

Caracterización de la tolerancia a sequía en soya [*Glycine max.* (L.) Merr.] a través del esquema riego-sequía

Drought tolerance characterization of soybean [*Glycine max.* (L.) Merr.] by the irrigation-drought scheme

García-Rodríguez Julio César¹✉, Nicolás Maldonado-Moreno¹, Guillermo Ascencio-Luciano¹

¹Campo Experimental Las Huastecas-INIFAP. Carretera Tampico-Mante km 55, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas. C.P. 89610. Tel. 01-55-38718700, Ext. 83319.

✉ Autor para correspondencia: garcia.juliocesar@inifap.gob.mx

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue conocer el grado de tolerancia a sequía de diez genotipos intermedios de soya, mediante el esquema riego-sequía. El experimento se llevó a cabo en el Campo Experimental Las Huastecas del INIFAP, localizado en Altamira, Tamaulipas, durante el ciclo otoño-invierno 2012-2013. Se evaluaron dos variedades y ocho líneas avanzadas de soya. Para caracterizar la tolerancia a sequía se calcularon los índices: susceptibilidad al estrés (SSI), índice de tolerancia al estrés (STI), índice de rendimiento (YI), índice de estabilidad del rendimiento (YSI), productividad media geométrica (GMP), tolerancia al estrés (TOL) y productividad media (MP). Hubo diferencias significativas solamente en TOL y MP. Basado en TOL, H98-1021 perdió menos rendimiento al pasar de riego a sequía. En MP destacó H02-1656. Considerando la frecuencia con que un genotipo estuvo dentro del 30 % con los valores más altos en cada índice, H98-1240 sobresalió en seis de los siete índices calculados. Los índices más eficientes en la caracterización fueron ISS, GMP, TOL, STI y YSI, los cuales se proponen para que se utilicen de manera combinada para precisar la caracterización de genotipos de soya tolerantes a sequía.

Palabras clave: *Glycine max* (L.) Merr., índices de tolerancia a sequía, mejoramiento genético.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine degree of drought tolerance of ten intermediate soybean genotypes under drought-irrigation scheme. The experiment was carried out in Las Huastecas Experimental Station of INIFAP, Altamira, Tamaulipas, during fall-winter 2012-2013 cycle. Two varieties and eight advanced lines of soybean were evaluated. In order to characterize drought tolerance were calculated the indices: stress susceptibility index (SSI), stress tolerance index (STI), yield index (YI), yield stability index (YSI), geometric mean productivity (GMP), stress tolerance (TOL) and mean productivity (MP). There were significant differences in TOL and MP only. Based on TOL, H98-1021 lost less yield on drought. About MP, H02-1656 was best. Considering frequency which a genotype was in the 30 % highest values group in each index, H98-1240 excelled in six of the seven indices. The most efficient indices for characterization were ISS, GMP, TOL, STI and YSI, which are proposed to be used in combination in order to accurate the characterization of drought tolerance in soybean genotypes.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merr, drought tolerance indices, plant breeding.

INTRODUCCIÓN

La soya [*Glycine max.* (L.) Merr.] es una leguminosa anual presente en la cadena alimenticia del ser humano desde hace más de cinco mil años, principalmente como producto básico de la dieta asiática, donde tuvo su origen (Zhao y Gai, 2004). Su expansión comercial en México tiene poco más de 40 años (Maldonado *et al.*, 2013) y se produce principalmente en la región sur de Tamaulipas. En el ciclo primavera-verano 2016 se sembraron 100 mil hectáreas, lo que representó más del 50 % del total de la superficie cultivada con soya a nivel nacional (SIAP, 2016). Sin embargo, Maldonado *et al.* (2013) mencionaron que durante el 2011, el rendimiento promedio de la soya en dicha región fue de 0.96 kg ha⁻¹, éste se consideró bajo y fue debido a la sequía que prevaleció durante la etapa reproductiva del cultivo, ya que en años con mayor precipitación y adecuada distribución de las lluvias, el rendimiento promedio regional es superior a 1.5 t ha⁻¹.

Una forma de lograr avances en el mejoramiento genético para resistencia a sequía consiste en seleccionar genotipos que tengan mayor proporción de efectos genéricos y mayor proporción de efectos específicos a sequía (Muñoz, 1992). Es decir, aquéllos sobresalientes en rendimiento sin considerar las condiciones de humedad, y cuya pérdida sea la menor al pasar de la condición de buena humedad a la condición de estrés.

Basados en el principio anterior, se han propuesto diversos índices para caracterizar genotipos tolerantes a sequía (Mitra, 2001; Khalili *et al.*, 2012). Fischer y Maurer (1978) propusieron el índice de susceptibilidad al estrés (SSI); Rosielle y Hamblin (1981) definieron la tolerancia a sequía (TOL) y la productividad media (MP); el índice de tolerancia al estrés (STI)

y la productividad media geométrica (GMP) fueron sugeridos por Fernandez (1992); mientras que el índice de estabilidad del rendimiento (YSI) por Bouslama y Schapaugh (1984) y el índice de rendimiento (YI) por Lin *et al.* (1986). Dichos índices se han aplicado en diversos cultivos como maíz (Jafari *et al.*, 2009; Shahrabian y Soleymani, 2014), frijol (Rosales *et al.*, 2000; López *et al.*, 2008; Acosta *et al.*, 2011; Barrios *et al.*, 2011), trigo (Ghobadi *et al.*, 2012; Elmohsen *et al.* 2015); papa (Morales *et al.*, 2015), cártamo (Zareie *et al.*, 2013), canola (Khalili *et al.*, 2012), entre otros. En soya destacan los trabajos de Bouslama y Schapaugh (1984), Myo (2011) y Kargar *et al.* (2014).

A la fecha son pocos los trabajos relacionados con la selección de genotipos de soya para resistencia a sequía en México, estudios exploratorios han sido reportados por Gill *et al.* (2008) y García (2014), ya que se carece de las metodologías precisas que apoyen el mejoramiento genético para dicha característica. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue conocer el grado de tolerancia a sequía de diez genotipos intermedios de soya mediante el esquema riego-sequía, considerando siete índices reportados en la literatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en el Campo Experimental Las Huastecas del INIFAP, durante el ciclo otoño-invierno. Éste se localiza en el km 55 de la Carretera Tampico-Mante, municipio de Altamira, Tamaulipas, 22° 34' 11.25" N y 98° 10' 13.04" O, y a 50 msnm. La precipitación fue de 20 mm durante el ciclo de evaluación, que abarcó de diciembre de 2012 a abril de 2013. Los promedios de temperaturas máximas y mínimas fueron de 26.8 y 15.2 °C respectivamente.

La siembra se realizó el 26 de diciembre de 2012 bajo el esquema riego-sequía. El diseño experimental fue parcelas divididas con dos repeticiones: las parcelas grandes para los niveles de humedad y las subparcelas para los genotipos. La unidad experimental consistió de dos surcos de 5 m. La distancia entre surcos fue de 0.76 m y la parcela útil de 6.08 m² (2 surcos de 4 m). La densidad de población fue de 250,000 plantas ha⁻¹. Se consideraron dos niveles de humedad: 1) sequía en etapa reproductiva y 2) riego. En el primero se aplicaron cinco riegos por goteo: uno de presiembra y cuatro aproximadamente cada 8 días; a los 30 días después de la siembra se suspendió el riego (Figura 1).

El segundo continuó irrigándose hasta los 100 días después de la siembra. Para el monitoreo de la humedad se colocaron dos

tensiómetros, considerándose la aplicación de los riegos cuando los tensiómetros marcaban 30 cb. El germoplasma utilizado fueron dos variedades generadas por el INIFAP para el trópico húmedo de México y ocho líneas avanzadas del programa de mejoramiento genético de soya del mismo Instituto: Huasteca 200, Huasteca 400, H02-1656, H98-1240, H98-1021, H02-2224, H06-0589, H06-0560, H06-1192 y H06-0698. Dichos genotipos reportan de 50 a 59 días a inicio de floración (R2) durante el ciclo otoño-invierno, considerándose como intermedios.

Se midió el rendimiento de grano en kg ha⁻¹ y al 14 % de humedad, con el cual se calcularon los índices de la Tabla 1.

Índice	Fórmula	Autor
Índice de susceptibilidad al estrés (SSI)	$SSI = [1 - (Y_s / Y_p)] / (1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)]$	Fischer y Maurer (1978)
Índice de tolerancia al estrés (STI)	$STI = [(Y_s) (Y_p)] / (\bar{Y}_p)^2$	Fernandez (1992)
Índice de rendimiento (YI)	$YI = Y_s / \bar{Y}_s$	Lin <i>et al.</i> (1986)
Índice de estabilidad del rendimiento (YSI)	$YSI = Y_s / Y_p$	Bousslama y Schapaugh (1984)
Productividad media geométrica (GMP)	$GMP = \sqrt{[(Y_s) (Y_p)]}$	Fernandez (1992)
Tolerancia al estrés (TOL)	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle y Hamblin (1981)
Productividad media (MP)	$MP = (Y_s + Y_p) / 2$	Rosielle y Hamblin (1981)

Y_p = Rendimiento de un genotipo en ambiente sin estrés; Y_s = Rendimiento de un genotipo en ambiente de estrés por sequía; \bar{Y}_p = Rendimiento promedio de todos los genotipos en ambiente sin estrés; y \bar{Y}_s = Rendimiento promedio de todos los genotipos en ambiente de estrés por sequía.

Se realizó un análisis de varianza y para la comparación de medias se usó la prueba de Tukey. Para conocer con mayor precisión los genotipos con características de tolerancia a sequía, en cada índice se seleccionaron los tres (30 %) que registraron los valores más altos, para luego conocer la frecuencia con que un genotipo formó parte de ese grupo. Finalmente se determinó el coeficiente de correlación de Pearson entre los índices evaluados y el rendimiento de los genotipos, tanto en condiciones de sequía como de riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del genotipo sobre el rendimiento en condiciones de riego y sequía, e índices de tolerancia

De acuerdo con los resultados del análisis de

FV	G								GM	TO	MP
	L	Y _p	Y _s	SSI	STI	YI	YSI	P			
Re		16	61	0.1	0.0	0.1	0.0	531	20	39	
p	1	20	38	0	5*	3	2	13*	31	42	
		6	9						7	7*	
Ge	9	12	12	0.1	0.0	0.0	0.0	185	16	31	
		64	74						4	2	3
Er	9	**	7	0.0	0.0	0.0	0.0	663	*	4*	
		14	15						27		
ro	8	68	30	6	09	3	1	0	90	62	
		8	9						7	51	
CV	-	9.2	18.	25.	17.	18.	22.	8.8	26.	8.0	
			4	3	8	2	3		1		

varianza (Tabla 2), los genotipos registraron rendimientos diferentes bajo condiciones de riego ($Pr > F = 0.0029$), mientras que en sequía no hubo diferencias estadísticas. Con respecto a los índices calculados, TOL ($Pr > F = 0.0109$) y MP ($Pr > F = 0.0170$) fueron los que mostraron diferencias entre genotipos.

Tabla 2. Análisis de variación del rendimiento en riego y sequía, y siete índices de tolerancia a sequía en diez genotipos intermedios de soya en Altamira, Tamaulipas.

**, * Significancia al 1 y al 5 % respectivamente; FV = Factor de variación; GL = Grados de libertad; Rep = Repetición; Gen = Genotipo; CV = Coeficiente de variación; Y_p = Rendimiento en riego; Y_s = Rendimiento en sequía; SSI = Índice de susceptibilidad al estrés; STI = Índice de tolerancia al estrés; YI = Índice de rendimiento; YSI = Índice de estabilidad del rendimiento; GMP = Productividad media geométrica; TOL = Tolerancia al estrés; MP = Productividad media.

Índices de tolerancia a sequía en diez genotipos intermedios de soya

Considerando los índices que mostraron diferencia estadística y de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), nueve genotipos formaron parte del grupo superior para TOL (Tabla 3). Éste índice muestra la diferencia en rendimiento de un genotipo en riego y sequía (Rosielle y Hamblin, 1981), por lo tanto, valores elevados de TOL indican mayor sensibilidad al estrés y viceversa (Golabadi *et al.*, 2006). En este caso, se observó que H98-1021 perdió menos rendimiento al pasar de la condición de riego a la de sequía (287 kg ha⁻¹), aunque fue el que registró menor rendimiento en la primera (983 kg ha⁻¹) (Tabla 3). Lo anterior indicó que TOL difícilmente logra discriminar genotipos con buen desempeño agronómico en las dos condiciones de humedad, de acuerdo con lo reportado por Golabadi *et al.* (2006) y Jafari *et al.* (2009).

Tabla 3. Rendimiento de diez genotipos intermedios de soya en condiciones de riego

y sequía, e índices de tolerancia al estrés en Altamira, Tamaulipas.

Genotipo	Yp (kg ha ⁻¹)	Ys (kg ha ⁻¹)	SS l	ST l	YI	YS l	G M P	TO L	MP
H02-1656	1880 a	681a	1. 34	0. 79	1. 01	0. 36	11 32	11 98	128 1a
Huasteca 200	1429 abc	649a	1. 27	0. 49	0. 96	0. 39	89 8a	86 5a	997 ab
H98-1240	1314 bc	799a	0. 80	0. 63	1. 19	0. 61	10 19	51 5a	105 7ab
H98-1021	983c	695a	0. 59	0. 41	1. 04	0. 72	82 3a	28 7a	839 b
Huasteca 400	1260 bc	719a	0. 90	0. 55	1. 07	0. 57	94 6a	54 1a	989 ab
H02-2224	1312 bc	510a	1. 28	0. 41	0. 76	0. 39	81 6a	80 1a	911 b
H06-0589	1116 bc	657a	0. 87	0. 46	0. 98	0. 58	85 6a	45 8a	886 b
H06-0560	1523 ab	577a	1. 30	0. 54	0. 86	0. 38	93 7a	94 5a	105 0ab
H06-1192	1142 bc	710a	0. 80	0. 50	1. 06	0. 62	89 6a	43 1a	926 b
H06-0698	1170 bc	703a	0. 84	0. 50	1. 05	0. 60	90 6a	46 6a	936 ab

Valores con la misma letra entre genotipos no son diferentes; Yp = Rendimiento en riego; Ys = Rendimiento en sequía; SSI = Índice de susceptibilidad al estrés; STI = Índice de tolerancia al estrés; YI = Índice de rendimiento; YSI = Índice de estabilidad del rendimiento; GMP = Productividad media geométrica; TOL = Tolerancia al estrés; MP = Productividad media.

En MP, promedio del rendimiento sin considerar los niveles de humedad (Rosielle y Hamblin, 1981), destacó H02-1656 con un valor de 1281 kg ha⁻¹ (Tabla 3), pero obtuvo un valor alto de TOL (1198 kg ha⁻¹) y de SSI (1.34), mostrando bajo potencial de rendimiento en la condición de estrés.

Guttieri et al. (2011) mencionaron que valores de SSI arriba de 1 son indicador de alta susceptibilidad a sequía. Por lo tanto, se consideraron como genotipos menos susceptibles en orden progresivo a H98-1021 (0.59), H98-1240 (0.80) y H98-1192 (0.80) (Tabla 3).

Resultados similares reportaron Kargar et al. (2014) con el cultivar L4 de soya, ya que obtuvo el valor más alto de MP, pero también los valores más altos de TOL y SSI. En contraste, Myo (2011) encontró que el genotipo SJ-4 alcanzó la más alta MP y obtuvo valores bajos de TOL y SSI (0.34), resultado un buen índice para seleccionar por tolerancia a sequía en su estudio.

En relación con STI, los valores mayores fueron para H02-1656 (0.79), H98-1240 (0.63) y Huasteca 400 (0.55), misma tendencia que se detectó con GMP, en donde los mismos genotipos alcanzaron 1132, 1019 y 946 kg ha⁻¹ respectivamente (Tabla 3). Akçura et al. (2011) mencionaron que genotipos con altos STI generalmente tienen altos valores de GMP y de MP, sugiriendo que estos tres índices sirven para seleccionar genotipos con el mismo comportamiento.

Considerando a YI, los genotipos H98-1240, Huasteca 400 y H06-1192 destacaron por registrar los valores más altos: 1.19, 1.07, 1.06 respectivamente; mientras que en YSI, H98-1021, H06-1192 y H98-1240 estuvieron por arriba del grupo con 0.72, 0.62 y 0.61 respectivamente (Tabla 3). De acuerdo con El-mohsen et al. (2015), los genotipos con valores mayores de YI y YSI pueden seleccionarse como tolerantes a estrés por sequía.

Una vez que se seleccionó el 30 % de los genotipos sobresalientes en cada índice, se observó que H98-1240 estuvo dentro del grupo en seis de los siete índices calculados (Tabla 4), caracterizándose como el más tolerante porque consiguió la mayor frecuencia. Obtuvo buen rendimiento sin considerar los niveles de humedad y lo

disminuyó menos al pasar de riego a sequía. Esto fue confirmado por García (2014), ya que dicho genotipo también resultó el más resistente en un estudio previo donde se aplicó el modelo dos de resistencia a sequía propuesto por Muñoz (1997).

Tabla 4. Genotipos más tolerantes a sequía según los índices utilizados y frecuencia de

Genotipo	S SI	S TI	Y I	Y SI	G MP	T OL	M P	Frecuencia
H98-1021	*			*		*		3
H98-1240	*	*	*	*	*		*	6
H98-1192	*		*	*		*		4
H02-1656		*			*		*	3
Huasteca 400		*	*		*			3
H06-0589						*		1
H06-0560							*	1

aparición en el grupo sobresaliente.

SSI = Índice de susceptibilidad al estrés; STI = Índice de tolerancia al estrés; YI = Índice de rendimiento; YSI = Índice de estabilidad del rendimiento; GMP = Productividad media geométrica; TOL = Tolerancia al estrés; MP = Productividad media.

Como lo definió Muñoz (1992), un genotipo resistente a sequía es aquel que presenta mayor proporción de efectos genéticos genéricos y específicos al estrés. Por lo tanto, como estrategia para ser más preciso en la selección, se propone no utilizar un sólo índice, sino aplicarlos de manera combinada. Por ejemplo, primero seleccionar de un 20 a 30 % de los genotipos con un índice que determine alto potencial de rendimiento en las dos condiciones de humedad (efectos genéricos) y

posteriormente con otro índice que calcule la susceptibilidad al estrés (efectos específicos a sequía).

Análisis de correlación entre los índices de tolerancia a sequía y el rendimiento en ambas condiciones de humedad

En función del índice de correlación de Pearson (Tabla 5), Yp no se asoció con Ys, es decir, el desempeño agronómico de los genotipos en cada condición de humedad fue independiente. Un efecto contrario sucedió en trigo, donde El-Mohsen et al. (2015) reportaron correlación positiva significativa ($r = 0.98^{**}$) de Yp con Ys, indicando que un buen rendimiento en condiciones óptimas de humedad, necesariamente implica aumento del rendimiento en condiciones de sequía.

Tabla 5. Índice de correlación de Pearson entre el rendimiento de los genotipos evaluados, tanto en riego como en sequía, y los índices de tolerancia a sequía calculados.

Índice	Yp	Ys	ISS	GP M	TO L	STI	MP	YI	YSI
Yp	1								
Ys	0.08	1							
ISS	0.68 ^{**}	0.76 ^{**}	1						
GP M	0.69 ^{**}	0.65 ^{**}	0.02	1					
TO L	0.90 ^{**}	0.50 [*]	0.92 ^{**}	0.32	1				
STI	0.72 ^{**}	0.62 ^{**}	0.01	0.99 ^{**}	0.35	1			
MP	0.88 ^{**}	0.37	0.28	0.94 ^{**}	0.60 ^{**}	0.95 ^{**}	1		
YI	0.08	0.99 ^{**}	0.76 ^{**}	0.64 ^{**}	0.50 [*]	0.62 ^{**}	0.37	1	
YSI	0.68 ^{**}	0.76 ^{**}	0.99 ^{**}	0.02	0.92 ^{**}	0.03	0.28	0.76 ^{**}	1

*, ** Significancia al 5 % y 1 % respectivamente; Yp = Rendimiento en riego; Ys = Rendimiento en sequía; SSI =

Índice de susceptibilidad al estrés; STI = Índice de tolerancia al estrés; YI = Índice de rendimiento; YSI = Índice de estabilidad del rendimiento; GMP = Productividad media geométrica; TOL = Tolerancia al estrés; MP = Productividad media.

Los índices que se relacionaron positiva y significativamente con Yp fueron ISS, GMP, TOL, STI y MP, mientras que con YSI se correlacionó negativamente (Tabla 5), ya que éste representa la proporción del rendimiento en sequía entre el rendimiento bajo riego (Bouslama y Schapaugh, 1984). Los resultados anteriores infieren que los genotipos más rendidores en riego, fueron los más susceptibles y menos tolerantes a la sequía; el rendimiento obtenido en riego contribuyó a mejorar la productividad media (sin separar los efectos de las condiciones de humedad) de cada genotipo, pero incrementó la inestabilidad de ésta al pasar de riego a sequía. Otros estudios con soya determinaron correlación positiva de Yp con MP utilizando el método biplot (Kargar *et al.*, 2014). Golabadi *et al.* (2006) además lo correlacionaron con GMP y STI, y Talebi *et al.* (2009) con ISS, ambos trabajos en trigo duro. Por otro lado, El-mohsen *et al.* (2015) no detectaron asociación entre Yp y YSI.

Por otra parte, los índices que se asociaron positivamente con Ys fueron GMP, STI, YI y YSI, mientras que SSI y TOL lo hicieron de manera negativa (Tabla 5). Es decir, el rendimiento de los genotipos en la condición de estrés contribuyó a que éste fuera más estable, presentando menor susceptibilidad y mayor tolerancia a la sequía. Shiri y Akhavan (2005) también encontraron asociación negativa de Ys con SSI y TOL, al aplicar los índices con híbridos de maíz.

En trigo, El-mohsen *et al.* (2015) observaron correlaciones significativas de Ys con STI, MP, GMP y YI, pero no se relacionaron con TOL, SSI y YSI, infiriendo que los últimos no fueron eficientes para seleccionar

genotipos tolerantes a sequía. Según Golabadi *et al.* (2006), el mejor criterio de selección debería distinguir genotipos que expresen un desempeño agronómico superior y uniforme, tanto en ambientes de humedad adecuada como en ambientes de estrés por sequía. En este caso, los índices que se relacionaron significativamente con Yp y Ys fueron ISS, GMP, TOL, STI y YSI (Tabla 5), mostrándolos como los más eficientes en la caracterización para tolerancia a sequía. Se observó fuerte correlación entre SSI y TOL, GMP y STI, GMP y MP, STI y MP, indicando que son índices que prácticamente miden el mismo efecto. SSI y TOL infieren el grado de susceptibilidad a la sequía y MP, GMP y STI el potencial de rendimiento sin considerar los niveles de humedad.

CONCLUSIONES

Los índices empleados permitieron conocer el grado de tolerancia a sequía de los genotipos evaluados. Basado en TOL, H98-1021 perdió menos rendimiento al pasar de riego a la condición de estrés, y en MP destacó H02-1656, aunque no mostraron mayor proporción de los dos efectos: genéricos y específicos a sequía. Considerando la frecuencia con que un genotipo estuvo dentro del 30 % con los valores más altos en cada índice, H98-1240 sobresalió en seis de los siete índices calculados, perfilándolo como el genotipo con mayor tolerancia a sequía. Los índices más eficientes en la caracterización fueron ISS, GMP, TOL, STI y YSI, y pueden utilizarse de manera combinada para discriminar con más precisión genotipos de soya tolerantes a sequía durante la etapa reproductiva. Estos resultados reforzarán las metodologías para conferir tolerancia a sequía en genotipos nacionales de soya, misma que a la fecha se ha explorado poco.

LITERATURA CITADA

- Acosta D., E., Hernández T. I., Rodríguez G. R., Pedroza F. J., Amador R. M. D. y Padilla R. J. S. 2011. Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(2): 249-263.
- Akçura, M., Partigoç, F. & Kaya, Y. 2011. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in Turkish bread wheat landraces. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 21 (4): 700–709.
- Barrios G., E. J., López C. C., Kohashi S. J., Acosta G. J. A., Miranda C. S. y Mayek P. N. 2011. Avances en el mejoramiento genético del frijol en México por tolerancia a temperatura alta ya sequía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(4): 247-255. <https://doi.org/10.35196/rfm.2011.4.247>
- Bousslama, M. & Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought Tolerance. *Crop Science*, 24(83): 933-937. <https://doi.org/10.15192/PSCP.AA>
- El-mohsen A., A. A., M. A. Abd El-Shafi, E. M. S. Gheith & H. S. Suleiman. 2015. Using different statistical procedures for evaluating drought tolerance indices of bread wheat genotypes. *Advance in Agriculture and Biology*, 4 (1): 19-30. <https://doi.org/10.1071/AR9780897>
- Fernandez G., C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: *Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress*. pp. 257-270.
- Fischer R., A. & Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Crop and Pasture Science*, 29(5): 897-912.
- García R., J. C. (2014). Resistencia a factores abióticos en soya: sequía, exceso de humedad y calor. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Texcoco, Edo. de México. 121 p.
- Ghobadi, M., M-E Gobadi, D. Kahrizi, A. Zebarjadi & M. Geravandi. 2012. Evaluation of drought tolerance indices in dryland bread wheat genotypes under post-anthesis drought stress. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 6(7): 1257–1261.
- Gill L., H. R., N. Maldonado M., V. Pecina Q. y N. Mayek P. 2008. Reacción de germoplasma mejorado de soya [*Glycine max* (L.) Merr.] a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) goidanich y déficit hídrico. *Rev. Mex. Fitopatol.*, 26: 105-113.
- Golabadi, M., Arzani A. & Maibody M. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *African Journal of Agricultural Research*, 1(5): 162–171.
- Guttieri M., J., Stark, J. C., Brien, K., & Souza, E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Sci.* 41: 327-335. <https://doi.org/10.2135/cropsci2001>
- Hufstetler, E. V., H. Roger B., T. E. Carter Jr., and H. J. Earl. 2007. Genotypic variation for three physiological traits affecting drought tolerance in soybean. *Crop Sci.* 47: 25–35. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.0>
- Jafari, A., Paknejad F. & Al-Ahmadi M. J. 2009. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Int. J. Plant Prod*, 3(4): 33-38.
- Kargar, S. M., A. Moustafaie, E. M. Ervan & S.S. Pouredad. 2014. Evaluation of soybean genotypes using drought stress tolerant indices. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 5(2): 103–112.
- Khalili, M., M. R. Naghavi, A. P. Aboughadareh & S. J. Talebzadeh. 2012. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science*, 4(11): 78–85. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n11p78>
- Lin C., S., Binns M. R. & Lefkovitch L. P. 1986. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science*, 26(5): 894–900. <https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0>
- López S., E., Valle Ó. H. T., Acosta F. J. U. y Gallegos J. A. A. 2008. Rendimiento y

- tolerancia a sequía de genotipos de frijol negro en el estado de Veracruz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3): 35-39.
- Maldonado M., N., G. Ascencio L., G. Espinosa V., y M. de los A. Peña del R. 2013. Estrategias tecnológicas para contrarrestar la sequía en la producción de soya en el sur de Tamaulipas. INIFAP. México. 65 p.
- Mitra, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. *Current Science*, 80(6): 758–763.
- Morales R., A., Tejón A. M. y del Sol D. R. 2015. Índices agronómicos para determinar tolerancia a sequía en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) *Agrisost*, 22(1):1-8.
- Muñoz O., A. 1992. Modelo uno o de interacción genotipo por niveles de sequía y resistencia a factores adversos. In: Memoria del Simposio Interacción Genotipo-Ambiente en Genotecnia Vegetal. 22-27 de marzo. Sociedad Mexicana de Fitogenética, Guadalajara, Jalisco, México. pp. 261-266.
- Muñoz O., A. 1997. Model 2 to select for drought tolerance. In: Edmeades, G. O, M. Bänzinger, H. R. Mickelson, and C. B. Peña V. (eds). Developing drought - and low N - tolerant maize. Proceedings of a symposium. CIMMYT. México, D. F. pp. 541-543.
- Myo T., A. M. 2011. Physiological responses of selected soybean cultivars [*Glycine max* (L.) Merrill] under different water regimes. Ph. D. Thesis. Kasetsart University. Thailand. 157 p.
- Rosales S., R., Kohashi S. J., Acosta G. J. A., Trejo L. C., Ortiz C. J., Castillo G. F. y Kelly J. D. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia*, 34: 153-165.
- Rosielle A., A. & Hamblin J. 1980. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21: 943-946.
- <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183>
- Seversike, T. M. 2011. Drought tolerance mechanisms in cultivated and wild soybean species. Ph. D. Thesis. North Carolina State University. Raleigh, North Carolina. 102 p.
- Shahrabian, E. & Soleymani, A., 2014. Drought stress indices in some silage maize cultivars. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 8(3): 279–283.
- Shiri M., R., Akhavan K., Ganjeh R., Esmaili V., Juhari A., Badali B. A. & Chugan R. 2005. Effect of water deficit stress on yield in late maturity seed corn hybrids. Final Report of Research, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. Registration (86/1073).
- SIAP, 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. consultado el 15 de octubre [<http://www.siap.gob.mx/avance-de-siembras-y-cosechas-por-cultivo/>]
- Talebi, R., Fayaz F. & Naji A. M. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *General and applied plant physiology*, 35(1/2): 64-74.
- Xoconostle C., B., F. A. Ramírez O., L. Flores E., and R. Ruíz M. 2011. Drought tolerance in crop plants. *Am. J. Plant Physiol.*, 10: 1-16.
- Zareie, S., Mohammadi-Nejad G. & Sardouie-Nasab S. 2013. Screening of iranian safflower genotypes under water deficit and normal conditions using tolerance indices. *Australian Journal of Crop Science*, 7(7): 1032–1037.
- Zhao T., J., and J. Y. Gai. 2004. The origin and evolution of cultivated soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Sci. Agric. Sinica*, 37: 954-962.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de la licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)