

# Efectos de aptitud combinatoria para vigor de plántula bajo estrés hídrico en maíz

Teruel, M.E.; C.A. Biasutti, M.C. Nazar y D.A. Peiretti

## RESUMEN

El vigor temprano es un componente esencial del desarrollo de los cultivos en la mayoría de las condiciones ambientales. Sin embargo, no existen suficientes reportes sobre el control genético del vigor de plántula en maíz. El objetivo de este trabajo fue estimar los efectos de aptitud combinatoria para variables relacionadas con el vigor en maíz bajo estrés hídrico. Se emplearon seis líneas endocriadas de maíz: tres de ellas con alto porcentaje de germinación y las restantes con bajo porcentaje germinación bajo estrés hídrico. Semillas de las 15 cruzas posibles se evaluaron en condiciones de estrés hídrico en germinación en solución de polietilenglicol 8000 a 1,4 MPa. Se recolectaron datos sobre porcentaje de germinación, longitud de coleoptilo, número de raíces secundarias, longitud de raíz principal y radio radical. La variación debida a las cruzas simples se particionó en efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) de acuerdo al método 4, modelo 1, de Griffing. Las líneas 31B y P004 presentaron los valores más altos de ACG. Los caracteres relacionados al vigor fueron controlados principalmente por efectos aditivos; los efectos no aditivos fueron importantes también, sobretodo para longitud de coleóptilo.

**Palabras clave:** vigor, análisis dialélico, sequía, maíz.

Teruel, M.E.; C.A. Biasutti, M.C. Nazar and D.A. Peiretti 2008. Combining ability effects for seedling vigor under drought stress in maize. Agriscientia XXV (1): 27-34

## SUMMARY

Early vigor is an essential component of crop plant development under most environmental conditions. Nevertheless, little is known about the genetic control of characters in relation to seedling vigor in maize. The objective of this work was to estimate combining ability effects for characters in relation to seedling vigor in maize under water stress. Six maize inbred lines under drought stress, three with

high germination percentage, and three with low germination percentage, were crossed to obtain 15 single crosses. Crosses were evaluated under controlled laboratory conditions in polyethylene glycol 8000 solution (1.4 MPa). Data of the following characters were recorded: germination percentage under drought, coleoptile length, root length, root number and root radius. The general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) information on crosses were obtained by using the method 4, Griffing's model I analysis. Inbred lines 31B and P004 showed the highest GCA estimates for the variables evaluated. The characters related to seedling vigor under drought stress were mainly controlled by additive gene effects, although non-additive effects have also shown to be important, especially for coleoptile length.

**Key words:** vigor, diallel analysis, drought, corn.

*M.E. Teruel, C.A. Biasutti, M.C. Nazar y D.A. Peiretti. Mejoramiento Genético Vegetal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, C.C. 509, 5000 Córdoba. Correspondencia a C.A. Biasutti: biasutti@agro.uncor.edu*

## INTRODUCCIÓN

El vigor temprano es considerado un componente esencial del desarrollo de los cultivos en la mayoría de las condiciones ambientales (Ludlow & Muchow, 1990). Conceptualmente, en este sentido el vigor está representado por el porcentaje de semillas que germinan bajo condiciones limitantes, diferenciándose del ensayo de germinación en condiciones normales u óptimas (Peretti, 1994). Características simples como el porcentaje de germinación y la longitud de la parte aérea, han sido identificadas como aceptables indicadores de vigor de plántula (Acevedo, *et al.*, 1971). Heydecker (1960) indicó que el vigor de plántula es la habilidad de la planta para emerger rápidamente del suelo o del agua.

Uno de los estadios clave en el desarrollo de un cultivo es el establecimiento exitoso de las plántulas (van Hoorn, 1991); consecuentemente, la falta de humedad adecuada durante o inmediatamente después de la siembra afecta la germinación y el crecimiento inicial, reduciendo la densidad de plantas e, invariablemente, el rendimiento final por unidad de área. Este efecto es especialmente marcado en maíz, donde la rápida deshidratación de las plántulas está asociada con sistemas radicales poco desarrollados (Cutforth *et al.*, 1986). En este cultivo se ha estimado que la sequía después de la germinación puede causar pérdidas en el número de las plantas, lo que causa mermas en los rendimientos

comparables, en algunos casos, con la producida por una sequía durante la etapa de floración (Edmeades *et al.*, 1989, 1994). Según Edmeades *et al.* (1996), la cantidad de agua transpirada, que está directamente relacionada con la biomasa producida, es influida por caracteres que afectan la capacidad de supervivencia, como un alto porcentaje de germinación y la supervivencia de las plántulas bajo sequía. De acuerdo a ello, un ideotipo de maíz tolerante a sequía debería poseer, entre otros atributos, la capacidad de germinar en suelos con poca humedad.

En los estudios de laboratorio, el déficit hídrico en el suelo se puede simular mediante el uso de soluciones con potenciales hídricos definidos (Emmerich & Hardegree, 1991). Varios estudios se han realizado para evaluar el comportamiento de distintas especies bajo deficiencia hídrica simulada con polietilenglicol (PEG), como en tomate (Bhatt & Srinivasa Rao, 1987), poroto (De & Kar, 1995), arroz (Pérez-Molphe-Balch *et al.*, 1996), girasol (Chimentí, 1982), lupino (Perissé, 1997), trigo (Blum, 1993) y maíz (Chimentí, 1982; Trapani & Gentinetta, 1984; Biasutti y Galiñanes, 2001; Alemanno *et al.*, 2003). Utilizando PEG como agente osmótico en pruebas de laboratorio, se ha demostrado una asociación significativa entre el porcentaje de emergencia y el de germinación en bajos potenciales agua en trigo (Thill *et al.*, 1979) y en girasol (Somers *et al.*, 1983). La prueba en este tipo de soluciones osmóticas sería apro-

piada para diferenciar materiales resistentes para ser utilizados como progenitores en cruzamientos (Blum, 1988). La identificación de genotipos con altos porcentajes de germinación bajo estrés hídrico puede mejorar el vigor de plántula, el establecimiento a campo y la competitividad intraespecífica (Willenborga, *et al.*, 2005).

En especies como el maíz, donde el objetivo del mejoramiento es el desarrollo de líneas endocriadas para la producción de híbridos, el conocimiento de los efectos génicos que rigen determinado carácter es crucial para determinar la modalidad de selección más eficiente. Se han realizado pruebas de laboratorio para los efectos génicos que rigen la tolerancia del maíz a bajas temperaturas. Maryam & Jones (1983) encontraron que el comportamiento de los híbridos podía ser predicho a partir de las líneas parentales. Hodges *et al.* (1997) y McConnell & Gardner (1979) hallaron que la germinación y el crecimiento de las plántulas están regidos por diferentes factores génicos tanto aditivos como no aditivos, por lo que no es posible pronosticar acertadamente el comportamiento de los híbridos a partir del conocimiento de la respuesta de las líneas parentales. Sin embargo, no existen reportes en la bibliografía sobre la acción génica que influyen determinados caracteres relacionados a la germinación y vigor de plántulas de maíz en condiciones limitantes de agua.

El objetivo de este trabajo fue estimar los efectos de aptitud combinatoria para distintas variables relacionadas con la germinación y el vigor de plántulas de maíz bajo estrés hídrico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la experimentación se emplearon seis líneas endocriadas de maíz obtenidas por selección genológica dentro del programa de mejoramiento de la cátedra de Mejoramiento Genético Vegetal de la F.C.A. (Biasutti *et al.*, 2006). Tres de las líneas —31B, P004 y 75— fueron elegidas por mostrar alto porcentaje de germinación bajo estrés hídrico (HPG), mientras que las tres restantes —86A, 49 y 83A— presentaron bajo porcentaje de germinación bajo estrés hídrico (LPG) en estudios previos (Alemanno, *et al.*, 2003). Durante el período estival 2005/06 se obtuvieron las 15 cruzas F1 entre las seis líneas de acuerdo a un sistema de apareamiento dialélico. Para disponer de semilla suficiente para los ensayos se recolectó polen de aproximadamente 20-25 plantas. Con esta mezcla de polen se polinizaron los estigmas de 20-25 plantas de la línea hembra. Las espigas se mantuvieron tapadas con bolsas para

cruzamientos antes y después de la polinización a fin de evitar polinización no deseada. A cosecha se mezcló la semilla de cada espiga cosechada de cada craza, incluyendo las cruzas recíprocas.

Durante el invierno de 2006 se realizaron las pruebas de laboratorio con las F1, que hasta ese momento fueron conservadas a 5 °C y con humedad menor al 10%. Las semillas fueron superficialmente esterilizadas con una solución al 0,6% de hipoclorito de sodio y lavadas varias veces con agua destilada. Cincuenta semillas de cada una de las 15 cruzas F1 se evaluaron en condiciones de estrés hídrico en germinación en solución de polietilenglicol 8000 a 1,4 Mpa, siguiendo la metodología descrita por Biasutti y Galiñanes (2001). Se emplearon cinco repeticiones de acuerdo a un diseño en bloques completos al azar. Cinco repeticiones en agua destilada sirvieron como control, de acuerdo a las normas estándares de pruebas de germinación (ISTA, 1999). Las pruebas de germinación se realizaron en cámaras con temperatura y humedad controlada del laboratorio de semillas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba. Se recolectaron datos de las siguientes características: porcentaje de germinación a los 10 días desde la siembra (PG), longitud de parte aérea (LPA), número de raíces secundarias (NRS), longitud de raíz principal (LRP) y radio radical (RR), mediante la relación:

$$RR = \sqrt{PFR/LR} \quad (\text{Schenk \& Barber, 1979})$$

Donde: RR: radio radical; PFR: peso fresco de raíz; LR: longitud de raíz.

Los datos relativos a cada variable se sometieron a análisis de varianza. Los datos expresados en porcentaje de germinación fueron previamente transformados mediante el arco seno. La variación debida a las cruzas simples (F1) se particionó en efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) de acuerdo al método 4, modelo 1, de Griffing (1956) para cruzas dialélicas, de acuerdo al siguiente modelo lineal:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:  $i, j = 1, \dots, p$ ;  $K = 1, \dots, r$ ;  $Y_{ij}$ : media de  $r$  repeticiones de las cruzas simples ( $i \times j$ );  $m$ : media general;  $g_i$ : efecto de ACG de  $i$ ;  $g_j$ : efecto de ACG de  $j$ ;  $s_{ij}$ : efecto de ACE de la craza  $i \times j$ ;  $e_{ijk}$ : error asociado con la media de las cruzas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los valores medios para los caracteres PG, LPA, LRP, NRS y RR evaluados en los 15 híbridos. Los híbridos 31B x P004, P004 x 86A y 31B x 75 mostraron los valores más altos de PG bajo estrés hídrico, y no difirieron significativamente entre sí. Un segundo grupo de híbridos, 31B x 86A, 31B x 49, P004 x 49 y 86A x 49, también presentaron valores superiores a la media general para PG y no presentaron diferencias significativas entre sí. Los valores medios hallados en este trabajo para PG (26,3%) son comparables con los encontrados por Biasutti y Galiñanes (2001) (PG: 29,11%), aunque inferiores a los hallados por Alemanno *et al.* (2003) (PG: 55,56%). Los factores que pueden haber influido en esta disparidad son: una mayor relación de parentesco entre las seis líneas analizadas en este trabajo, y que en Alemanno *et al.* (2003) las líneas parentales fueron previamente seleccionadas por su alto PG para la obtención de los genotipos híbridos.

Los valores de PG en condiciones no limitantes (control), para los 15 híbridos (datos no mostrados),

**Tabla 1.** Valores medios de 15 cruzas dialélicas de maíz para porcentaje de germinación (PG), longitud de parte aérea (LPA), longitud de la raíz principal (LRP), número de raíces secundarias (NRS) y radio radical (RR), en solución PEG (1,5 MPa).

Genotipos	PG %	LPA cm	LRP cm	NRS	RR
31B x P004	60,08	0,56	14,52	4,03	0,32
31B x 75	40,84	0,64	13,19	5,53	0,32
31B x 86A	37,49	0,67	13,83	2,94	0,32
31B x 49	35,07	0,76	12,12	4,31	0,33
31B x 83A	22,98	0,04	5,07	2,47	0,17
P004 x 75	6,71	0,69	11,53	2,94	0,32
P004 x 86A	56,96	0,54	14,50	4,81	0,30
P004 x 49	36,99	0,58	12,33	4,68	0,36
P004 x 83A	13,42	0,04	4,54	2,36	0,20
75 x 86A	13,42	0,13	4,28	2,85	0,23
75 x 49	11,79	0,19	2,98	2,92	0,28
75 x 83A	16,27	0,63	12,30	3,53	0,33
86 A x 49	34,86	0,84	13,25	4,65	0,33
86A x 83A	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00
49 x 83A	13,42	0,04	3,55	2,37	0,23
Media	26,3	0,42	9,2	3,35	0,30
DMS	21,61	0,11	3,09	2,00	0,16
R <sup>2</sup>	0,74	0,97	0,92	0,70	0,62

### Referencias

DMS: diferencia media significativa, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación.

mostraron valores de 97 a 100%, los que están dentro de los rangos exigidos para cultivares comerciales.

Para LPA se destacaron los híbridos 86A x 49 y 31B x 49, que presentaron los valores más altos para la variable. Resultados similares en LPA se obtuvieron en trabajos previos (Alemanno *et al.*, 2003). Con respecto a LRP, nueve híbridos no presentaron diferencias significativas entre sí, entre los que se destacaron los híbridos 31B x P004 y P004 x 86A, por mostrar los mayores valores. En condiciones de estrés hídrico la longitud de la raíz principal continúa creciendo aun a potenciales de 1,6 MPa o menores, aunque su RR disminuye (Sharp *et al.*, 1988). El NRS es de importancia para la exploración del suelo, y en este aspecto se destacaron los híbridos 31B x 75 y P004 x 86A por su alto NRS. Biasutti y Galiñanes (2001) también encontraron diferencias significativas para NRS bajo estrés hídrico en genotipos seleccionados en ambientes semiáridos. Para RR no se detectaron diferencias entre los híbridos, con excepción de la cruce 86A x 83A. En general, los híbridos 31B x P004, 31B x 75 y P004 x 86A, mostraron valores altos para todas las variables.

Diferencias altamente significativas ( $P < 0,01$ ) fueron detectadas entre los híbridos para las variables PG, LPA, LRP y NRS, y significativas ( $P < 0,05$ ) para RR, lo que indica la existencia de variabilidad genética entre los híbridos para las variables evaluadas (Tabla 2).

El análisis dialélico mediante el método IV de Griffing (1956) detectó diferencias significativas ( $P < 0,05$  o  $P < 0,01$ ) para los efectos de ACG y ACE para todas las variables, con la excepción del efecto de ACE, no significativo, para RR (Tabla 2).

Los resultados han evidenciado la importancia de los efectos aditivos y no aditivos en la expresión de los caracteres evaluados bajo estrés simulado en PEG. Para RR, el control genético se debió solamente a efectos aditivos, por lo que es posible, entonces, predecir el comportamiento de los híbridos en base solamente a los estimados de ACG para RR de las líneas parentales. En todos los casos, los valores de ACG fueron más altos en todos los caracteres en comparación con los valores de ACE.

De acuerdo con Baker (1978), para el modelo fijo de análisis de varianza de cruzamientos dialélicos, la proporción de ACG en relación a la ACE se puede calcular mediante la relación  $ACG/(ACG + ACE)$ . Los valores de esta proporción para las variables PG, LPA, LRP, NRS y RR, fueron 78, 59, 64, 66 y 72% respectivamente, indicando que la tolerancia a condiciones de estrés hídrico estuvo controlada principalmente por acción génica aditiva, aunque

**Tabla 2.** Análisis de varianza de 15 cruzas dialélicas entre 6 líneas endocriadas de maíz para, porcentaje de germinación (PG), longitud de parte aérea (LPA), longitud de raíz primaria (LRP), número de raíces secundarias (NRS) y radio radical (RR), de acuerdo al método IV, modelo 1, de Griffing (1956).

Fuente de Variación	G.L	PG	LPA	LRP	NRS	RR
Híbridos	14	956,03**	28,58**	77,51**	5,67**	0,025*
ACG	5	1795,58**	35,70**	108,07**	8,24**	0,043**
ACE	9	489,62**	24,63**	60,54**	4,24*	0,016ns
Error	28	1,67	0,45	3,42	1,42	0,010

Referencias

G.L.: grados de libertad, ACG: aptitud combinatoria general. ACE: aptitud combinatoria específica. \*, \*\*: significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. ns: no significativo.

**Tabla 3.** Efectos de aptitud combinatoria general (gi) para porcentaje de germinación (PG), longitud de parte aérea (LPA), longitud de raíz primaria (LRP), número de raíces secundarias (NRS) y radio radical (RR), de acuerdo al método IV, modelo 1, de Griffing (1956).

Líneas	PG	LPA	LRP	NRS	RR
31B	15,567**	1,394**	3,183**	0,620	0,028
P004	9,992**	0,742**	2,855**	0,505	0,038
75	-11,269**	0,399*	-0,429	0,243	0,033
86A	2,682**	0,164	-0,034	-0,386	-0,041
49	-0,494	0,714**	-0,441	0,533	0,045
83A	-16,477**	-3,417**	-5,134**	-1,516**	-0,104**
EE (gi)	0,340	0,176	0,487	0,315	0,026
EE (gi - gj)	0,527	0,273	0,754	0,488	0,040

Referencias

\*, \*\*: significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. ns: no significativo  
EE: error estándar.

los efectos no aditivos fueron importantes, sobre todo en el caso de LPA. Silva *et al.* (1992), Reiter (1989) y Furlani *et al.* (1998), también detectaron en sus trabajos una predominancia de la acción génica aditiva para todos los caracteres evaluados en la tolerancia de plántulas de maíz en soluciones de bajo contenido de fósforo. Lima *et al.* (1995), al evaluar genotipos por su tolerancia a aluminio, también detectaron una mayor importancia de los efectos de ACG con relación a los de ACE para longitud de raíz.

Las líneas 31B y P004 exhibieron los valores más altos y significativos ( $P < 0,01$ ) de efectos de ACG para los caracteres PG, LPA y LRP, lo que pone de manifiesto la contribución positiva de estas líneas para incrementar estos caracteres en sus híbridos (Tabla 3). La línea 83A presentó los valores significativamente ( $P < 0,01$ ) más bajos para todos los caracteres evaluados.

Se observaron diferencias significativas ( $P < 0,01$  y  $P < 0,05$ ) en los efectos de ACE para los caracteres PG, LPA, LRP y NRS, entre los híbridos evaluados (Tabla 4), lo que evidencia la existencia de combinaciones promisorias para estas variables. Los híbridos P004 x 86A y 75 x 83A, mostraron los

valores significativos ( $P < 0,01$ ) más altos de ACE para el carácter PG. La combinación 75 x 83A mostró, además, efectos significativos ( $P < 0,01$ ) y positivos para todas las demás variables (Tabla 4). El híbrido P004 x 86A mostró también efectos de ACE significativos ( $P < 0,01$  y  $P < 0,05$ ) y positivos para LRP y NRS. De las restantes combinaciones híbridas, las cruzas 31B x P004 y 31B x 75 presentaron efectos positivos y significativos para PG.

Los efectos de ACE obtenidos mediante la metodología de Griffing (1956) son equivalentes a los estimados de heterosis específica obtenidos mediante el análisis de Gardner & Eberhart (1966) (Furlani *et al.*, 1998). Las combinaciones con mayor efecto de ACE para PG y para varias de las variables analizadas (Tabla 4) involucraron cruzas de tipo HPG x LPG, P004 x 86A y 75 x 83A. Alemanno *et al.* (2003) al estudiar 23 híbridos experimentales entre líneas endocriadas de maíz de diverso origen, también encontraron heterosis para PG en cruzas HPG x LPG.

Revilla *et al.* (2000), analizando porcentaje de germinación y vigor en bajas temperaturas, llegaron a la conclusión de que el comportamiento de los

híbridos puede ser predicho a partir de los padres. Por lo tanto, los efectos aditivos fueron más importantes para la regulación genética de la tolerancia a estrés en bajas temperaturas a laboratorio. Esto, sumado a lo hallado en este trabajo, sugiere la necesidad de seleccionar para PG y los demás caracteres analizados, en ambos padres, para lograr híbridos con buen vigor inicial. Con base en los efectos hallados de ACE, también es posible la selección de combinaciones promisorias para los caracteres evaluados, dado el buen comportamiento de cruza HPG x LPG. Puesto que estos caracteres pueden evaluarse en forma simple fuera de la estación de crecimiento, en laboratorio, es factible su integración con otros criterios durante la endocria en un programa de selección recurrente alternando evaluaciones a campo y a laboratorio.

Las líneas endocriadas 31B y P004 presentaron los valores positivos más altos de las estimaciones de ACG, participando de las combinaciones híbridas más expresivas para los caracteres estudiados relacionados con el vigor de plántula en condiciones limitantes de humedad edáfica. Un adecuado PG, conjuntamente con una mayor profundidad y densidad de raíces, son caracteres altamente deseables para la exploración y extracción de nutrientes y agua del suelo. Esto adquiere

importancia en ambientes semiáridos, donde la humedad a la época de siembra frecuentemente no es la óptima para la germinación y desarrollo temprano de las plántulas. Con base en lo anterior, las líneas 31B y P004 pueden ser consideradas promisorias para la obtención de genotipos híbridos de maíz más eficientes bajo condiciones de estrés hídrico en germinación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud al Ing. Agr. (M.Sc.) Roberto Rolando y al Sr. Gonzalo Rodrigo Pereira, director y técnico, respectivamente, del Laboratorio de Análisis de Semillas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la U.N.C., por su apoyo técnico y por las facilidades brindadas. Este trabajo fue posible debido al apoyo de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba, Res. Secyt 162/06.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E., Hsiao, T. C. and D. W. Henderson. 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology*. 8: 631-636.

**Tabla 4.** Efectos de aptitud combinatoria específica para porcentaje de germinación (PG), longitud de parte aérea (LPA), longitud de raíz primaria (LRP), número de raíces secundarias (NRS) y radio radical (RR) de acuerdo al método IV, modelo 1, de Griffing (1956).

Genotipos	PG	LPA	LRP	NRS	RR
31B x P004	7,618**	-0,737*	-0,718	-0,455	-0,016
31B x 75	9,721**	0,355	1,236	1,306*	-0,011
31B x 86A	-7,581**	0,940**	1,481	-0,653	0,064
31B x 49	-6,824**	1,250**	0,179	-0,203	-0,013
31B x 83A	-2,931**	-1,807**	-2,178**	0,006	-0,023
P004 x 75	-18,834**	1,507**	-0,095	-1,168*	-0,021
P004 x 86A	17,463**	0,262	2,479**	1,331*	0,034
P004 x 49	0,670	0,092	0,716	0,281	0,006
P004 x 83A	-6,917**	-1,124**	-2,380**	0,011	-0,003
75 x 86A	-4,814**	-3,484**	-4,455**	-0,366	-0,031
75 x 49	-3,267**	-3,494**	-5,348**	-1,216*	-0,068
75 x 83A	17,195**	5,117**	8,664**	1,443**	0,131**
86 A x 49	5,850**	3,310**	4,526**	1,143*	0,056
86 A x 83A	-10,917**	-1,027**	-4,030**	-1,456**	-0,123**
49 x 83A	3,570**	-1,157**	-0,073	-0,006	0,019
EE (Sij)	0,577	0,300	0,827	0,534	0,044
EE (Sij - Sik)	0,913	0,474	1,307	0,845	0,070
EE (Sij - Skl)	0,746	0,387	1,067	0,690	0,057

### Referencias

\*, \*\*: significativo a 0,05 y 0,01 nivel de probabilidad, respectivamente. ns: no significativo.  
EE: error estándar.

- Alemanno, G., S. Lerda, E. Oliden, C. Vagliendo, P. Valiente y C. A. Biasutti, 2003. Heterosis en ensayos de calidad de semilla en híbridos experimentales de maíz. Basic and Applied Genetics, XV, Supplement 2, p 124.
- Baker, R. J., 1978. Issues in diallel analysis. Crop Science 18: 533-536.
- Bhatt, R.M. and N. K. Srinivasa Rao, 1987. Seed germination and seedling growth responses of tomato cultivars to imposed water stress. J. Hort. Sci. 62 (2): 221-225.
- Biasutti, C. A. y V. Galiñanes, 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. Agriscientia. Vol. XVIII: 37-44.
- Biasutti, C. A., D. A. Peiretti, M. C. Nazar, J. Carreras, M. Teruel, G. Alemanno y B. Ciacci, 2006. Comportamiento de híbridos entre líneas selectas de maíz con distintos niveles de endocría. III Jornadas Integradas de Investigación y Extensión, FCA – UNC, p. 43.
- Blum, A., 1993. Selection for Sustained Production in Water Deficit Environments. In: International Crop Science I: 343-347.
- Blum, A., 1988. Plant Breeding for stress environments. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA. p. 213.
- Chimenti, C. A. 1982. Variabilidad intraespecífica y ontogénica en la capacidad de ajuste osmótico en girasol (*Helianthus annuus* L.). Tesis Magister Scientiae. Área: Producción Vegetal. UBA – INTA.
- Cutforth, H.M., Shaykewich, C. F. and C. M. Cho, 1986. Effect of soil water and temperature on corn (*Zea mays* L.) root growth during emergence. Canadian Journal of Soil Science 66, 51-58.
- Da Silva, A. E. and W. H. Gabelman, 1992. Screening maize inbred lines for tolerance to low P stress conditions. Plant and Soil 146: 181-187.
- De, R. and R. K. Kar. 1995. Seed germination and seedling growth of mung bean (*Vigna radiata*) under water stress induced by PEG 6000. Seed Sci. & Technol. 23 : 301-308.
- Edmeades, G. O., J. Bolaños, H. R. Lafitte, S. Rajaram, W. Pfeiffer and R. A. Fischer, 1989. Traditional approach to breeding for drought tolerance in cereals.. In: G. W. Baker (Ed.) Drought resistance in cereals, CA-BI, Wallingford, UK. Pp. 27-52
- Edmeades, G. O., H.R. Lafitte, J. Bolaños, S.C. Chapman, M. Bazinger and J.A. Deutsch, 1994. Developing maize that tolerates drought or low nitrogen conditions. In: G.O. Edmeades & J.A. Deutsch (Eds.) Stress tolerance breeding: Maize that resist insects, drought, low nitrogen and acid soils. CIMMYT, México, D.F. México. Pp 21-84.
- Edmeades, G. O., J. Bolaños and S. C. Chapman, 1996. Value of secondary traits in selecting for drought tolerance in tropical maize. In: G. O. Edmeades, M. Bazinger, H. R. Mickelson and C. B. Peña-Valdivia (Eds) Development drought and low nitrogen tolerant maize. CIMMYT, El Batán, México. Pp 426-432.
- Emmerich, W. E. and D. P. Hardeegree. 1991. Seed germination in polyethylene glycol solution: effects of filter paper exclusion and water vapor loss. Crop. Sci. 31: 454-458.
- Furlani, A. M. C., M. Lima and L. L. Nass, 1998. Combining ability effects for P-efficiency characters in maize grown in low P nutrient solution. Maydica 43: 169-174.
- Gardner, C. O and S. A. Eberhart, 1966. Analysis and interpretation of variety cross diallel and related populations. Biometrics 22: 439-452.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9: 463-93.
- Heydecker, W., 1960. Can we measure seedling vigor? Proc. Int. Seed Test. Assoc. 25: 498-512.
- Hodges, D. M., C. J. Andrews, D. A. Johnson and R. L. Hamilton, 1997. Sensitivity of maize hybrids to chilling and their combining abilities at two development stages. Crop sci. 37: 850-856.
- ISTA. 1999. International Rules for Seed Testing. Rules 1999. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland.
- Lima, M., J.B. Miranda Filho and P. R. Furlani, 1995. Diallel cross among inbred lines of maize differing in aluminium tolerance. Brazilian Journal of Genetics, 18 (4): 579-584.
- Ludlow, M.M. and R.C. Muchow, 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. Adv. in Agronomy 43: 107-153.
- Maryam B. D. and A. Jones, 1983. The genetics of maize (*Zea mays* L.) growing at low temperatures. I. Germination of inbred lines and their F1s. Euphytica 32, 535-542.
- McConnell, R. L. and C. O. Gardner, 1979. Inheritance of several cold tolerance traits in corn. Crop Sci. 19: 847-852.
- Peretti, A., 1994. Manual Para Análisis de Semillas. Editorial Hemisferio Sur. Argentina. 1ra. Ed. Bs. As. 273 pp.
- Pérez-Molphe-Balch, E.; Gidekel, M.; Segura-Nieto, M.; Herrera-Estrella, L. and N. Ochoa Alejo. 1996. Effects of water stress on plant growth and root proteins three cultivars of rice (*Oriza sativa* L.) with different levels of drought tolerance. Physiol. Plant. 96: 284-290.
- Perissé, P., 1997. Caracterización morfológica de la cubierta seminal de *Lupinus albus* y *Lupinus angustifolius* L. y su relación con la germinación. Tesis de Maestría. Escuela para Graduados. Maestría en Ciencias Agropecuarias. Mención Tecnología de semillas,

- F.C.A.-U.N.C., 87 pp.
- Reiter, R. S., 1989. Genetic analysis of tolerance to low-phosphorus stress in maize using restriction fragment length polymorphism. Ph.D. Thesis, University of Wisconsin, Madison, WI.
- Revilla, P., R. A. Malvar, M. E. Carrea, A. Butrón and A. Ordás, 2000. Inheritance of cold tolerance at emergence and during early season growth in maize. *Crop Sci* 40: 1579-1585.
- Schenk, M.K. and S.A. Barber, 1979. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agron. J.* 71: 921-924.
- Sharp, R. E., Silk, W. and T.C. Hsiao, 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiology*, 87: 50-57.
- Somers, D.; Ulbrich, S. and M. Ramsay. 1983. Sunflower germination under simulated drought stress. *Agron. J.* 75: 570 – 572.
- Thill, D.; R. Schirman and A. Appleby. 1979. Osmotic stability of mannitol and polyethyleneglicol solutions used as seed germination medio. *Agron. J.* 71: 105 – 108.
- Trapani, N. and E. Gentinetta, 1984. Screening of maize genotypes using drought tolerance tests. *Maydica* 29: 89-100.
- van Hoorn, J. W., 1991. Develment of soil salinity during germination and early seedlinig growth and its effect on several crops. *Agricultural Water Managment* 20, 17-28.
- Willenborga, C. J., J. C. Wildemanc, A. K. Millerb, B. G. Rossnageld and S. J. Shirliffef, 2005. Oat Germination Characteristics Differ among Genotypes, Seed Sizes, and Osmotic Potentials. *Crop Sci.*, 45: 2023-2029.