

NOTA TÉCNICA

RESPUESTA DEL AMARANTO A DOS DISTANCIAS DE SIEMBRA Y A DENSIDADES DE POBLACIÓN¹

AMARANTH'S RESPONSE TO TWO PLANTING DISTANCES AND POPULATION DENSITY¹

Rodolfo Repollo*, Rosa de Troiani*, Elke Nollemeyer*, Teresa Sánchez* y Nilda Reinaudi*

¹Proyecto financiado por la Comunidad Económica Europea.

*Profesores. Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam). Facultad de Agronomía. Proyecto Amaranth:Future-Food. Argentina. E-mail: rodolforepollo@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de tres genotipos de amaranto, *Amaranthus* sp.; con la finalidad de utilizarlos en cosecha mecánica. Estos fueron sembrados en la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional La Pampa en surcos separados a 0,25 y 0,50 m y densidades de 100×10^3 , 200×10^3 y 400×10^3 plantas ha^{-1} . Se midió la altura de las plantas y la radiación fotosintéticamente activa a los 30 días después de la siembra (DDS) en la antesis y madurez fisiológica, así como, el índice de cosecha (IC) y rendimiento de semilla. Estadísticamente el diseño fue de bloques al azar con 4 réplicas x 3 genotipos x 3 densidades x 2 distancias. No hubo diferencias significativas ($P=0,01$) en el IC y rendimiento en grano ($kg\ ha^{-1}$) en los tres genotipos, entre distancias en surcos y densidades. La intercepción solar (IS) a los 30 DDS (51,2%) solo difirió significativamente ($P=0,01$) en *A. cruentus* var. Don Guiem, para la distancia de 0,25 m y $100\ 000$ plantas ha^{-1} . Las plantas en la madurez no presentaron diferencias para los distintos tratamientos. Las densidades a campo oscilaron entre $50-90 \times 10^3$, $90-150 \times 10^3$ y $150-270 \times 10^3$ plantas ha^{-1} , explicando la falta de significancia entre tratamientos.

Palabras Clave: *Amaranthus* sp.; densidad de población; distancia entre surcos; rendimiento de semilla;

SUMMARY

Field studies were conducted to evaluate the behavior of amaranths, *Amaranthus* sp.; with the purpose of being able to use them in the mechanical crop. Three amaranths were sowed in the Facultad de Agronomía, Universidad Nacional La Pampa in furrows separated to 0,25 and 0,50 m and densities of 100×10^3 ; 200×10^3 and 400×10^3 plants ha^{-1} . The height of plants, photosynthetically active radiation (30 days of the sowing, anthesis and physiological maturity), harvest index of crop and seed yield were measured. Experimental design was totally randomized blocks: 4 replications x 3 genotypes x 3 densities x 2 distances. There were no significant differences ($P=0,01$) in the harvest index of crop and grain yield (expressed in $kg\ ha^{-1}$), in the 3 genotypes between distances in furrows and densities. The solar interception at 30 days of the sowing (51,2%), only differed significantly ($P=0,01$) in *A. cruentus* var. Don Guiem for the distance of 0,25 m and $100\ 000$ plants ha^{-1} . At maturity there were not significant different treatments. The densities in the field ranged between $50-90 \times 10^3$, $90-150 \times 10^3$ and $150-270 \times 10^3$ plants ha^{-1} which would explain the lack of significance between treatments.

Key Words: *Amaranthus* sp.; distance between furrows; grain yield; population density.

INTRODUCCIÓN

El amaranto, *Amaranthus* sp., es un cultivo ancestral, que constituyó el alimento básico de los incas, mayas, aztecas y otros grupos precolombinos de toda América (Sauers, 1950). Su excepcional adaptabilidad, conjuntamente con la cantidad y calidad de proteínas, produce en la actualidad una especial atención como opción para la pequeña escala (Downton, 1973; Vietmeyer, 1982).

Por sus características, este cultivo se presenta como una alternativa potencial para una superficie de aproximadamente 5 000 000 ha, ubicadas en la región semiárida de Argentina, al norte de la Patagonia, con precipitaciones comprendidas entre 400 y 800 mm anuales (Covas, 1984).

Bansal *et al.* (1955), Henderson *et al.* (2000) y Torres Saldaña *et al.* (2006) encontraron que altas densidades permitieron incrementar la producción de semilla, por su parte, el cultivo presentó menor acame, debido posiblemente a una reducción del peso total de la planta. Así mismo, Peiretti y Gesumaria (1991), observaron una disminución significativa en la obtención individual de semilla de *Amaranthus cruentus* L. con el aumento de la densidad entre 100 000 y 400 000 plantas ha⁻¹, aún cuando simultáneamente se produjo un incremento en el rendimiento por unidad de superficie.

En la Facultad de Agronomía, UNLPam, Argentina, 18 genotipos de *Amaranthus* provenientes de República Checa, México y Argentina se cultivaron en el ciclo 2006-2007 y 16 para los años 2007-2008, con la finalidad de estudiar las características agronómicas relacionadas con la producción del grano (Troiani *et al.*, 2009; Repollo *et al.*, 2009).

El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de tres genotipos de amaranto, sembrados manualmente en hileras separadas a 0,25 y 0,50 m y a densidades de 100 x 10³, 200 x 10³ y 400 x 10³ plantas ha⁻¹ con la perspectiva de tomar decisiones para una cosecha mecánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los genotipos *Amaranthus cruentus* var. Don Guiem (GEN 6), *Amaranthus hypochondriacus* var. Tarasca (GEN 9) y *Amaranthus hypochondriacus* FK 280-FH1 (GEN 12), se sembraron los primeros días de diciembre en el campo de la Facultad de Agronomía UNLPam (S: 36° 32', 726', W: 64° 18', 721'; 220 m.s.n.m), fueron

elegidos por demostrar las mejores características agronómicas relacionadas con la producción del grano en la región semiárida pampeana (Troiani *et al.*, 2009), actividad que se llevó a cabo en un suelo clasificado como Haplustol éntico, con una capacidad de intercambio catiónico de 18,5 cmol kg⁻¹ suelo, 0,13% N, 2,9% de materia orgánica y 61 ppm de P. El diseño experimental fue de bloques completamente aleatorizados con arreglo factorial 3 x 3 x 2 con cuatro repeticiones; cada parcela fue de 11 m de longitud por 3,25 m ancho, resultando 7 y 14 filas para 0,50 y 0,25 m de distancia entre surcos, respectivamente.

Además, en cada parcela 0,50 m de plantas de los extremos fueron desechadas para eliminar el efecto de bordura, igualmente, en las filas 1-2, 6-7 (0,50 m de espaciado) y 1-2, 13-14 (0,25 m de espaciado). Los surcos centrales fueron destinados para evaluar la producción de semilla, siendo cosechados y trillados manualmente, expresándose el resultado en kg ha⁻¹ (superficie de 15 m²). Durante el ciclo del cultivo se registraron las variables siguientes de plantas: densidad, altura, diámetro de tallo a cosecha (medido a 5 cm del suelo) e intercepción de la radiación solar (IRS). Estas últimas se realizaron con un radiómetro o barra de intercepción de la radiación, efectuándose a la cobertura del suelo (fecha 1), anthesis (fecha 2) y madurez (fecha 3).

Para calcular el índice de cosecha (IC) en la madurez fisiológica, se cortaron las plantas marcadas al ras del suelo, se secaron en estufa con circulación de aire forzado a 60 °C para determinar biomasa, posteriormente el grano se separó en forma manual y se pesó para realizar el cálculo con el uso de la siguiente ecuación: [IC rendimiento de semilla/(biomasa aérea + rendimiento de semilla)].

La siembra, control de malezas y el raleo de plantas se realizó manualmente. Las densidades preestablecidas fueron de 100 x 10³, 200 x 10³ y 400 x 10³ plantas ha⁻¹, sembrado a razón de 2,6 kg ha⁻¹ y se suministró un riego complementario equivalente a 100 mm. Se aplicó en tres oportunidades insecticida debido a la presencia de *Epicauta adspersa*.

El estudio estadístico se realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software InfoStat 8 y dada la presencia de interacción en los distintos tratamientos, se efectuó un ANOVA para cada uno y el correspondiente test de Tukey para la significancia de medias en las variables altura de planta (HP), IC, rendimiento de semilla (R) e IRS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan las temperaturas y precipitaciones correspondientes al ciclo del cultivo que fueron desfavorables. Las mediciones de densidad de las plantas mostraron poblaciones bastante inferiores a las propuestas (Cuadro 2), principalmente, en la densidad más alta. Los valores medios indicaron 70, 120 y 210 x 10³ plantas ha⁻¹ para la densidad baja, media y alta, respectivamente, representando las relaciones de proporción de 1:1,7:3, mientras las correlaciones propuestas eran 1:2:4 para los tres genotipos estudiados y distancias de 0,25 y 0,50 m entre surcos. Esta disminución de la población se debió a las condiciones climáticas extremadamente adversas (INTA- Agrometeorología, 2009).

La HP presentó variaciones no significativas entre los genotipos (Cuadro 3), siendo GEN 12 el más bajo, mientras que GEN 6 y GEN 9 fueron muy similares en este aspecto.

El IC osciló entre 0,2 y 0,09 independiente de los genotipos, presentando mayores proporciones a menor densidad de plantas. Estos valores fueron muy bajos comparados con los obtenidos por Troiani *et al.* (2004) en la región pampeana, donde obtuvo en *A. hypochondriacus* L. cv. Artaza 412, valores de 0,3. Así mismo, el GEN 12 presentó un IC de 20,5%, en la campaña en los años 2007-2008, Troiani *et al.* (2008).

Para el estudio del diámetro de tallo se promediaron los datos correspondientes a 10 plantas marcadas y se observó que cada genotipo fue más grueso a 0,50 m, y a 0,25 m; valores similares a los obtenidos por Repollo *et al.*

(2009) en la campaña 2006-2007, trabajando con los mismos genotipos, y superiores a los encontrados por Torres Saldaña *et al.* (2006) para las variedades FRONDOSA y TULYCHUACO, con una densidad de 62 000 plantas ha⁻¹. El GEN 9 presentó el mayor diámetro a 0,50 m de distancia entre surcos (Cuadro 4). Esta estimación es un aspecto negativo para la cosecha mecánica.

En las Figuras 1, 2 y 3 se presenta la evolución de la IRS para tres densidades de siembra y dos distancias entre surcos, observándose que la densidad de siembra tuvo muy bajo efecto en la eficiencia de la IRS. Además, a la altura del suelo la disminución de la radiación solar fue altamente significativa en el GEN 6 con 51,2, y 50,5% de intercepción para la distancia de 0,25 y 0,50 m, respectivamente, y densidades de 50-90 x 10³ y 90 -150 x 10³ (P = 0,01).

En los tres genotipos no hubo diferencias significativas de IRS entre densidades, distancias en la antesis y madurez, indicando que en las condiciones que se llevó a cabo el experimento se compensaron las diferencias en densidad de siembra dentro del surco (distancia entre surcos de 0,25 m) con un mayor desarrollo de la canopia, mientras que a 0,50 m, esta retribución no fue eficiente.

El incremento en la IRS es considerado como el principal factor que influye en los rendimientos a medida que se acorta la distancia entre surcos. Está demostrado que la tasa de crecimiento es una función lineal de la radiación solar interceptada (Shibles *et al.*, 1965, 1966), para esta última, los valores del amaranto fueron bajos, comparados con cultivos de arquitectura similar como el algodón (Mondino, 2000; Paytas, 2005).

CUADRO 1. Evolución de la temperatura y distribución de la precipitación mensual registrado en los meses del experimento (2008-2009).

	Meses				
	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Temperatura mínima (°C)	9,7	8,4	11,3	3,4	-3,8
Temperatura media (°C)	24,8	24,3	24,2	22,2	18,0
Temperatura máxima (°C)	40,2	41,3	39,7	37,5	35,6
Precipitación total (mm)	86,1	4,6	38,6	64,3	2,5
Días de lluvia	4, 5, 9, 12, 13,17, 18, 20, 22, 30, 31	11, 24, 30, 22, 23	2, 4, 5, 16, 19, 20, 21, 22, 29, 30	3, 4, 6, 7, 21	3, 4, 16, 17

CUADRO 2. Densidades medias de población.

Densidad propuesta (plantas ha ⁻¹)	Densidad lograda (plantas ha ⁻¹)
100 x 10 ³	50 - 90 x 10 ³
200 x 10 ³	90 - 150 x 10 ³
400 x 10 ³	150 - 270 x 10 ³

CUADRO 3. Altura media de plantas de amaranto a cosecha (m).

Densidad	Baja	Media	Alta	Baja	Media	Alta
GEN/distancia entre surcos (m)	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50
GEN 6	122,6°	128,6°	121,7°	142,1°	141,1°	130,7°
% CV	(34,6)	(21,5)	(23,0)	(20,6)	(25,8)	(27,6)
GEN 9	127,2°	135,3°	144,2°	137,1°	152,0°	138,0°
% CV	(25,8)	(22,8)	(20,3)	(21,5)	(32,1)	(27,6)
GEN 12	91,4°	94,2°	93,1°	98,9°	98,3°	92,2°
% CV	(29,6)	(29,9)	(30,5)	(22,1)	(16,9)	(19,2)

La significancia debe leerse en sentido horizontal y para cada tratamiento.

CUADRO 4. Diámetro medio de plantas de amaranto a cosecha (cm).

GEN/densidad	D/0,25 m	GEN/densidad	D/0,50 m
G6-100	2,8° (4,2)	G6-100	3,0° (10,4)
G6-200	2,8° (5,3)	G6-200	3,0° (9,3)
G6-400	2,8° (7,6)	G6-400	2,9° (11,3)
G9-100	3,2° (8,1)	G9-100	3,5° (7,7)
G9-200	2,8° (3,6)	G9-200	3,2° (5,9)
G9-400	2,7° (7,6)	G9-400	3,0° (8,6)
G12-100	2,2° (13,1)	G12-100	2,5° (10,2)
G12-200	2,0° (12,6)	G12-200	2,4° (12,5)
G12-400	2,2° (13,0)	G12-400	2,3° (10,0)

La significancia debe leerse en sentido horizontal para cada tratamiento. Los valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación.

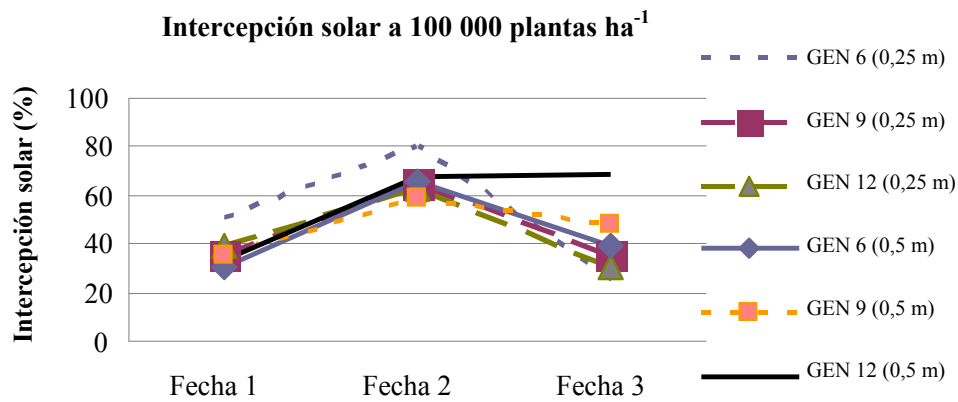


FIGURA 1. Eficiencia de la intercepción solar de la radiación para los dos distanciamientos entre surcos y tres estadios reproductivos correspondiente a tres genotipos de amaranto.

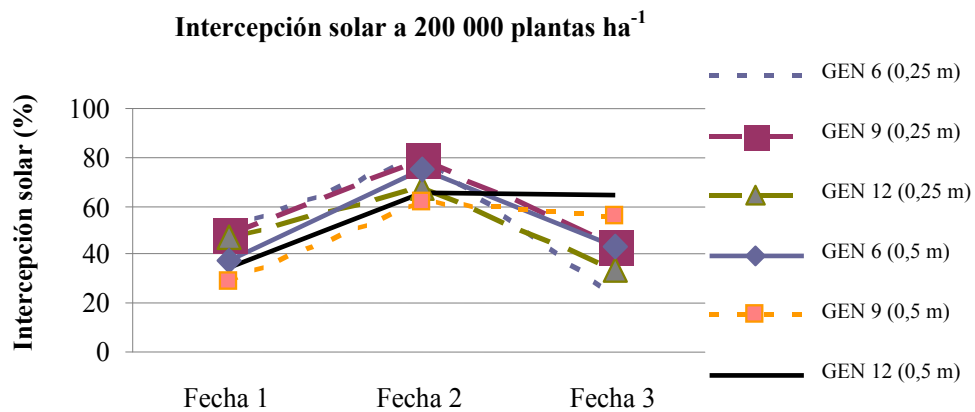


FIGURA 2. Eficiencia de la intercepción solar de la radiación para los dos distanciamientos entre surcos y tres estadios reproductivos correspondiente a tres genotipos de amaranto.

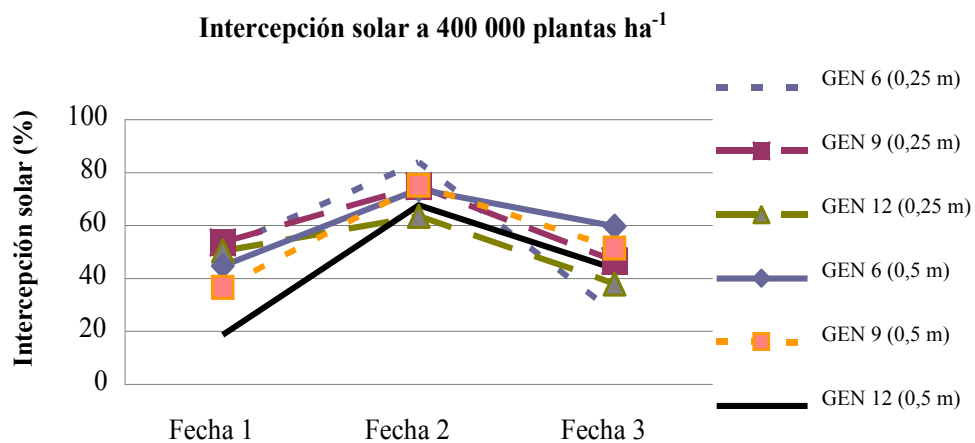


FIGURA 3. Eficiencia de la intercepción solar de la radiación para los dos distanciamientos entre surcos y tres estadios reproductivos correspondiente a tres genotipos de amaranto.

Rendimiento en kg ha⁻¹

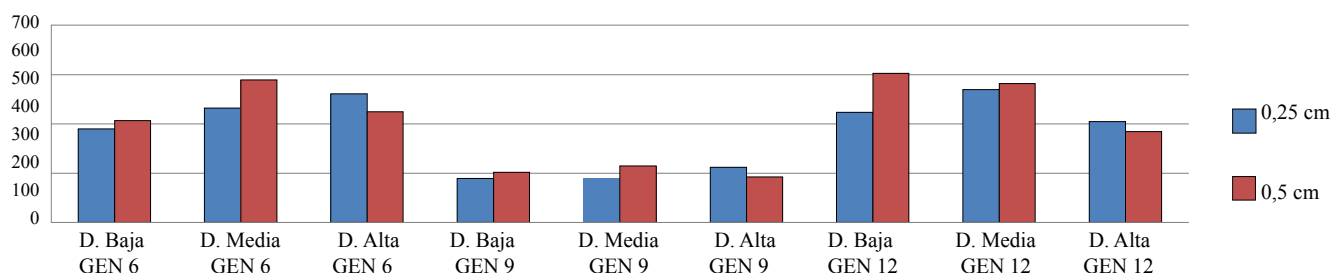


FIGURA 4. Rendimiento de los tres genotipos de amaranto a dos distancias y tres densidades.

El mayor espaciamiento entre hileras también produce otro efecto indeseado para la cosecha mecánica, dado que la canopia permaneció con fuerte intensidad en la fecha de cosecha (mediados de abril), especialmente para el GEN 9 y GEN 12, y aún más pronunciado ante la densidad media y alta de plantas.

El rendimiento de los tres genotipos a cada distancia entre surco se presenta en la Figura 4, valores que fueron extremadamente bajos. El GEN 6 fue mayor (579 kg ha⁻¹) a densidad intermedia y 0,50 m, mientras que el GEN 9 mostró menor producción que los otros dos genotipos, siendo menores a 0,25 m. Por otra parte, el GEN 12 produjo cantidades superiores con 604 kg ha⁻¹ a 0,50 m y densidad de 100 x 10³ plantas ha⁻¹. No se encontraron diferencias significativas (P= 0,01) en el rendimiento en grano (expresado en kg ha⁻¹), en los tres genotipos entre distancias entre surcos y densidades.

Los GEN 6 y GEN 9 cumplieron su ciclo en 120 d (ciclo intermedio), mientras que el Gen 12 lo hizo en 90 d (ciclo corto). La ausencia de diferencia se puede explicar por la intensa sequía, altas temperaturas, acelerada evapotranspiración, fuertes vientos y depredadores que aparecieron en el estado pastoso del grano.

CONCLUSIONES

- La evolución de la canopia (hojas activas) en el GEN 12 no fue la más adecuada para una cosecha mecánica en las densidades estudiadas, especialmente a la distancia entre surcos de 0,50 m y densidad baja e intermedia. La ventaja de este genotipo es su menor altura y ciclo corto.

- El GEN 9 a 0,50 m de distancia entre surcos, presentó el mayor diámetro de tallo a cosecha y junto con el GEN 6 presentaron mayor altura pero una buena performance para una cosecha mecánica.

BIBLIOGRAFÍA

- Bansal, G. L., M. C. Rana and G. Upadhyay. 1955. Response of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) to plant density. Indian J. of Agric. Sci. 65(11):818-820.
- Covas, G. 1994. Perspectivas del cultivo de los amarantos en la República Argentina. Estación Experimental Agropecuaria Anguil-INTA. 10 p. Publicación Miscelánea N° 13.
- Downton, W. J. S. 1973. *Amaranthus edulis*: a high lysine grain amaranth. World Crops. 25(1):20.
- Henderson, T. L., B. L. Johnson and A. A. Schneiter. 2000. Row spacing, planta population, and cultivar effects on grain amaranth in the Northern Great Plains. Agron. J. 92(2):329-336.
- InfoStat. 2004. InfoStat software estadístico. Versión 1.1. Universidad de Córdoba, Argentina.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA-Agrometeorología). 2009. Evolución de la sequía 2008-2009. Impacto sobre las actividades agrícolas-ganaderas. Perspectivas para el mediano y largo plazo. Argentina. Disponible en: www.intaya.org/pages/infoclima.htm. Consultado el 3 de marzo de 2009

- Mondino, M. H. 2000. Efectos del distanciamiento entre surcos y la densidad de plantas sobre el desarrollo y crecimiento de dos variedades de algodón. Tesis presentada para optar al grado de Magíster Scientiae. UNML-INTA Balcarce.
- Paytas, M. J. 2005. Eficiencia de conversión y partición de materia seca hacia destinos reproductivos en algodones con diferente distribución espacial. INTA-EEA. 5 pág. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/reconquista/info/documentos>. Consultado el 12 de agosto de 2007.
- Peiretti, E. G. y J. J. Gesumaria. 1991. Efecto del modelo de siembra en amaranto granífero. Análisis de componentes del rendimiento en un cultivar de *Amaranthus cruentus* L. Rev. Universidad Nacional de Río Cuarto. 11(1):21-29.
- Repollo, R., L. R. Benito, C. E. Olivieri, M. Monforte Castañeda y N. B. Reinaudi. 2009. Potencial productivo de 18 genotipos en la zona semiárida pampeana. **In:** X Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Resumen en CD.
- Sauer, J. D. 1950. The grain amaranths: a survey of their history and classification. Annals of the Missouri Botanical Garden. 37(4):561-632.
- Shibles, R. M. and C. R. Weber. 1965. Leaf area solar radiation interception and dry matter production by soybeans. Crop Sci. 5:575-578.
- Shibles, R. M. and C. R. Weber. 1966. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. Crop. Sci. 6:55-59.
- Torres Saldaña, G., A. T. Santos, T. Reyna Trujillo, H. Castillo Juárez, A. Escalante Estrada y F. de L. González. 2006. Respuesta de genotipos de amaranto a densidades de población. Rev. Fitotec. Mex. 29(4): 307-312.
- Troiani, R. M., T. M. Sánchez, N. B. Reinaudi and L. A. Ferramolas. 2004. Optimal sowing dates of three species of grain-bearing amaranth in the semi-arid Argentina Pampa. Spanish J. of Agric. Research. 2(3):385-391.
- Troiani, R. M., N. B. Reinaudi and T. M. Sánchez. 2008. Agronomic characteristics relationship with yield seed of sixteen genotypes of *Amaranthus* grown in Argentina. **In:** 5th International symposium of the European amaranth association: 4851. Nitra. Slovak Republic. Nov. 9-14 pp.
- Troiani, R. M., N. B. Reinaudi, T. M. Sánchez, R. Repollo, N. Ovando, A. Wilberger, J. Délano Frier y D. Janovská. 2009. Comportamiento de los distintos genotipos de *Amaranthus* en La Pampa Central de la República Argentina. Jornadas 09 Amaranto. Resumen en CD.
- Vietmeyer, N. 1982. El renacimiento del amaranto. Rev. FAO sobre la Agricultura y Desarrollo. 15(5):68-73.