peso de la planta como suma de los pesos de los órganos, peso fresco y seco de las hojas, área foliar estimada a partir de pesos fresco y seco de las hojas). Con los datos de todos los genotipos juntos y las curvas de dispersión para los pares de variables de interés por genotipo se estudió detalladamente la estructura de asociaciones en tres pasos. Primero, se detectaron las correlaciones significativas entre las 13 variables de interés utilizando una prueba de t de

Student con el nivel de significación ajustado para las 78 comparaciones realizadas simultáneamente ( $p=0,05/78=0,000641$ ). Se calcularon las variables canónicas y se graficaron a fin de visualizar la distancia relativa entre los grupos. En el segundo paso, para aquellos pares de variables que correlacionan significativamente se probó la igualdad de las matrices de covarianza así como de los coeficientes de correlación utilizando la prueba *M* de Box (1). Se ajustó la probabilidad del estadístico por tratarse de estimaciones simultáneas ( $p=0,05/48=0,001042$ ). También se realizó una prueba de paralelismo comparando el residual obtenido mediante un coeficiente de regresión común para todos los germoplasmas (paralelismo) con aquel obtenido usando un

coeficiente de regresión para cada germoplasma. En los casos en que se aceptó la igualdad entre germoplasmas se construyó una única función de ajuste, de lo contrario se agruparon los genotipos con comportamiento similar y se construyeron tantas funciones como grupos. El uso de gráficos de dispersión por germoplasma resultó una herramienta muy adecuada a fin de tomar las decisiones para la construcción de los grupos. En tercer lugar, se ajustaron las funciones por mínimos cuadrados ordinarios y se realizaron estudios de comportamiento de residuales y normalidad. Se hicieron análisis de varianza y prueba de medias para evaluar la significancia de la diferencia entre datos de caracteres medidos de distintas maneras.

## Resultados y discusión

Dado que no hubo diferencias significativas entre los resultados de los 2 muestreos (cuadro 1), los datos se juntaron y los restantes análisis se hicieron sin distinguir entre cosechas. El hecho de que no hubiera diferencias entre las cosechas indica que éstas se hicieron en el momento adecuado, ya que los granos habían finalizado el proceso de llenado y, aun cuando el peso de las semillas era inferior en la segunda cosecha en 4 de los germoplasmas, todavía no mostraban pérdidas significativas. Tampoco se detectaron diferencias significativas entre bloques para ninguna de las variables (5).

De las 153 correlaciones calculadas, hay 96 que resultaron

significativas con un 95% de confianza, cuando se calculan para el conjunto de los genotipos. Algunas tienen interés práctico, ya que permitirán facilitar los pasos experimentales en investigaciones futuras al permitir reducir los caracteres a evaluar. Por ejemplo, los granos obtenidos de la trilla se limpiaron en dos pasos: primero se tamizaron separando la granza gruesa y se obtuvo el peso (GR1), luego se aventaron para separar la granza fina y se pesaron nuevamente (GRLI). Ambos pesos (GR1 y GRLI) correlacionan alta y significativamente entre sí ( $r=0,9945$ ;  $p=0,000$ ), la asociación es semejante para todos los genotipos (figura 1) y ambas variables se relacionan de igual manera con las

**Cuadro 1. Promedios de los pesos de grano por planta de cada germoplasma en ambas cosechas.**

Genotipo	Peso del grano (g/planta)	
	1ª cosecha	2ª cosecha
1. <i>A. hypochondriacus</i>	43,75 ± 3,33	46,89 ± 5,40
2. <i>A. cruentus</i> cv Don Armando	37,89 ± 4,71	30,24 ± 4,70
3. <i>A. cruentus</i> cv Don Guiem	37,22 ± 4,45	32,31 ± 6,00
5. <i>A. mantegazzianus</i> cv Don Juan	33,69 ± 2,79	28,61 ± 4,21
6. <i>A. cruentus</i> x <i>A. caudatus</i> cv Don Leon	43,86 ± 3,49	30,78 ± 3,50
7. <i>A. caudatus</i> cv peruano	35,85 ± 3,82	35,34 ± 4,52

demás; por lo tanto, podría calcularse el peso de los granos limpios a partir de los granos cernidos con la ecuación de regresión ( $GRLI = -1,4799 + 0,9123 GR1$ ;  $r^2$  ajustado=0,9886;  $p=0,000$ ), sin necesidad de profundizar la limpieza. Algo parecido ocurre con la altura de la planta medida a campo y la suma de las longitudes de tallo e inflorescencia (LINTA) medidas en el laboratorio ( $r=0,950$ ;  $p=0,000$ ), y con peso de la panoja cosechada y la suma de los componentes de la panoja ( $r=0,998$ ;  $p=0,000$ ). En este último caso, se demuestra que las pérdidas que se producen en el proceso de separación de las partes de la panoja no afectan el resultado final ya que la prueba de  $t$  para datos pareados ( $n=72$ ;  $H_0$ =medias iguales;  $t$  calculado=1,65;  $p=0,1034$ ) muestra que no hay diferencia entre los promedios obtenidos por sendos procedimientos. Por el contrario, para la altura de la planta la prueba de  $t$  para datos pareados ( $n=68$ ;  $H_0$ =medias iguales;  $t$  calculado=31,26;  $p=0,000$ ) muestra que existe una diferencia altamente significativa entre los valores medidos a campo y los

calculados (LINTA). Esto ocurre porque, siendo las plantas tan altas (promedios generales de ALT=1,73 m y LINTA=2,08 m), la medición de la planta en pie resulta engorrosa y seguramente se pierde exactitud en la medida. Sin embargo, la altura de la planta puede calcularse a partir de la longitud del tallo, ya que ambas variables correlacionan significativamente en todos los germoplasmas.

El peso fresco de las hojas correlaciona con su peso seco ( $r=0,9429$ ;  $p=0,000$ ), y ambas medidas se comportan de igual manera con respecto a las demás variables; sin embargo, en la medición del peso fresco es necesario tener la precaución de cosechar las hojas antes del amanecer y pesarlas de inmediato, por ello se prefiere el peso seco. El área foliar calculada a partir del peso fresco correlaciona con aquella calculada a partir del peso seco ( $r=0,7482$ ;  $p=0,000$ ), pero al trabajar con pesos secos se reduce la variabilidad (figura 2), ya que disminuye el error experimental en el muestreo de discos. El desvío de la relación 1:1 entre ambas

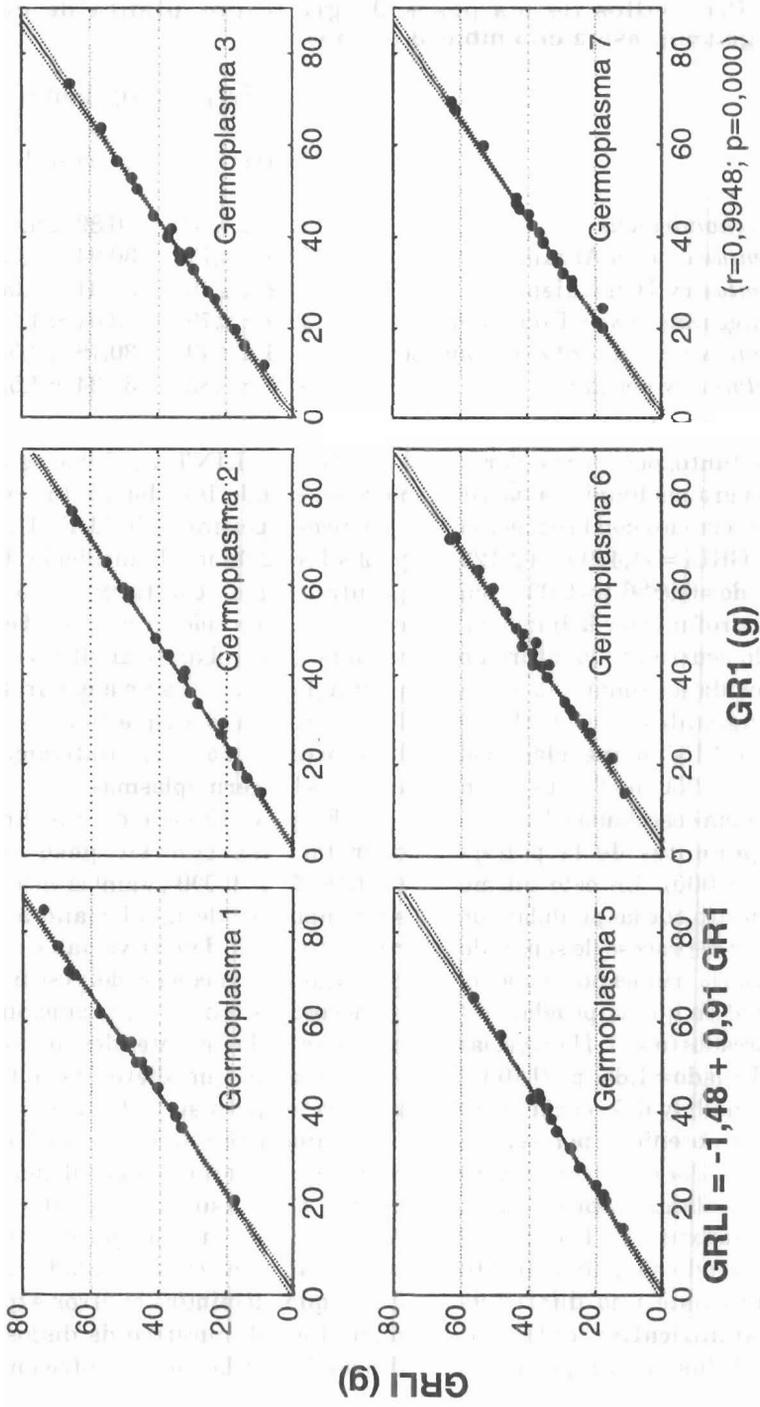
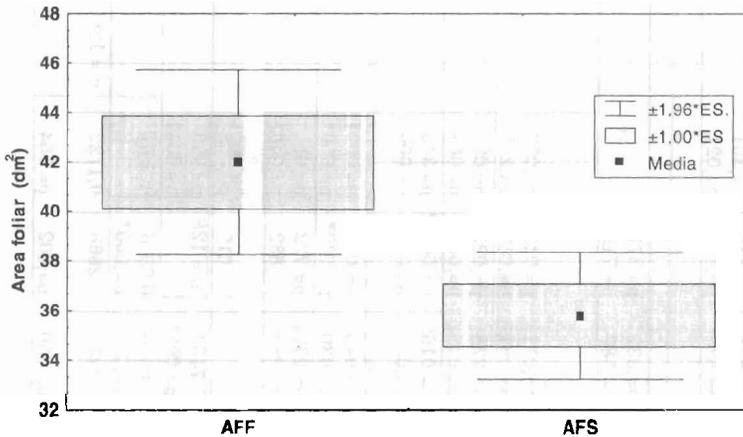


Figura 1. Correlación entre peso del grano cernido (GR1) y peso del grano aventado (GRLI).

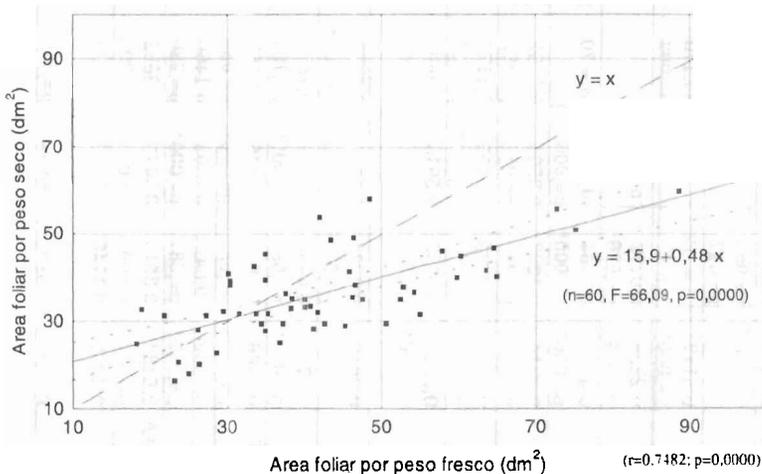


**Figura 2. Comparación de las áreas foliares calculadas a partir del peso fresco (AFF) y del peso seco (AFS)**

mediciones de área foliar es mayor para los germoplasmas 2, 3 y 6 (figura 3). Se prefiere la evaluación del área foliar en base al peso seco. En la medición del área foliar por el método gravimétrico se introduce un error que depende del germoplasma, debido a las diferencias de grosor y abundancia de las nervaduras; sin embargo, en una prueba preliminar se demostró que las estimaciones no difieren

significativamente de las mediciones realizadas con planímetro.

Al seleccionar el método más adecuado de medición de cada carácter y descartar el restante, se obtiene una matriz de 13 variables con 78 correlaciones (cuadro 2) de las cuales 46 son significativas con 95% de confianza. Usando estas variables (excepto PLANTA que proviene de la suma de otras y es por lo tanto una



**Figura 3. Estimación del área foliar: relación entre métodos.**

**Cuadro 2. Estructura de correlaciones.**

Variable	DIA	ALT	LIN	LTA	PSHOJ	PINF	EJE	PSTA	GRLI	AFPSE	GRANZA	PLANTA	P1000
DIA	n = 125	p=,053 p=,017		p=,410 p=,044	p=,036 p=,071	p=,312 p=,018	p=,390 p=,000*	p=,076 p=,013	p=,590 p=,265	p=,751 p=,573	p=,545 p=,274	p=,301 p=,021	
ALT	0,5177 p=,000*	n = 123		p=,170 p=,002				p=,151 p=,122					
LIN	0,2228 p=,064	0,0772 p=,526	n = 70			p=,487 p=,859	p=,207 p=,006		p=,512 p=,649	p=,332 p=,589	p=,371 p=,718		
LTA	0,4893 p=,000*	0,9564 p=,000*	-0,0143 p=,906	n = 70				p=,548 p=,703					
PSHOJ	0,5214 p=,000	0,1297 p=,285	0,2504 p=,037	0,1251 p=,302	n = 70	p=,085 p=,094	p=,031 p=,000*	p=,0006* p=,592	p=,030 p=,066	p=,011 p=,061	p=,041 p=,053	p=,056 p=,241	
PINF	0,4306 p=,000*	0,0885 p=,466	0,4695 p=,000*	0,1177 p=,332	0,7873 p=,000*	n = 70	p=,328 p=,000*	p=,011 p=,000*	p=,009 p=,000*	p=,228 p=,045	p=,022 p=,000*	p=,095 p=,063	
EJE	0,3259 p=,000*	0,0850 p=,350	0,5913 p=,000*	-0,0696 p=,567	0,7409 p=,000*	0,8825 p=,000*	n = 128	p=,160 p=,000*	p=,00016 p=,00102	p=,0162 p=,002	p=,0000* p=,000*	p=,345 p=,000*	
PSTA	0,7016 p=,000*	0,6234 p=,000*	0,1512 p=,212	0,6275 p=,000*	0,7244 p=,000*	0,6205 p=,000*	0,5081 p=,000*	n = 70	p=,017 p=,0014	p=,043 p=,030	p=,0016 p=,000*	p=,0021 p=,000*	
GRLI	0,3754 p=,000*	0,0493 p=,588	0,4289 p=,000*	0,1569 p=,194	0,7549 p=,000*	0,9837 p=,000*	0,6117 p=,000*	0,6187 p=,000*	n = 128	p=,272 p=,084	p=,722 p=,882	p=,051 p=,046	
AFPSE	0,5366 p=,000*	0,2850 p=,027	0,4945 p=,000*	0,2667 p=,039	0,8747 p=,000*	0,7423 p=,000*	0,7401 p=,000*	0,7666 p=,000*	0,7212 p=,000*	n = 60	p=,095 p=,015	p=,033 p=,008	
GRANZA	0,3252 p=,000*	-0,0494 p=,587	0,4808 p=,000*	0,1486 p=,220	0,7727 p=,000*	0,9648 p=,000*	0,7577 p=,000*	0,6445 p=,000*	0,8437 p=,000*	0,7463 p=,000*	n = 128	p=,013 p=,0011	
PLANTA	0,6184 p=,000*	0,3510 p=,003	0,3475 p=,003	0,3652 p=,002	0,8863 p=,000*	0,9072 p=,000*	0,7942 p=,000*	0,8846 p=,000*	0,8930 p=,000*	0,8510 p=,000*	0,9006 p=,000*	n = 70	
P1000	0,1050 p=,244	0,1146 p=,207	0,2983 p=,012	0,1123 p=,355	0,0971 p=,424	0,2225 p=,064	0,2030 p=,022	0,0960 p=,429	0,2664 p=,002	0,2279 p=,080	0,2668 p=,002	0,1722 p=,154	n = 128

combinación lineal que hace singular la matriz) se procedió a calcular las funciones canónicas que permitieran sintetizar gráficamente la dispersión de las observaciones de los seis germoplasmas (figura 4). Sólo las dos primeras variables canónicas aportan información para diferenciar los germoplasmas (es decir, presentan medias significativamente diferentes). En la primera variable canónica se destaca la ponderación inversa de la altura de la planta (ALT) y la longitud del tallo (LTA); mientras que en la segunda está influyendo directamente la longitud de la panoja (LIN) y el tamaño del grano (P1000). Así, el *A. mantegazzianus* (G5) centrado en valores negativos del primer eje se destaca porque sus plantas son más altas, con tallos más largos; mientras que el *A. cruentus* cv Don Armando (G2), con valores negativos de la segunda variable canónica, presenta panojas más cortas y semillas más livianas que cualquiera de los otros germoplasmas. Esto es, la capacidad

discriminante de estas dos funciones permite separar los germoplasmas 2 y 5 del resto. Cuando se realizaron los análisis univariados (5) se encontró que el germoplasma 5 difiere significativamente del resto en tres de las variables utilizadas, aunque no se detectó una diferencia para el germoplasma 2. Esto puede deberse a la diferente estructura de correlaciones (tomada en cuenta por el método multivariado) y por ello, se utilizó esta dispersión para orientar la formación de los grupos de germoplasmas y construir los modelos lineales.

Todas las variables de biomasa correlacionan entre sí, lo cual permitiría reducir la cantidad de mediciones. Por ejemplo, el peso de la granza, de los ejes y de los granos podrían obtenerse a partir del peso de la panoja; el peso de las hojas podría obtenerse a partir del peso del tallo. El área foliar correlaciona con todas las variables de biomasa y podría calcularse a partir del peso de las hojas, o del tallo. Las longitudes del tallo y

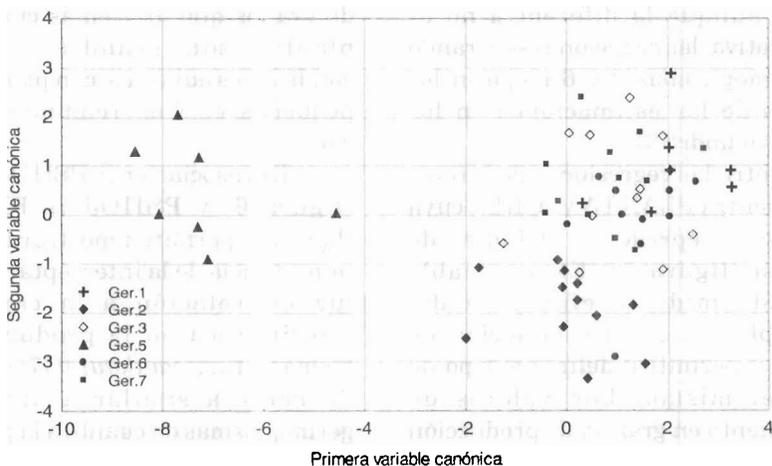


Figura 4. Dispersión de los germoplasmas en dos dimensiones.

de la panoja podrían calcularse a partir de sus respectivos pesos. La correlación significativa entre biomasa de la planta y rendimiento en granos, así como aquella entre rendimiento en granos y peso de la granza, fueron halladas en otros estudios (6).

Para poder estimar las variables es necesario conocer el modelo de respuesta y verificar si es posible usar un mismo modelo para todos los genotipos o si, de lo contrario, la respuesta depende de aquél. Las correlaciones calculadas por genotipo muestran que no todas aquellas que eran significativas para el conjunto, lo son para todos los germoplasmas; sólo 17 pares de variables se asocian en todos los genotipos (cuadro 3). Además, las funciones de la mayoría de estos pares dependen del germoplasma, lo cual permite formar grupos entre ellos de acuerdo a los modelos de respuesta.

En el caso de la estimación del peso total de la planta a partir del grano aventado (GRLI vs PLANTA), puede utilizarse la ecuación general válida para todos los germoplasmas. Sin embargo, aunque la diferencia no es significativa, las ecuaciones separando los germoplasmas 2 y 6 mejoran los errores de las estimaciones en los mismos (cuadro 3).

Entre las regresiones de interés se encuentra PLANTA vs GRLI, cuya pendiente representa el índice de cosecha (figura 5). Esta variable derivada mide la eficiencia del germoplasma en la producción de granos y permitirá definir el tipo de uso del mismo. Los valores de rendimiento en grano y de producción de biomasa pueden ser muy variables

entre plantas y entre germoplasmas; sin embargo, la razón entre ambos resulta un indicador relativamente constante para cada germoplasma en condiciones edafoclimáticas dadas. Aquellos germoplasmas cuyo IC es bajo, serán más aptos para hortaliza y forraje, mientras que los de IC alto se preferirán como graníferos. Una situación similar se presenta con el par de caracteres PINF y GRLI, cada uno de los cuales tiene un alto coeficiente de variación. La regresión de estas variables permite calcular la proporción de la materia seca de la panoja acumulada en el grano a partir de la pendiente, que es relativamente constante para cada germoplasma. La regresión muestra que si el criterio de elección del germoplasma fuera su rendimiento en grano, habría que considerar la proyección en cuanto al tamaño de las plantas, ya que la diferencia entre germoplasmas depende del peso de la planta. En nuestro caso, por ejemplo, el germoplasma 6, que tiene un índice de cosecha alto, tiene mayor producción de granos que los demás cuando las plantas son grandes, pero en condiciones adversas, con plantas más pequeñas, es el de rendimiento inferior.

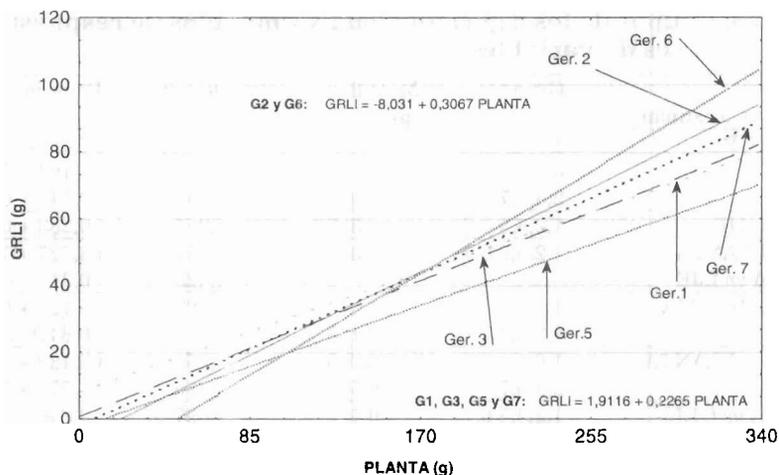
Las asociaciones PSHOJ vs AFS (figura 6) y PSHOJ vs PLANTA (figura 7) permiten mostrar la mayor importancia de la interceptación de la luz en relación a la capacidad fotosintética en la producción de biomasa. El *A. caudatus* (G7) responde de manera similar a otros tres germoplasmas en cuanto a la partición de fotosintatos a las hojas (inversa de

**Cuadro 3. Grupos de los 6 germoplasmas y modelos de respuesta entre pares de variables.**

Variables: a medir vs a estimar	Grupo	M de Box (p)	Paralelismo (p)	Ecuación
PINF vs GRLI	1	-	-	7,0887 + 0,4627 x
	6	-	-	-4,168 + 0,6059 x
	2,3,5,7	0,358	0,240	-0,747 + 0,5767 x
PINF vs EJE	1,2,3,5,6,7	0,328	0,281	-0,233 + 0,0912 x
EJE vs PLANTA	1,2,3,5,6,7	0,345	0,451	63,727 + 15,582 x
PLANTA vs EJE			0,223	-0,3427 + 0,4080 x
PINF vs GRANZA	1	-	0,429	-5,152 + 0,4248 x
	2,3,5,6,7	0,153		0,8479 + 0,3322 x
PSHOJ vs PLANTA	1,6	0,089	0,159	65,132 + 3,845 x
	2,3,5,7	0,541	0,195	21,553 + 5,6334 x
GRANZA vs GRLI	1,2,3,5,6,7	0,722	0,697	3,6369 + 1,3468 x
GRLI vs PLANTA	1,2,3,5,6,7	0,051	0,083	33,548 + 3,2228 x
	1,3,5,7	0,491	0,341	22,615 + 3,5892 x
	2,6	0,265	0,425	48,179 + 2,7204 x
PLANTA vs GRLI	1,3,5,7	0,049	0,388	1,9116 + 0,2265 x
	2,6	0,265	0,141	-8,031 + 0,3067 x
PSHOJ vs AFS	1,2,3,5,6	0,076	0,091	9,024 + 1,078 x
	7	-	-	6,768 + 1,248 x
PSTA vs PLANTA	1,3,7	0,725	0,393	-4,463 + 2,6813 x
	2,6	0,096	0,277	20,510 + 2,1953 x
	5	-	-	-0,6926 + 1,9826 x
ALT vs LTA	1,2,3,5,6,7	0,170	0,554	0,1321 + 0,0095 x
PLANTA vs AFS	1,2,3,5,6	0,327	0,163	6,154 + 0,187 x
	7	-	-	9,489 + 0,173 x
PINF vs AFS	1,2,3,5,6,7	0,228	0,153	13,681 + 0,322 x
PSTA vs AFS	1,2,3,5,6	0,146	0,274	10,890 + 0,386 x
	7	-	-	8,690 + 0,458 x
PINF vs PLANTA	1,2,3,5,6,7	0,095	0,162	31,245 + 1,8394 x
PLANTA vs PINF	1,2,3,6,7	0,276	0,078	-3,513 + 0,4778 x
	5	-	-	-1,174 + 0,3583 x
PINF vs PSHOJ	1,2,3,5,6,7	0,085	0,195	4,4827 + 0,2906 x
GRANZA vs PLANTA	1,2,5,7	0,137	0,228	22,418 + 5,9034 x
	3,6	0,331	0,966	52,980 + 4,1641 x
PLANTA vs GRANZA	1,2,5,7	0,137	0,212	-0,4201 + 0,1473 x
	3,6	0,331	0,250	-3,488 + 0,1856 x
PSTA vs PSHOJ	3,6,7	0,138	0,727	-2,398 + 0,4472 x
	2,5	0,780	0,494	9,3633 + 0,1900 x
	1	-	-	-11,48 + 0,6252 x

la pendiente de la regresión PSHOJ vs PLANTA); de hecho, el porcentaje de materia seca en las hojas es cercano al promedio para todos los germoplasmas (5). Además, tiene mayor área foliar específica (mayor

pendiente de la regresión PSHOJ vs AFS), a pesar de lo cual es el que tiene menor producción de materia seca en el vástago. Esto podría deberse a la menor área foliar y por lo tanto, menor intercepción de luz, ya que la duración



**Figura 5. Ajuste del peso del grano limpio (GRLI) en función del peso seco total (PLANTA).**

del área foliar parece no diferir entre germoplasmas (5).

Existen otros pares de variables para los cuales las correlaciones son significativas en 5 de los 6 germoplasmas. En la gran mayoría de los casos, es el híbrido *A. cruentus* x *A. caudatus* cv Don León, el que muestra menos correlaciones significativas entre los pares de variables estudiadas (cuadro 4).

Destaca la falta de correlación del peso de 1000 semillas con el resto de las variables dándole importancia como

descriptor, ya que aporta información independiente sobre las características del germoplasma no estimables a partir de ningún otro descriptor estudiado.

La estructura de correlaciones ayuda a seleccionar las variables más importantes a fin de describir el comportamiento agronómico de los germoplasmas; y a ahorrar recursos durante la fase de experimentación. Las funciones pueden ser utilizadas en estudios futuros para la construcción de modelos determinísticos.

**Cuadro 4. Grupos de los 5 germoplasmas y modelos de respuesta entre pares de variables.**

Variables: a medir vs a estimar	Grupo	M de Box (p)	Parale- lismo (p)	Ecuación
PINF vs PSTA	1,2,3,7	0,184	0,472	$14,426 + 0,6546 x$
	5	-	-	$13,371 + 1,2140 x$
PSTA vs PINF	1,2,3,7	0,184	0,691	$4,6833 + 1,0795 x$
	5	-	-	$10,582 + 0,1727 x$
GRLI vs PSTA	1,2,3,5,7	0,068	0,495	$23,481 + 1,0980 x$
GRLI vs AF	1,2,3,5,7	0,297	0,074	$12,873 + 0,6061 x$

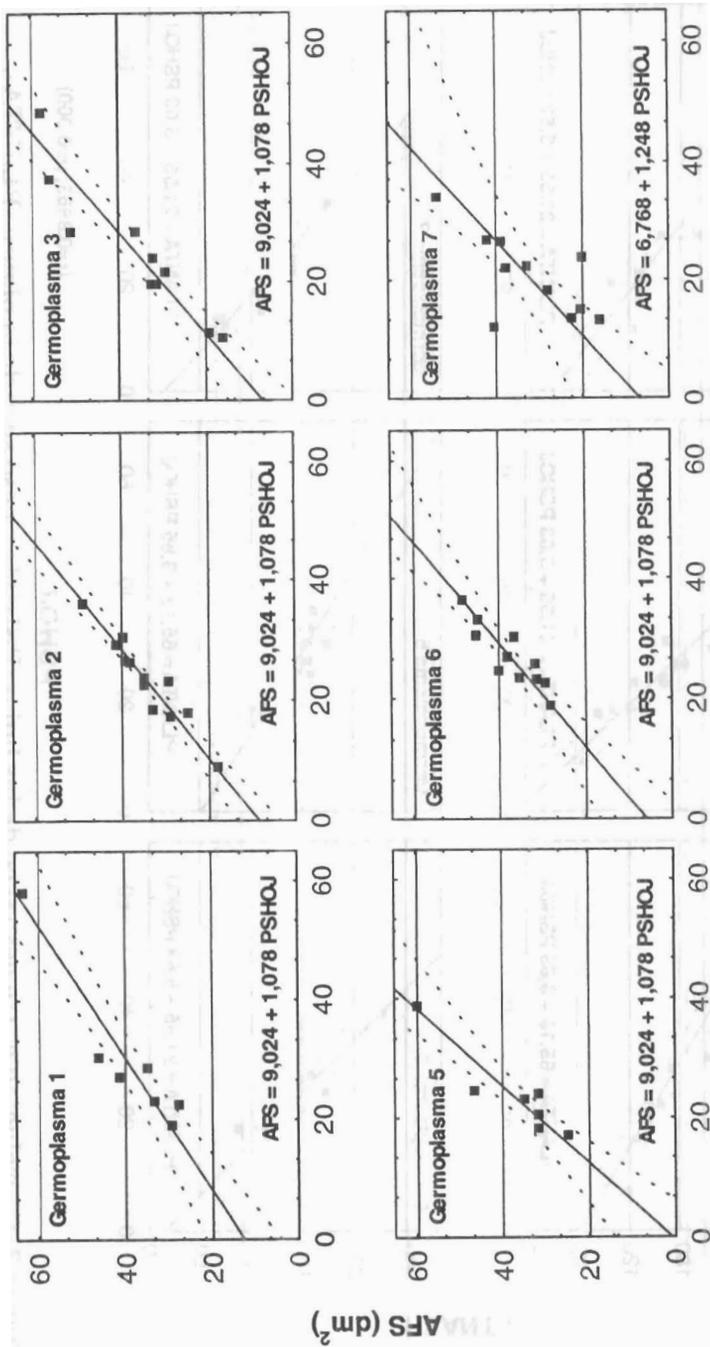


Figura 6. Correlación entre peso seco de las hojas (PSHOJ) y área foliar (AFS).

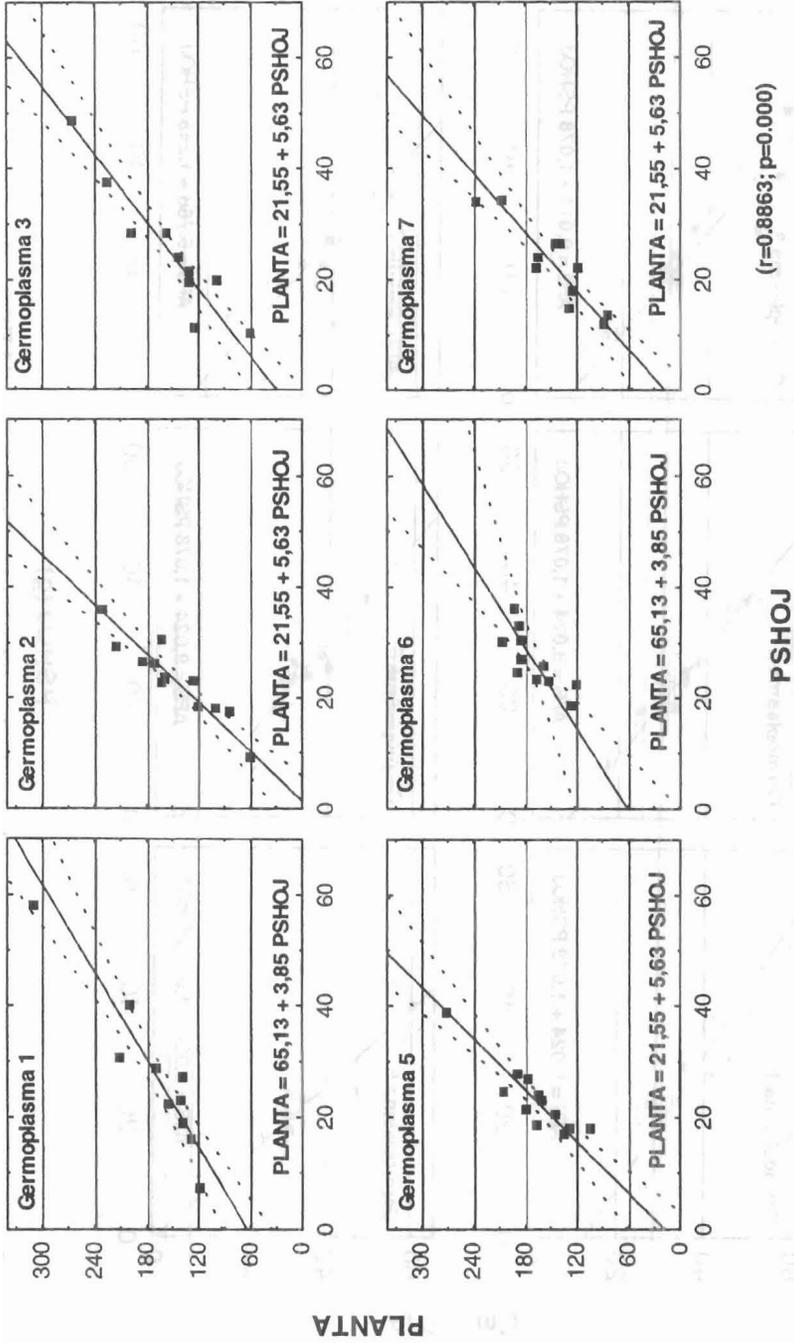


Figura 7. Correlación entre peso seco de las hojas (PSHOJ) y peso seco de la planta (PLANTA).

## Agradecimientos

Se agradece al personal de campo del Instituto Fitotécnico Santa Catalina, de la Universidad Nacional de La Plata, por la ejecución en las

labores; a la Ing. Agr. Cristina Noelting por hacerse cargo del manejo de los cultivos.

## Literatura citada

1. Anderson, T. W. 1984. An introduction to multivariate statistical analysis. John Wiley and Sons. N. Y. USA.
2. Bale, J.R. and C.S. Kauffman (Eds.) 1992. Special issue on grain amaranth: new potential for an old crop. Food Reviews International 8: 1-185.
3. Mariotti, J.A. 1986. Fundamentos de genética biométrica. Aplicaciones al mejoramiento genético vegetal. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D.C.
4. Matteucci, S. D. 1988. Fisiología vegetal y agronomía. Interciencia 13: 87-89.
5. Matteucci, S. D. 1998. Potencial productivo del amaranto en la pampa ondulada, Argentina: comportamiento de seis germoplasmas. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 15(6): 560-570
6. Sumar, L., J.Pacheco, A.I.Roca, G.Castelo, R.Aedo, Y.Callo and E. Valdeiglesias. 1992. Grain amaranth research in Peru. En: J.R. Bale y C.S. Kauffman (Eds.) Special issue on grain amaranth: new potential for an old crop. Food Reviews International 8: 87-124.