

## SELECCIÓN POR VIGOR INICIAL DE PLANTA DE MAÍZ EN VIVERO

### INITIAL SELECTION OF MAIZE PLANT BY VIGOUR IN VIVERO

Carlos Alberto Ramírez Mandujano<sup>1§</sup>; Juan Carlos González Cortés<sup>1</sup>; Jorge Luis Gómez Villa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. <sup>2</sup>Estudiante de licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. §Autor responsable: cramirzm@umich.mx

Recibido: 12 abril 2016, aceptado: 25 agosto 2016

*Artículo Científico*

### RESUMEN

El vigor inicial de planta en maíz ha sido investigado en cultivares mejorados y con base en cruces dialélicas se ha determinado que depende principalmente de efectos genéticos no aditivos. Sin embargo es necesario determinar los componentes genéticos en familias y probar selección en estados iniciales de desarrollo en vivero, que puede ahorrar espacio y reducir costos. Para estimar componentes de varianza y heredabilidad en vivero y su correlación con datos de plantas adultas en campo, se estableció un ensayo de 40 familias de medios hermanos de un criollo mejorado en julio de 2015 bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se midió altura de plántula a los 20 días de la siembra (altura1), y a los 40 días, diámetro basal, número de hojas con collar visible, largo y ancho

de la tercera hoja, altura de planta (altura2) y vigor en escala de 1 a 5. En todas las características hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre familias. Los valores de heredabilidad y relación (varianza aditiva / varianza no aditiva) fueron: Altura1, 0.57 y 1.71; diámetro basal, 0.47 y 1.04; número de hojas, 0.16 y 0.21; largo de hoja 0.15 y 0.26; altura2, 0 y 0; ancho de hoja, 0.41 y 0.71; vigor de planta, 0.23 y 0.37. Altura1 estuvo moderadamente asociado con vigor de planta ( $r = 0.61$ ). Las correlaciones con datos de campo de una evaluación del año 2014 fueron bajas y no significativas.

**Palabras clave:** *Zea mays*, vigor inicial, heredabilidad, selección en vivero.

### ABSTRACT

Seedling vigor in maize has been researched in improved cultivars and, based on diallel crosses has been found that it depends mainly on non-additive genetic effects. However it is necessary to determine genetic components in families and try nursery selection, which can save space and reduce costs. For estimating variance components and heritability in nursery and its correlation with adult plants field data, a

trial of 40 half-sib families of an improved maize landrace was established in July 2015 in a randomized complete block design with three replications. Seedling height was measured at 20 days of sowing (height1), and at 40 days, basal diameter, number of leaves with visible collar, long and wide of the third leaf, plant height (height2) and visual vigor on a scale of 1 to 5 were measured. There were significant differences between

families ( $P \leq 0.05$ ) for all characters. Values of heritability and the relationship (additive variance / non-additive variance) were: Height1, 0.57 and 1.71; basal diameter, 0.47 and 1.04; number of leaves 0.16 and 0.21; leaf length 0.26 and 0.15; height2, 0 and 0; leaf width, 0.41 and 0.71; seedling vigor, 0.23 and 0.37.

Height1 was moderately associated with plant vigor ( $r = 0.61$ ). Correlations with a 2014 field trial were low and non-significant.

**Key words:** *Zea mays*, seedling vigor, heritability, nursery selection.

## INTRODUCCIÓN

El maíz es el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario, como industrial, político y social. De esta especie, se cosecharon en 2014 cerca de 23 millones de toneladas en 7 millones de hectáreas (SIAP, 2015). El vigor inicial de plántula es característica común en los maíces mejorados y es considerado un componente esencial del desarrollo de los cultivos en la mayoría de las condiciones ambientales (Ludlow y Muchow, 1990). El rápido desarrollo del área foliar y cobertura temprana de la superficie del suelo puede ser seleccionado para mejorar el rendimiento bajo estrés hídrico (Richards *et al.*, 2002). Este procedimiento puede ser incorporado en los maíces criollos como parte de los programas de premejoramiento. 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). E incluso se ha llegado a concluir que la actividad fotosintética intensa y el rápido desarrollo de las hojas son los dos caracteres más importantes para un crecimiento temprano vigoroso (Trachsel *et al.*, 2010). Existen algunas investigaciones que han estimado el vigor inicial midiendo altura de plántula a las 2, 3, 4 y 5 semanas después de la siembra y número de hojas a las 5 semanas (Molatudi y Mariga, 2009); altura de

plántula y número de hojas a los 24 días después de la siembra (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2006); altura de plántula y peso seco de la parte aérea a los 24 días después de la siembra (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2011); a los 40 días después de la siembra se ha medido longitud de plántula, y vigor por apreciación visual en escala de 1 a 5 (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2007; Cervantes-Ortiz *et al.*, 2013; Cervantes-Ortiz *et al.*, 2014). En trigo se ha medido en la etapa de tres hojas el largo y el ancho máximo de las mismas (Solís-Moya *et al.*, 2013). Además se ha establecido que son más heredables los caracteres de plántula que los de semilla, aunque la mayoría fueron relativamente poco heredables Cervantes-Ortiz *et al.* (2006).

La respuesta a selección está asociada a la heredabilidad, la cual es mayor cuando un carácter está determinado principalmente por efectos aditivos y en menor medida por efectos de dominancia (no aditivos). Las cruces dialélicas se utilizan para estimar efectos de aptitud combinatoria general, que son aditivos y de aptitud combinatoria específica, que son dominantes. La mayoría de las investigaciones coinciden en que para el vigor inicial son más importantes los efectos de dominancia. De acuerdo con Revilla *et al.* (1999) ha habido más avance genético para vigor de semilla y de plántula en maíz seleccionando combinaciones de

híbridos específicos (efectos de dominancia), que líneas basadas sólo en efectos de aptitud combinatoria general (efectos aditivos). Por otro lado Moreno-González (1988) reporta un efecto significativo de la varianza de dominancia para el vigor inicial de plántula en maíz. Cervantes-Ortiz *et al.* (2006) y Cervantes-Ortiz *et al.* (2007) encontraron en cruzas dialélicas que en caracteres de plántula predominó la varianza de dominancia, mientras que en los de planta adulta predominó la varianza aditiva; la heredabilidad de los caracteres de plántula fue menor que la de los de planta adulta. En contra parte Esquivel-Esquivel *et al.* (2009) estimaron efectos aditivos superiores a los de dominancia para altura de plántula a los tres días después de la emergencia. Cervantes-Ortiz *et al.* (2011) también en cruzas dialélicas determinaron el predominio de efectos de dominancia. No existen informes de estimación de varianza aditiva y dominante de vigor inicial por medio de evaluación de familias, a pesar de que está disponible la metodología correspondiente (Márquez y Sahagún, 1994).

La selección en vivero puede ser aplicada en caracteres que se manifiestan en etapas tempranas del desarrollo y tiene la ventaja de que puede manejarse un número muy alto de plantas y ejercer fuerte presión de selección; por ejemplo, la selección masal visual (Molina, 1983) del 5 % de plántulas y la eliminación del resto permitiría aumentar la densidad de siembra en 20 veces ahorrando 95 % de espacio, ya que después de la eliminación de las no seleccionadas, las plantas seleccionadas crecerían a la densidad comercial normal. Una ventaja adicional es que la selección antes de la floración duplica la eficiencia de la selección masal porque solo se cruzan entre sí los individuos

seleccionados (Molina, 1992; Márquez, 1995). Otro argumento a favor es que en vivero hay mayor uniformidad ambiental y se reduce la varianza ambiental y de interacción genotipo-ambiente, lo que se traduce en un incremento en la heredabilidad maximizando la respuesta a selección, por lo que es posible lograr avances significativos aplicando selección en vivero en caracteres de baja heredabilidad (Fehr, 1987).

Con respecto a las correlaciones entre caracteres de plántula y planta adulta Mock y Bakri (1976) determinaron correlación baja entre vigor de plántula a 42 días después de la siembra (dds), con el rendimiento de grano. Mock y Skrdla (1978) obtuvieron resultados similares entre vigor de plántula y días a floración femenina. Mock y McNeill (1979) encontraron coeficientes de correlación bajos entre caracteres de vigor de plántula con altura y número de hojas de planta juvenil, días a floración femenina, altura de planta adulta y rendimiento de grano. Fakorede y Ayoola (1980) concluyen que la correlación entre el vigor de plántula y rendimiento de grano puede ser positiva, negativa o cero. Ajala y Fakorede (1988) reportaron una correlación inconsistente entre caracteres de plántula y planta adulta. Revilla *et al.* (1999) encontraron inconsistencias correlativas entre vigor de plántula y planta adulta. Rebetzke *et al.* (1999) concluyeron que es posible obtener plántulas de trigo con alto vigor, que al mismo tiempo tengan altura reducida al llegar al estado adulto. Cervantes-Ortiz *et al.* (2013) determinaron que no hubo asociación entre el vigor inicial de plántula con las características de planta adulta. Cervantes-Ortiz *et al.* (2014) reportan correlación positiva entre vigor inicial y número de

hileras de la mazorca, peso y rendimiento de grano. Por lo anterior se puede esperar que la selección por vigor inicial no provoque una respuesta correlacionada en caracteres de planta adulta.

El objetivo del presente trabajo fue estimar los componentes de varianza y heredabilidad en vivero en

familias de medios hermanos maternos, y correlacionar los caracteres de vigor inicial de plántula con características de plantas adultas en campo de un ensayo llevado a cabo en el año previo a este trabajo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se estableció un ensayo de 40 familias de medios hermanos maternos en Morelia, Michoacán, el 1 de julio de 2015 en las coordenadas 19° 41' 28" N y 101° 12' 04" W. El clima de la ciudad de Morelia de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1973), es c(w1)(w)b(i)g, templado con lluvias en verano. La temperatura media anual es 17.7 ° C y la precipitación es de 786 mm; el suelo del área de estudio corresponde a la denominación vertisol pélico. El diseño fue bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela útil consistió de una hilera de 8 plántulas. La distancia entre plántulas dentro de la hilera fue de 7.5 cm con una separación entre hileras de 12.5 cm. Esto es 20 veces mayor a la densidad comercial de 50 mil plantas ha<sup>-1</sup>, porque bajo selección visual se eliminaría al 95 % conservando sólo a una de cada 20 plántulas. Se hizo una aplicación de fertilizante líquido fertigro 8-24-00® en dosis equivalente a 40 litros ha<sup>-1</sup>, de acuerdo a recomendación del fabricante. Se aplicó también una mezcla de herbicidas nicosulfurón, 2-4-D y Atrazina para control de maleza emergida y no emergida, tanto de hoja ancha como angosta y selectivo a maíz en dosis de 2.5 litros ha<sup>-1</sup>. La semilla fue tratada con Carbofurán para protección contra plagas de suelo y plántula.

Los caracteres evaluados fueron: altura de plántula a los 20 dds (altura1), y posteriormente a los 40 dds, diámetro basal, número de hojas con collar visible, largo y ancho máximo de la tercera hoja, altura de planta (altura2) y vigor visible en escala de 1 a 5. Los datos de número de hojas y vigor visible fueron transformados a raíz cuadrada. Se realizó el análisis de varianza y se estimaron componentes de varianza con el método de máxima verosimilitud restringida. Se estimaron valores de varianza aditiva y no aditiva, así como de heredabilidad en sentido estricto a nivel de plantas individuales ( $h^2_i$ ), de acuerdo a Márquez y Sahagún (1994):

$$\sigma^2_A = 4\sigma^2_f$$

$$\sigma^2_D = \sigma^2_e - 3\sigma^2_f$$

$$h^2_i = \frac{4\sigma_f^2}{(\sigma_f^2 + \sigma_{f*b}^2 + \sigma_e^2)}$$

Dónde:  $\sigma^2_f$  = Varianza entre familias,  $\sigma^2_{b*f}$  = Varianza bloques x familia,  $\sigma^2_e$  = Varianza del error.  $\sigma^2_A$  = varianza aditiva,  $\sigma^2_D$  = varianza no aditiva,  $h^2_i$  = heredabilidad en base a plantas individuales. Se estimó la correlación fenotípica entre los datos del ensayo y datos de plantas adultas de una evaluación de campo

de las mismas familias en el año 2014, por medio de la correlación de Pearson; las variables medidas en campo fueron: días a floración masculina y femenina, asincronía floral, número de hojas arriba y debajo de la

mazorca, longitud y ancho de la hoja del nudo de la mazorca, área foliar, altura de mazorca, altura total, peso de mazorca, longitud y diámetro de mazorca, hileras de grano y granos por hilera.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se aprecia que hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre familias para todas las variables. No hubo diferencias estadísticamente significativas para repeticiones para vigor visible ni para la interacción familias x bloques para ancho de hoja, por lo cual las diferencias entre familias para estas variables tienen menor influencia ambiental y de

interacción genotipo-ambiente. La significancia para bloques y para la interacción familia\*bloques en el resto de las variables indica el efecto de los bloques y el comportamiento relativo no uniforme de las familias en los mismos. Los coeficientes de variación están debajo del máximo valor aceptable de 30 % para experimentos en condiciones de secano (Reyes, 1990).

**Cuadro 1.** Cuadrados medios para caracteres de plántula de maíz evaluados en vivero. Morelia, Michoacán, 2015.

F.V.	g. l.	A1 (cm)	D (mm)	NH	LH (cm)	A2 (cm)	AH (cm)	VV
Familias (F)	39	86.27**	3.86**	0.05**	501.06**	238.97**	86.71**	0.19**
Bloques (B)	2	196.44**	3.47**	0.09*	3529.33**	439.32**	119.49*	0.01ns
F*B	78	30.97**	1.41**	0.03**	420.56**	268.36**	32.63ns	0.12**
Error	673	17.32	0.9	0.02	113.71	31.83	29.08	0.06
C.V. (%)	---	21.89	19.41	7.18	17.69	17.86	21.75	14.25
Media	---	19.14	4.91	4.5	60.71	31.89	2.49	3.03

F.V., fuentes de variación; g. l., grados de libertad; A1, altura a 20 dds; D, diámetro basal; NH, número de hojas con collar visible; LH, longitud de hoja; A2, altura a 40 dds; AH, ancho de hoja; VV, vigor visible; C.V., coeficiente de variación; \* y \*\*, significancia estadística a nivel 0.05 y 0.01, respectivamente; ns, no significativo.

En el Cuadro 2 se presentan los valores de componentes de varianza expresados en proporción respecto a la varianza total. La varianza entre los

bloques fue la más pequeña en todos los caracteres evaluados, lo que puede atribuirse a que el ensayo fue conducido en condiciones de vivero con alta

uniformidad. También se muestran los valores estimados de heredabilidad, los más altos corresponden a altura1, diámetro basal y ancho de hoja, lo que coincide con la afirmación de Trachsel et al. (2010) de que el rápido desarrollo de las hojas es importante indicador del vigor inicial. Altura2 no fue heredable, por lo que puede descartarse como criterio de selección. El vigor visible tuvo un valor de heredabilidad intermedio, que no lo hace el mejor

candidato para ser utilizado como criterio de selección. Por otra parte, la relación  $\sigma^2_A/\sigma^2_D$  es mayor que 1 para altura1, indicando que este carácter está controlado principalmente por efectos aditivos; para diámetro basal dicha relación es casi 1, o sea que depende en igual medida de efectos aditivos y dominantes. El ancho de hoja tiene una relación menor de uno, entonces depende principalmente de efectos no aditivos, igual que el resto de las variables registradas.

**Cuadro 2.** Valores de componentes de varianza en proporción del total, heredabilidad y proporción varianza aditiva / varianza no aditiva. Morelia, Michoacán, 2015.

	A1	D	NH	LH	A2	AH	VV
$\sigma^2_f$	0.139	0.117	0.039	0.035	0.000	0.100	0.059
$\sigma^2_b$	0.026	0.011	0.015	0.066	0.014	0.013	0.000
$\sigma^2_{fb}$	0.094	0.074	0.070	0.267	0.520	0.020	0.138
$\sigma^2_e$	0.741	0.798	0.876	0.631	0.466	0.866	0.803
$h^2_i$	0.570	0.470	0.160	0.150	0.000	0.410	0.230
$\sigma^2_A/\sigma^2_D$	1.710	1.040	0.210	0.260	0.000	0.710	0.370

$\sigma^2_f$ , varianza entre familias;  $\sigma^2_b$ , varianza entre bloques;  $\sigma^2_{fb}$ , varianza de la interacción familias x bloques;  $\sigma^2_e$ , varianza del error;  $h^2_i$ , heredabilidad;  $\sigma^2_A/\sigma^2_D$ , proporción varianza aditiva / varianza no aditiva; A1, altura a 20 dds; D, diámetro basal; NH, número de hojas con collar visible; LH, longitud de hoja; A2, altura a 40 dds; AH, ancho de hoja; VV, vigor visible.

Estos resultados coinciden con Moreno-González (1988), Revilla et al. (1999), Cervantes-Ortiz et al. (2006), Cervantes-Ortiz et al. (2007), Cervantes-Ortiz et al. (2011) en cuanto al predominio de efectos de dominancia. Por el contrario, Esquivel-Esquivel et al.

(2009) estimaron efectos aditivos superiores a los de dominancia para altura de plántula a los tres días después de la emergencia; en el presente estudio predominaron los efectos aditivos en altura de plántula a los 20 dds.

**Cuadro 3.** Análisis de correlación para características de plántula a los 20 y 40 dds en maíz. Morelia, Michoacán, 2015.

	A1	D	NH	LH	A2	AH
D	0.63**					
NH	0.21 *	0.27**				
LH	0.81**	0.61**	0.22 *			
A2	0.66**	0.56**	0.16ns	0.71**		
AH	0.57**	0.71**	0.32**	0.63**	0.49**	
VV	0.61**	0.43**	0.23 *	0.63**	0.53**	0.46**

A1, altura a 20 dds; D, diámetro basal; NH, número de hojas con collar visible; LH, longitud de hoja; A2, altura a 40 dds; AH, ancho de hoja; VV, vigor visible.; \* y \*\*, significancia estadística a nivel 0.05 y 0.01 respectivamente; ns, no significativo.

Las correlaciones entre los caracteres medidos en plántula se presentan en el Cuadro 3, donde se puede apreciar que sólo el número de hojas con collar visible tiene baja asociación con el resto. Las demás correlaciones entre variables son altas y significativas. Esto significa que valores altos en cualquiera de ellas está acompañado por un valor alto en las otras. Se puede hacer selección por altura de plántula a los 20 dds y por diámetro basal a los 40 dds. Estos dos son los caracteres con mayor heredabilidad y con mayor proporción de varianza aditiva, y por lo tanto se puede esperar buena respuesta a la selección, que resulte al mismo tiempo en plántulas con alto vigor visible. Ambos pueden ser útiles para aplicar selección masal visual, que es sencilla y económica y pueden aplicarla los mismos productores. La altura a los 20 dds puede ser la mejor por su mayor proporción de varianza aditiva y

porque permite una más temprana eliminación del resto de plántulas cuando se aplica selección en vivero con fines de ahorro de espacio y costos.

Las correlaciones entre los caracteres de plántula y campo fueron bajas. Aunque los niveles de correlación son bajos, las únicas que fueron significativas a nivel 0.05 fueron: diámetro basal con ancho de hoja (0.19) y área foliar al momento de la floración femenina (0.23); largo de hoja de plántula con número total de hojas (-0.20) y largo de hoja al momento de la floración femenina (0.22); altura de plántula a los 40 dds con longitud de hoja a la floración femenina (0.22); ancho de hoja de plántula con asincronía floral (0.20), ancho de hoja (0.25) y área foliar a la floración femenina (0.19); vigor visible con longitud de hoja a la floración femenina (0.21) y altura de mazorca (0.18). Los resultados coinciden con los de Mock y Bakri (1976),

Mock y Skrdla (1978), Mock y McNeill (1979), Fakorede y Ayoola (1980), Ajala y Fakorede (1988), Revilla *et al.* (1999), Cervantes-Ortiz *et al.* (2013), y solo difieren de Cervantes-Ortiz *et al.* (2014) que reportan correlación

positiva entre vigor inicial y número de hileras de la mazorca, peso y rendimiento de grano. Se confirma que la selección por vigor inicial no producirá cambios en caracteres de planta adulta.

## CONCLUSIONES

Hubo diferencias altamente significativas entre las familias evaluadas para todos los caracteres medidos. Altura de plántula a los 20 dds y diámetro basal a los 40 dds son los más heredables y con predominio de la varianza aditiva sobre la no aditiva. La correlación entre las variables de plántulas fue alta, excepto para el

número de hojas con collar visible. La correlación entre caracteres de plántula y planta adulta fue baja. La selección por vigor inicial podría enfocarse en la altura a los 20 dds, sobre todo si la selección se practica en vivero en espacios reducidos.

## Agradecimientos

A la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el financiamiento. Proyecto: "Programa de maíz y especies forestales para el noreste de Michoacán".

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo E; Hsiao TC; Henderson DW (1971). Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology*. 8:631-636.
- Ajala SO; Fakorede MAB (1988). Inheritance of seedling vigor and its association with mature plant traits in maize populations at two levels of breeding. *Maydica* 33: 121-129.
- Cervantes-Ortiz F; García-De los Santos G; Carballo-Carballo A; Bergvinson D; Crossa JL; Mendoza-Elos M; Moreno-Martínez E (2006). Análisis dialélico para caracteres de vigor de semilla y de plántula en genotipos de maíz tropical. *Agricultura Técnica en México* 32(1): 77-87.
- Cervantes-Ortiz F; García-De los Santos G; Carballo-Carballo A; Bergvinson D; Crossa JL, Mendoza-Elos M; Moreno-Martínez E. (2007). Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41: 425-433.
- Cervantes-Ortiz F; García-De los Santos G; Carballo-Carballo A; Bergvinson D; Crossa JL, Mendoza-Elos M; Andrio-Enríquez E; Rivera-Reyes JG; Moreno-Martínez E (2011). Estimación de efectos genéticos relacionados con el vigor de la semilla y de la plántula en maíces tropicales mexicanos. *IYTON* 80: 19-26.
- Cervantes-Ortiz F; Gamez-Soria JR; Andrio-Enríquez E; Rivera-Reyes JG; Rangel-Lucio JA; Mendoza-Elos M; Cisneros-López HC; López-Romero G (2013). Relación del vigor inicial de plántula con caracteres de planta adulta en maíces criollos mejorados. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*. 1: 14-19.
- Cervantes-Ortiz F; Gasca-Ortiz MT; Andrio-Enríquez E; Mendoza-Elos M; Guevara-Acevedo LP; Vázquez-Moreno F; Rodríguez-Herrera S (2014). Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronómicos y de rendimiento en genotipos de maíz. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 2: 9-16.
- Esquivel-Esquivel G; Castillo-González F; Hernández-Casillas JM; Santacruz-Varela A; García-de los Santos G; Acosta-Gallegos JA; Ramírez-Hernández A (2009). Aptitud combinatoria y heterosis en etapas tempranas del desarrollo del maíz. *Rev Fitotec Mex* 32(4): 311-318.



- Fakorede MAB; Ayoola AO (1980). Relationship between seedling vigor and selection for yield improvement in maize. *Maydica* 25: 135-147.
- Fehr WR (1987). Principles of cultivar development. Vol. I. Theory and technique. The Iowa State University Press. Ames, Io. 520 p.
- García E (1973). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F. México. 264 p.
- Ludlow MM; Muchow RC (1990). A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. In Agronomy* 43: 107-153.
- Márquez-Sánchez F; Sahagún-Castellanos J (1994) Estimation of genetic variances with maternal half-sib families. *Maydica* 39:197-201.
- Márquez-Sánchez F. (1995). Métodos de mejoramiento genético del maíz. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 77 p.
- Mock JJ; Bakri AA (1976). Recurrent selection for cold tolerance in maize. *Crop Science* 16: 230-233.
- Mock JJ; McNeill MJ (1979). Cold tolerance of maize inbred lines adapted to various latitudes in North America. *Crop Science* 19(2): 239-242.
- Mock JJ; Skrdla WH (1978). Evaluation of maize plant introductions for cold tolerance. *Euphytica* 27: 27-32.
- Molatudi RL; Mariga IK (2009). The effect of maize seed size and depth of planting on seedling emergence and seedling vigour. *Journal of Applied Sciences Research* 5(12): 2234-2237.
- Molina-Galán JD (1983) Selección Masal Visual Estratificada en Maíz. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. Pub. Especial. 35 p.
- Molina-Galán JD (1992). Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa (algunas implicaciones en genotecnia). AGT Editor, México. 349 p.
- Moreno-Gonzalez J (1988). Diallel crossing system in sets of flint and dent inbred lines of maize (*Zea mays* L). *Maydica* 33: 37-49.
- Rebetzke GJ; Richards RA; Fischer VM; Mickelson BJ (1999). Breeding long coleoptile, reduced height wheats. *Euphytica* 106: 159-168.
- Revilla P; Butrón A; Malvar RA; Ordás A (1999). Relationships among kernel weight, early vigor and growth in maize. *Crop Science* 39:654-658.
- Reyes CP (1990). Diseño de Experimentos Aplicados. Trillas. México. 344 pp.
- Richards RA; Rebetzke GJ; Condon AG; Van Herwaarden F (2002). Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.* 42:111-121.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2015). Anuario Agropecuario 1980-2009. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> Consulta: junio 24, 2015.
- Solís-Moya E; Rivera-Cortez B; Ramírez-Ramírez A; Suaste-Franco P; De la Cruz-González ML (2013). Vigor inicial en germoplasma de trigo (*Triticum* spp.) para El Bajío, México. [http://www.somas.org.mx/pdf/pdfs\\_libros/agriculturasostenible/6/61/30.pdf](http://www.somas.org.mx/pdf/pdfs_libros/agriculturasostenible/6/61/30.pdf) consultado en junio de 2015.
- Trachsel S; Messmer R; Stamp P; Ruta N; Hund A (2010). QTLs for early vigor of tropical maize. *Mol Breeding* 25:91-103.