

Interacción genotipo x ambiente y análisis de estabilidad en genotipos de amaranto (*Amaranthus* spp.)

Interaction genotype x environment and analysis of stability in amaranth genotypes (*Amaranthus* spp.)

García-Pereyra J¹, CGS Valdés-Lozano², G Alexandre-Iturbide³, I Villanueva Fierro³, OG Alvarado Gómez⁴

Resumen. Se evaluaron cuatro genotipos de *Amaranthus hypochondriacus* (153-5-3, 653, 655 y Criollo Tlaxcala) y uno de *Amaranthus cruentus* (genotipo 33) bajo cinco densidades de población (DP) en tres ambientes del norte de México, durante los ciclos agrícolas primavera-verano (PV) 2000, PV 2001 y PV 2002. Las densidades de población fueron 125000; 62500; 41666; 32500 y 18666 plantas/ha. Los estudios se realizaron en la estación experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México o en la estación experimental del Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, Durango. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos repeticiones con arreglo factorial en parcelas divididas en espacio y tiempo. Se analizaron (1) la estabilidad de los genotipos expuestos a diferentes ambientes por el método de Eberhart y Russell (1966), y (2) la agrupación de los materiales por su rendimiento de grano (RG) y de forraje seco (FS) por el método de Francis y Kannenberg (1978). El estudio de la interacción G x A para las variables RG y FS indicó que la respuesta obtenida varió con el ambiente y densidad evaluados. Para RG, los genotipos 153-5-3 y 653, con 30,5 y 29,3 g/planta a una DP de 18666 plantas/ha, fueron superiores al resto de los genotipos. En FS, los genotipos *A. cruentus* 33 y 153-5-3 superaron a los demás genotipos con 150 y 98 g/planta, respectivamente, a una DP de 18666 plantas/ha en las dos localidades de estudio.

Palabras clave: Densidad de población (DP); Rendimiento de grano (RG); Rendimiento de forraje seco (FS).

Abstract. Five genotypes of amaranth were evaluated: four of *Amaranthus hypochondriacus* L. (collect 153-5-3, 653, 655 and Criollo Tlaxcala) and one of *A. cruentus* L. genotype 33. Studies were conducted in the cycle of spring-summer (PV) 2000 in Marín, N. L., and PV 2001 and PV 2002 in El Valle del Guadiana, Dgo. A completely randomized design with two repetitions was used, with factorial arrangement using split-plots, divided in space and time. The study population densities (DP) were 125000; 62500; 41666; 32500 and 18666 plants/ha. They analyzed (1) the stability of the genotypes exposed to different environments following Eberhart & Russell (1966), and (2) the grouping of the materials by their yield of grain (RG) and dry forage (FS) by the method of Francis & Kannenberg (1978). Study of interaction G x A indicated that the evaluated materials tended to behave differently in the various localities and evaluated population densities. For RG, genotypes 153-5-3 and 653 were superior to the rest of the genotypes with 30.5 and 29.3 g/plant to a DP of 18666 plants/ha. In yield of FS, genotypes *A. cruentus* 33 and 153-5-3 were superior to the other genotypes with 150 and 98 g/plant, respectively, to a DP of 18666 plants/ha at the two study sites.

Keywords: Density of population (DP); Grain yield (RG); Dry forage yield (FS).

¹ Profesor Investigador. Instituto Tecnológico del Valle de Guadiana, Durango. Apartado Postal 393. Durango, Dgo, México.

² Profesor Investigador. División de Estudios de Posgrado, Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., e-mail: cigsalloz@hotmail.com

³ Profesor Investigador. Instituto Politécnico Nacional CIIDIR-Unidad Durango, e-mail: ghiturbide@hotmail.com; ifierro62@yahoo.com

⁴ Profesor investigador de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, e-mail: omar-alvarado@prodigy.net.mx

Address Correspondence to: Jesús García Pereyra, e-mail: jpereyra5@hotmail.com

Recibido / Received 23.II.2011. Aceptado / Accepted 25.III.2011.

INTRODUCCIÓN

El amaranto es un potencial cultivo alternativo en el norte de México. Dicho cultivo tiene un alto valor nutricional como grano y forraje (García et al., 2009). Su rendimiento de grano y forraje depende de las condiciones ambientales y las localidades donde se siembre (Alejandre y Lorence, 1986). Para maximizar el rendimiento de grano se deben emplear espaciamentos de 10 a 50 cm entre plantas, y de 80 cm entre surcos (Kauffman y Weber, 1990). Siembras bajo densidades de población superiores a 125000 plantas/ha obtienen menores rendimientos de grano, pero mayor rendimiento de forraje seco, dependiendo de los tipos de genotipos usados (García et al., 2001). La utilización de altas densidades de siembra disminuye el rendimiento de grano por hectárea, pero se produce un menor acame por reducción del peso de la planta (Henderson et al., 2000). En condiciones de campo se pueden seleccionar genotipos sobresalientes para RG y FS, que se comporten bien en un amplio rango de ambientes. Sin embargo, se dificulta su identificación cuando existe interacción genotipo x ambiente (G x A), ya que ésta reduce el progreso en la selección y complica la identificación de genotipos superiores (Rea y Vieira, 2000). La cuantificación del valor promedio de un carácter resulta insuficiente para definir el comportamiento del material en estudio, por lo que se tienen que determinar otras variantes de estabilidad para distinguir diferencias genéticas ó ambientales entre genotipos (Basford y Cooper, 1998). García et al., (2001) utilizaron un análisis de varianza en dos ambientes para cinco genotipos de amaranto sembrados en el norte de México y encontraron interacción en G x A. Esto se debió principalmente a la diferencia de clima y suelo en los dos ambientes de estudio. Rea y Vieira (2000) usaron análisis de estabilidad en genotipos de caña de azúcar, cultivo de importancia comercial en México. Utilizaron el coeficiente de regresión (*b*), la desviación de la regresión (*s*²*d*) y el coeficiente de variabilidad (*cv*_i) para detectar genotipos estables. Francis y Kannenberg (1978), utilizando el rendimiento y el coeficiente de variación promedio de los genotipos en los diferentes ambientes, agruparon los materiales de la siguiente manera: Grupo A: Alto rendimiento, poca variación; Grupo B: Alto rendimiento, alta variación; Grupo C: Bajo rendimiento, poca variación, y Grupo D: Bajo rendimiento, alta variación. Un genotipo estable es aquel que tiene alto rendimiento y se comporta consistentemente en diferentes ambientes. De acuerdo a esta definición, sólo el grupo A se podría considerar como estable. Los objetivos de este trabajo fueron: (1) determinar la existencia o no de la interacción G x A x C (genotipos x ambientes x densidades) y su efecto en el rendimiento de grano y de forraje seco en cinco genotipos de amaranto sembrados en tres ambientes del norte de México, y (2) detectar genotipos estables usando análisis de estabilidad mediante la metodología propuesta por Eberhart y Russell (1966).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron cinco genotipos de amaranto, cuatro de la especie *A. hypochondriacus* 153-5-3, 655, 653 y Criollo Tlaxcala, y un genotipo de la especie *A. cruentus* 33. Los trabajos se condujeron en el ciclo de primavera-verano 2000 en el ambiente de Marín, N.L. (25° 56' N, 100° 3' E), a una altura de 375 msnm, y primavera-verano 2001 y 2002 en los ambientes del Valle del Guadiana, en Durango (24° 59' N, 104° 00' O) a 1899 msnm. El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar con dos repeticiones con arreglo factorial en parcelas divididas en espacio y tiempo; en la parcela grande se ubicaron los genotipos como factor A, y en la parcela pequeña las densidades de población como factor B, con niveles de 18666; 31250; 41666; 62500 y 125000 plantas/ha. Los tratamientos se ubicaron en unidades experimentales de cuatro metros de ancho por seis metros de largo con cuatro surcos espaciados 0,80 m entre ellos. Los trabajos agronómicos efectuados en las unidades experimentales fueron: barbecho, rastra, desterronado, surcado y bordeado, en los tres ambientes de prueba. La cosecha de grano y de forraje seco fue manual, y sólo en los surcos centrales de cada unidad experimental. Para evaluar el rendimiento de forraje seco las plantas seleccionadas se secaron en estufa a humedad constante durante 48 horas. En los tres ambientes de prueba se utilizó una dosis de 250 mL/ha de Metasystox® para el combate de las plagas, aplicándolo en la etapa de desarrollo vegetativo del cultivo. Las variables analizadas fueron: rendimiento de grano (RG) y rendimiento de forraje seco (FS) en kg/ha. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante el paquete de cómputo de Olivares (1996) a una *p*<0,05. Cuando se detectaron diferencias estadísticas significativas, se efectuó la comparación de medias mediante la prueba protegida de Fisher (Steel y Torrie, 1981). El análisis de estabilidad fenotípica de los cinco genotipos con respecto a RG y FS fue determinado usando el coeficiente de regresión, la desviación de la regresión (Eberhart y Russell, 1966), y el coeficiente de variabilidad (Francis y Kannenberg, 1978). Los genotipos de amaranto con coeficientes de regresión *b* mayores que 1 indican un mejor comportamiento a las condiciones favorables con respecto al rendimiento promedio del sitio. Los valores de *b* cercanos a cero sugieren que no existe ninguna variabilidad del fenotipo como respuesta al cambio ambiental. Los genotipos con valores mínimos de *cv*_i y *s*²*d* son considerados estables.

RESULTADOS

Rendimiento de grano en los ambientes de prueba. En la Tabla 1 se muestra el análisis de varianza. El genotipo con mayor rendimiento de grano fue *A. cruentus* 33 en PV 2000 (45,5 g/planta) a una densidad de población de 18666 plantas/ha (Tabla 2). En PV 2001, el genotipo 653 (27,7 g/planta)

Tabla 1. Valores de los cuadrados medios para rendimiento de grano (RG) y forraje seco (FS) en cinco genotipos de amaranto evaluados durante la primavera-verano (PV) 2000 en Marín N. L., y PV 2001 y 2002 en el Valle del Guadiana, Durango.

Table 1. Mean square values for grain yield (RG) and dry forage yield (FS) in five *Amaranthus* genotypes during spring-summer (PV) 2000 in Marín N.L., and PV 2001 and 2002 in the Valle del Guadiana, Durango.

Fuente de variación	GL	RG	FS
Bloques	1	0,007813 NS	12,375000 NS
Genotipos (A)	4	312,236328 *	10637,2500 *
Error (a)	4	5,562500	27,218750
Densidad de población (B)	4	53,472656 *	3332,2500 *
A x B	16	77,042969 *	3092,07031 *
Error (b)	20	3,160156	14,043750
Años (C)	2	8944,550781*	15462,2500 *
Error (c)	2	4,808281	12,202500
A x C	8	179,182617 *	15787,20312 *
Error (d)	8	5,661406	27,277500
B x C	8	682,972656 *	1858,5000 *
A x B x C	32	53,373047 *	2936,132813 *
Error (e)	40	3,000937	14,018750
Total	149		

NS No significativo ($p>0,05$). *Significativo a ($p<0,05$).

NS Not significant ($p>0.05$). *Significant at ($p<0.05$).

fue el de mayor rendimiento de grano a una DP de 125000 plantas/ha. En PV 2002, a una DP de 18666 plantas/ha, el genotipo 653 fue el de mayor rendimiento de grano con 49 g/planta.

Comparación de medias para FS. El genotipo 655 fue el de mayor rendimiento de forraje seco (199 g/planta) en PV 2000 en Marín, N.L., a una densidad de población de 41666 plantas/ha (Tabla 3). En PV 2001, Valle del Guadiana, Dgo., el genotipo 153-5-3 con 120 g/planta fue el de mayor rendimiento a una densidad de población de 62500 plantas/ha. En PV 2002, Valle del Guadiana, Dgo., el genotipo *A. cruentus* 33 fue el de mayor rendimiento de forraje seco con 315 g/planta a una densidad de población de 18666 plantas/ha.

Análisis de Estabilidad. En la Tabla 4 se aprecia la clasificación de los genotipos de amaranto evaluados, considerando primeramente los criterios utilizados por Eberhart y Russell (1966) en donde se emplearon el comportamiento promedio del genotipo a través de ambientes, su coeficiente de regresión y la desviación de la regresión.

Adaptación general. Los genotipos con coeficiente de regresión b alrededor de la unidad y cercanos al rendimiento promedio a través de ambientes, podrían ser agrupados bajo esta categoría. Para RG se agruparon los genotipos 153-5-3 y Criollo Tlaxcala, y para FS se agruparon los genotipos 153-5-3 y *A. cruentus* 33.

Adaptación específica a ambientes de altos rendimientos. Para RG los cinco genotipos 153-5-3, 653, 655, Criollo Tlaxcala y *A. cruentus* 33 se incluyen en esta categoría teniendo coeficientes de regresión mayores que la unidad y alto rendimiento de grano. En FS 655, Criollo Tlaxcala y *A. cruentus* 33 pueden considerarse dentro de este grupo.

Adaptación específica a ambientes de bajos rendimientos. Aquí se ubican genotipos con altos rendimientos pero con coeficientes de regresión por debajo de la unidad. En este grupo se ubican los cinco genotipos en estudio para RG. Para FS se agrupan los genotipos 153-5-3 y 653.

Adaptación pobre en todos los ambientes. Todos aquellos genotipos con un coeficiente de regresión menor a uno, con desviaciones de regresión lejanas a cero, y bajos rendimientos se ubican en esta categoría. Para RG ningún genotipo tuvo adaptación en este grupo; para FS los genotipos 153-5-3 y 653 se ubican en este grupo.

Agrupación de los genotipos por su rendimiento de grano y forraje seco. Para RG, el genotipo *A. cruentus* 33 se agrupó en B; los genotipos 153-5-3 y 653 se agruparon en C, y los genotipos 655 y Criollo Tlaxcala se agruparon en D (Fig. 1). Para FS, los genotipos *A. cruentus* 33 y 153-5-3 se ubicaron en el grupo A, considerándose estables (Fig. 2).

Regresión y correlación. El mayor rendimiento de grano de amaranto para el ciclo PV 2000 en Marín, N. L., se obtuvo a una densidad de población de 18666 plantas/ha para todos los genotipos en estudio (Fig. 3); sin embargo, el genotipo *A. cruentus* 33 fue el de mayor RG, superando a los demás genotipos en estudio a una correlación de 0,74. El genotipo de menor RG en este mismo ciclo de siembra fue el 655, a una DP de 125000 plantas/ha. En PV 2001 en el Valle del Guadiana, Durango, 653, 153-5-3, Criollo Tlaxcala y *A. cruentus* 33 tuvieron un comportamiento similar en RG siendo su mayor rendimiento a 18666 plantas/ha. Sin embargo, para este ciclo el genotipo 655 tuvo su mejor expresión en RG en 125000 plantas/ha (Fig. 4). Para el ciclo de siembra de PV 2002 en el Valle del Guadiana, Dgo., todos los genotipos en estudio tuvieron una tendencia a presentar mayor rendimiento de grano por planta a medida que disminuyó la densidad de población de 125000 a 18666 plantas/ha. En este ciclo el genotipo de mayor rendimiento de grano por planta fue el 153-5-3 a una DP de 18666 plantas/ha, superando a todos los demás genotipos y presentando un coeficiente de correlación de 0,93 (Fig. 5).

Tabla 2. Comparación de medias para RG (g/planta) en cinco genotipos de amaranto evaluados a diferentes densidades de población (plantas/ha) durante PV 2000, PV 2001 y PV 2002.

Table 2. Mean values of RG (g/plant) in five *Amaranthus* genotypes at various population densities (plants/ha) during PV 2000, PV 2001 and PV 2002.

Año	Genotipos	Densidad de población Plantas/ha				
		125000	62500	41666	31250	18666
2000	153-5-3	13,5 m	16,5 l	18,5 j	22,5 j	24,5 j
	653	14,5 l	17,3 l	20,0 k	24,9 j	27,7 i
	655	10,0 m	13,2 m	15,3 l	19,1 k	21,1 j
	Criollo Tlaxcala	14,7 l k	15,9 l k	17,5 k	19,7 k	21,2 j
	<i>A. cruentus</i> 33	34,4 h	38,0 g	41,3 f	45,6 d	45,5 d
2001	153-5-3	29,5 i	35,0 h	42,7 e	47,0 d	53,5 b
	653	55,5 b	48,7 c	43,4 e	38,9 f	33,1 h
	655	36,2 g	43,4 e	50,9 c	55,0 b	60,2 a
	Criollo Tlaxcala	22,2 j	27,9 i	33,3 h	38,0 g	42,6 e
	<i>A. cruentus</i> 33	2,8 n	6,5 n	8,9 n	15,1 l	18,7 k
2002	153-5-3	10,5 m	22,0 j	34,0 h	34,5 h	43,5 e
	653	12,0 m	14,0 l	21,0 j	21,0 j	49,0 c
	655	11,5 m	16,0 l	12,3 m	11,5 m	35,0 h
	Criollo Tlaxcala	11,0 m	14,5 l	18,0 k	18,5 k	21,0 j
	<i>A. cruentus</i> 33	12,0 m	22,0 j	21,5 j	23,0 j	38,5 f
DMS	2,91					

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Different letters within the same column indicate significant differences at $p < 0,05$.
DMS: Diferencia mínima significativa, DMS: Least significant difference.

Tabla 3. Comparación de medias para FS (g/planta) en cinco genotipos de amaranto evaluados a diferentes densidades de población durante PV 2000, PV 2001 y PV 2002.

Table 3. Mean FS values (g/plant) in five *Amaranthus* genotypes at various population densities (plants/ha) during PV 2000, PV 2001 and PV 2002.

Año	Genotipos	Densidad de población Plantas/ha				
		125000	62500	41666	31250	18666
2000	153-5-3	96 m	108 l	189 e	147 g	123 i
	653	132 h	87 n	81.5 n	79.5 m	67.0 n
	655	128 i	105 l	199 d	143 g	140 g
	Criollo Tlaxcala	80 n	123 i	144 g	140 g	137 h
	<i>A. cruentus</i> 33	93 m	133 h	146 g	187 e	170 f
2001	153-5-3	80 n	120 i	115 j	75 n	65 n
	653	115 j	40 q	120 i	80 n	75 m
	655	75 n	75 n	85 m	65 o	60 o
	Criollo Tlaxcala	95 m	55 p	85 n	40 q	35 r
	<i>A. cruentus</i> 33	85 m	100 l	90 m	100 l	90 l
2002	153-5-3	98 l	29 s	120 i	67 o	54 p
	653	98 l	48 q	81 n	97 l	57 p
	655	97 l	102 l	82 n	96 l	67 n
	Criollo Tlaxcala	75 m	116 j	109 k	69 n	45 q
	<i>A. cruentus</i> 33	67 n	146 g	237 c	303 b	315 a
DMS	6,30					

Dentro de cada columna, letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Different letters within the same column indicate significant differences at $p < 0,05$.
DMS: Diferencia mínima significativa, DMS: Least significant difference.

Tabla 4. Medias y parámetros de estabilidad para RG y FS en cinco genotipos de amaranto evaluados en PV 2000 en Marín, N. L., y PV 2001 y 2002 en el Valle del Guadiana, Durango.

Table 4. Means and stability parameters for RG and FS in five *Amaranthus* genotypes during spring-summer (PV) 2001 in Marín, N.L., and PV 2001 and 2002 in the Valle del Guadiana, Durango.

Genotipo	RG				FS			
	Media	<i>b</i>	<i>s</i> ² <i>d</i>	<i>cv</i> _i	Media	<i>b</i>	<i>s</i> ² <i>d</i>	<i>cv</i> _i
153-5-3	30,3	1,2522	33,9562	26,45	111,7	0,8252	82,40	20,98
653	32,4	1,6892	2,58212	25,58	88,6	0,0455	19,60	23,56
655	25,5	2,5419	1,98296	28,89	107,2	1,5097	8,53	21,50
Criollo Tlaxcala	23,2	1,2237	6,3457	30,20	93,9	1,3286	14,4	22,80
<i>A. cruentus</i> 33	24,6	1,7071	143,54	29,36	119,0	1,2907	520,0	20,30
Media general	33,26				104,8			
DMS (0,05)	3,03				4,62			

b: coeficiente de regresión; *s*²*d*: desviación de la regresión; *cv*_i: coeficiente de variabilidad. DMS: Diferencia mínima significativa
b: regression coefficient; *s*²*d*: regression deviation; *cv*_i: variation coefficient. DMS: Least significant difference.

Fig. 1. Media y coeficiente de variación para RG en genotipos de amaranto.

Fig. 1. Mean and variation coefficients for RG in *Amaranthus* genotypes.

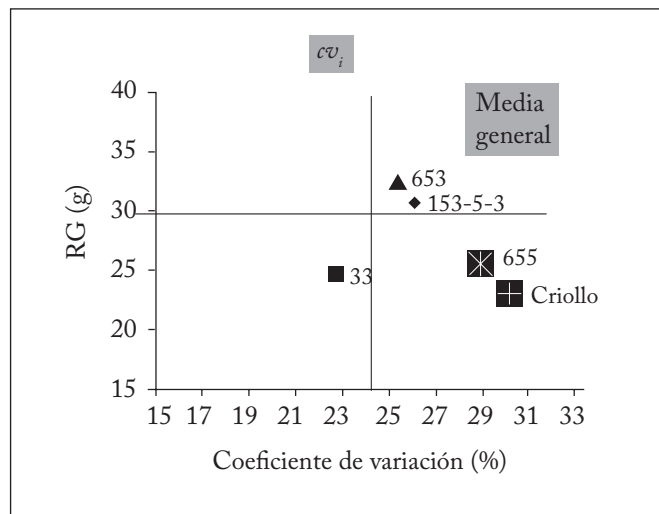


Fig. 2. Media y coeficiente de variación para FG en genotipos de amaranto.

Fig. 2. Mean and variation coefficients for FS in *Amaranthus* genotypes.

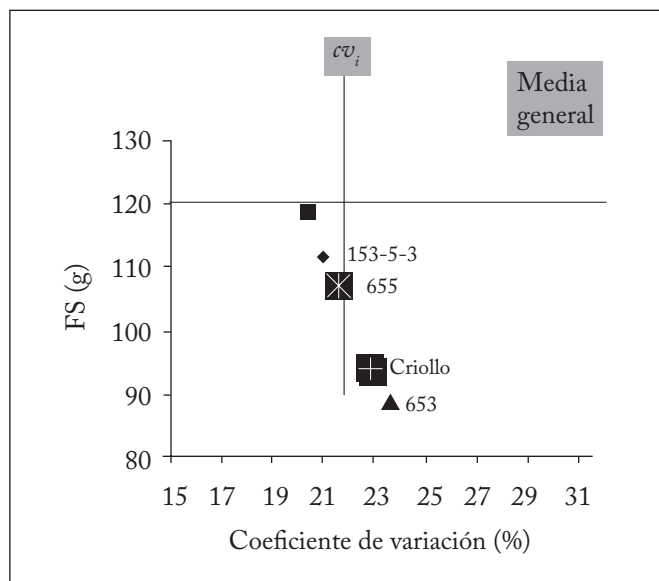


Fig. 3. Tendencias para RG en cinco genotipos de amaranto sembrados a diferentes densidades de población ciclo de siembra de PV 2000.

Fig. 3. Trends for RG in five *Amaranthus* genotypes sown at various population densities during spring-summer (PV) 2000.

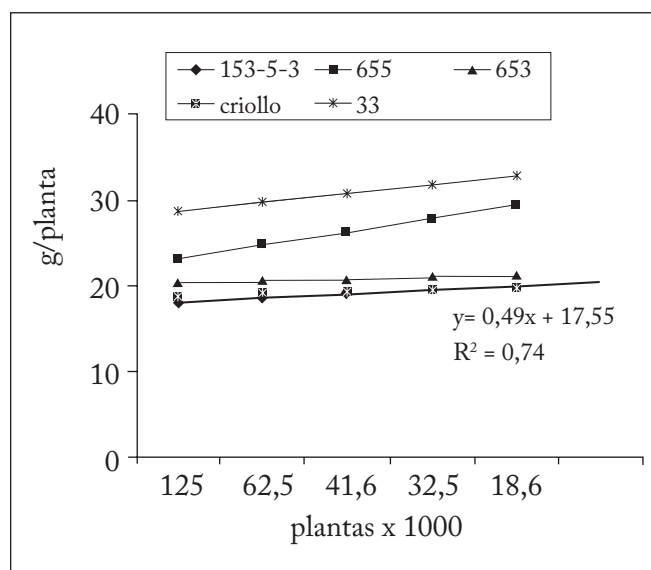


Fig. 4. Tendencias para RG en cinco genotipos de amaranto sembrados a diferentes densidades de población ciclo de siembra de PV 2001.

Fig. 4. Trends for RG in five *Amaranthus* genotypes sown at various population densities during PV 2001.

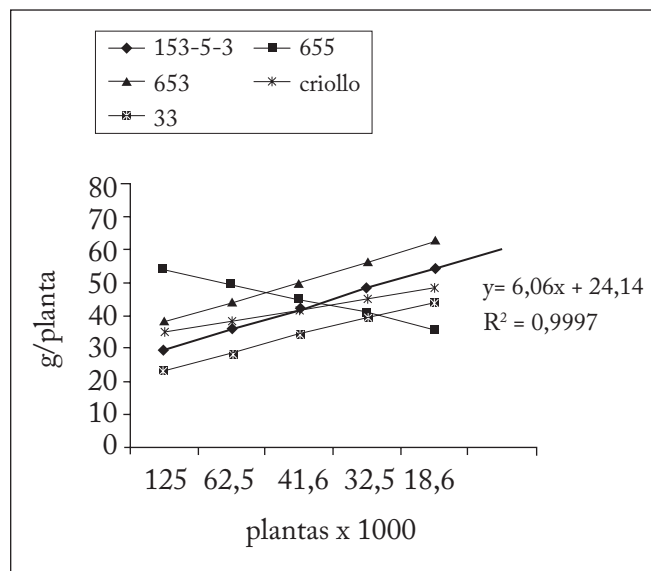
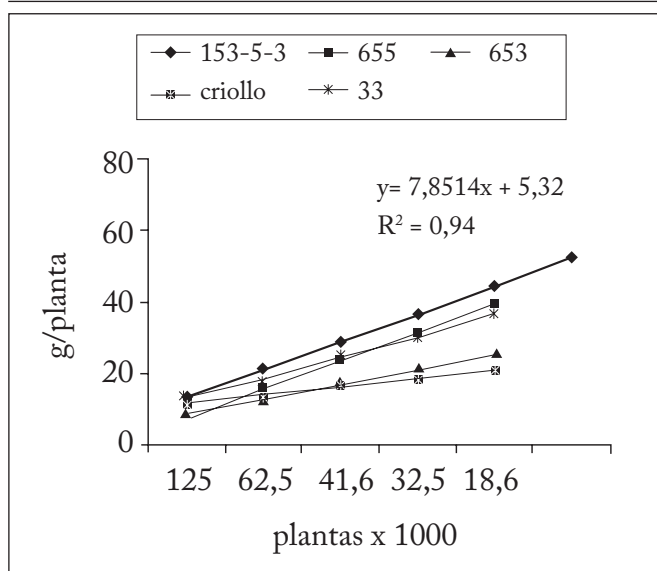


Fig. 5. Tendencias para RG en cinco genotipos de amaranto sembrados a diferentes densidades de población en el ciclo de siembra de PV 2002.

Fig. 5. Trends for RG in five *Amaranthus* genotypes sown at various population densities during PV 2002.



DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en cuanto a RG coinciden con los reportados por Espitia (1986), en su evaluación de 15 genotipos de amaranto. En su estudio, los mayores rendimientos de grano por planta fueron para los genotipos de *A. cruentus* en altitudes menores a 1000 msnm, tal y como ocurrió con el genotipo *A. cruentus* 33 en la localidad de Marín, N.L. Mapes (1986) indicó que los *A. hypochondriacus* tienen su mejor expresión para RG en altitudes mayores a los 1500 msnm; esto se observó con el genotipo 653 de *A. hypochondriacus* en la localidad del Valle del Guadiana, Dgo. Cruz et al. (2000) reportaron rendimientos de grano de 5 a 20 gramos por planta a una densidad de población de 125000 plantas/ha, en una evaluación realizada en 12 genotipos de amaranto en la Universidad Autónoma del Estado de México. En el presente trabajo se obtuvieron rendimientos promedio de grano de 10 a 55 g/planta a la misma densidad de población. Torres et al. (2006) encontraron rendimientos de grano de 4000 kg/ha en genotipos de *A. hypochondriacus*, y de 1200 kg/ha para *A. cruentus* a DP de 375000 plantas/ha en siembras realizadas en Tulyehualco D.F. Díaz et al. (2004) obtuvieron rendimientos de grano de 1300 a 2100 kg/ha en genotipos de *A. hypochondriacus* a densidades de población de 18600 plantas/ha, similares a los reportados en nuestro estudio. Kishore et al. (2007) indicaron una interacción

genotipo x ambiente para RG y FS en la evaluación de ocho genotipos de amaranto estudiados en ocho ambientes diferentes; estos autores demostraron que ningún genotipo se mantuvo estable, y el coeficiente de regresión lineal para el rendimiento estuvo por encima del promedio ($b > 1$). Waghmode et al. (1998) encontraron diferencias significativas para la interacción G x A en el rendimiento de grano de amaranto de *A. hypochondriacus* con una buena estabilidad y adaptación.

Kaul et al. (1996) encontraron coeficientes de correlación (R^2) de 0,30 en el rendimiento de grano para genotipos de *A. hypochondriacus*, y un rendimiento de 28 g/m² en genotipos evaluados en Polonia. Tui y Satyesh (2009) encontraron coeficientes de correlación de 0,56 para rendimiento de grano en seis genotipos de *A. hypochondriacus* y seis de *A. cruentus*, utilizando dendogramas. Figueroa y Romero (2008) encontraron coeficientes de correlación de 0,99 en rendimiento de grano (evaluado por metro cuadrado) en genotipos de *A. hypochondriacus* en experimentos realizados en Guaranda, Ecuador. Para el presente trabajo se obtuvieron coeficientes de correlación de (1) 0,74 para el genotipo de *A. cruentus* con un rendimiento de grano de 182 g/m² en el ambiente de PV 2000, y (2) 0,99 y 0,94 para los genotipos de *A. hypochondriacus* con un rendimiento de grano de 240 y 196 g/m² en los ambientes de PV 2001 y PV 2002, respectivamente.

CONCLUSIÓN

Los genotipos tuvieron comportamientos similares en RG en los tres ambientes de estudio, con la excepción del genotipo 655 de *A. hypochondriacus* que tuvo su mayor expresión en el ambiente de PV 2001, bajo una densidad de población de 125000 plantas/ha. En PV 2000 y PV 2002 el mayor RG se obtuvo con 18666 plantas/ha. Considerando la estabilidad y adaptación a diferentes ambientes, los genotipos que presentaron buena adaptación en los tres ambientes de estudio para RG fueron 153-5-3 y Criollo Tlaxcala, y para FS el 153-5-3 y *A. cruentus* 33. En el caso específico de PV 2001 y PV 2002 para FS, el genotipo 33 de *A. cruentus* fue el de mayor rendimiento en forraje. Todos los genotipos en estudio presentaron su mayor rendimiento de grano por planta sembrados a densidades de población de 18666 plantas/ha.

AGRADECIMIENTOS

G. Alejandro Iturbide agradece a la COFAA-IPN por la beca de exclusividad y a la EDI-Secretaría Académica del IPN por los apoyos económicos otorgados, y al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Durango (COCYTED) por los apoyos recibidos para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Alejandre, I.G. y F.G. Lorence (1986). Cultivo del amaranto en México. Colección Cuadernos Universitarios serie Agronomía No. 12. Universidad Autónoma Chapingo. México. 245 p.
- Basford, K.E. y M. Cooper (1998). Genotype x environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 153-74.
- Campbell, L.G. y J.J. Kern (1982). Cultivars x environment interactions in sugar beet yield trials. *Crop Science* 22: 932-935.
- Cruz, C.F., S.V. Guadarrama y J.C. Amparan (2000). Evaluación del rendimiento de grano de amaranto y sus componentes en 12 genotipos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Revista Ciencias Agrícolas Informa* 2: 37-40.
- Díaz, O.A., E.J.A. Escalante, S.A. Trinidad, G.P. Sánchez, S.C. Mapes y M.D. Martínez (2004). Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra* 22: 109-116.
- Eberhart, S.A. y W.A. Russell (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36-40.
- Espitia, R.E. (1986). Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de amaranto (*Amaranthus* spp.). Tesis UAAAN. 27 p.
- Francis, T.R. y L.W. Kannenberg (1978). Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 1029-1034.
- Figuerola, P.J.P. y V.A.E. Romero (2008). Evaluación agronómica de catorce accesiones de amaranto (*Amaranthus* spp.) en el Cantón Columa, Provincia Bolívar. Tesis. Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos naturales y del Ambiente, Escuela de Tecnología e Ingeniería Agronómica. 66 p.
- Finley, K.W. y G.N. Wilkinson (1963). The analysis of adaptation in plant breeding program. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 742-754.
- García Pereyra, J., L.C.G.S. Valdés, E.O. Sáenz, H.B. Barragán y H.M. Roldan (2001). Ccomportamiento agronómico de cinco genotipos de amaranto en dos localidades contrastantes del norte de México. Memoria de seminarios de primavera. FAUANL.
- García Pereyra, J., C.G.S.V. Lozano, E.O. Sáenz, O.A. Gómez, G.A. Iturbide, E.S. Sosa y H.M. Roldan (2009). Rendimiento de grano y calidad del forraje de amaranto (*Amaranthus* spp.) cultivado a diferentes densidades en el noreste de México. *Phyton, International Journal of Experimental Botany* 78: 53-60.
- Henderson, T.L., B.L. Johnson y A.A. Schneiter (2000). Row spacing, plant population, and cultivar effects on grain amaranth in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 92: 329-336.
- Kauffman, C.S. y L.E. Weber (1990). Grain amaranth. pp. 127-139. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *Advances in new crops*. Timber Press, Portland, OR.
- Kaul, H.E., B.W. Aufhammer, E. Nalborczyk, S. Pirog y K. Wasiak (1996). The suitability of amaranth genotypes for grain and fodder use in Central Europe. *Die Bodenkultur* 47: 173-181.
- Kishore, N., R. K. Dogra, S.R. Thakur y R.K. Chahota (2007). Stability analysis for seed yield and component traits in amaranthus (*Amaranthus hypochondriacus* L.) in the high altitude dry temperate regions. *The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. Volume: 67, Issue: 2.
- Mapes, C. (1986). Una revisión sobre la utilización del género *Amaranthus* en México. En: Primer Seminario Nacional del *Amaranto*. El Amaranto *Amaranthus* spp. (Alegría), su Cultivo y Apr-ovechamiento. A Trinidad S, F Gómez L, G Suárez R (comps). México. 577 p.
- Olivares, S.E (1996). Paquete de Diseños Experimentales Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, versión 2.5.
- Rea, R. y O.S. Vieira (2000). Interacción genotipo x ambiente y análisis de estabilidad en ensayos regionales de caña de azúcar en Venezuela. *Caña de Azúcar* 19: 3-15.
- Steel, R.G.D. y J.H. Torrie (1980). Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. McGraw Hill Co., 625p.
- Torres, S.G., S.A. Trinidad, T.R. Trujillo, H.C. Juárez, A.E. Estrada y F.L. González (2006). Respuesta de genotipos de amaranto a densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 307-312.
- Tui, R. y C.R. Satyesh (2009). Genetic Diversity of *Amaranthus* Species from the Indo-Gangetic Plains Revealed by RAPD Analysis Leading to the Development of Ecotype-Specific SCAR Marker. *Journal of Heredity* 100: 338-347.
- Waghmode, B.D., S.V. Pawar y S.C. Patil (1998). Adaptability under predictable environments in grain amaranthus [*Amaranthus hypochondriacus* (L.)]. *Gujarat Agricultural University Research Journal* 24: 23-29.
- Wescott, B. (1986). Some methods of analyzing genotype-environment interaction. *Heredity* 56: 243-253.