

## **Resistencia a sequía en genotipos de soya considerando caracteres morfológicos, fisiológicos y agronómicos\***

### **Resistance to drought in soybean genotypes considering morphological, physiological and agronomic characters**

**Julio César García Rodríguez<sup>1§</sup>, Abel Muñoz Orozco<sup>2</sup>, Nicolás Maldonado Moreno<sup>1</sup>, Serafín Cruz Izquierdo<sup>2</sup> y Guillermo Ascencio Luciano<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Campo Experimental Las Huastecas-INIFAP. Carretera Tampico-Mante, km 55. Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas. CP. 89610. Tel. (01) 800 0882222, ext. 83319 y (01) 55 38718700. <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Carretera México-Texcoco, km 36.5. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. CP. 56230. Tel. (01) 595 9520200, ext. 1559. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: [garcia.juliocesar@inifap.gob.mx](mailto:garcia.juliocesar@inifap.gob.mx).

#### **Resumen**

Para caracterizar la resistencia a sequía en 25 genotipos de soya considerando el rendimiento, sus componentes y otras características morfológicas y fisiológicas, se estableció un ensayo durante el ciclo otoño-invierno 2012-2013 en Altamira, Tamaulipas. Se compararon dos niveles de sequía: con y sin sequía; las deficiencias de humedad se aplicaron durante la etapa reproductiva del cultivo. El diseño experimental fue parcelas divididas con dos repeticiones, las parcelas grandes para los niveles de sequía y las subparcelas para los genotipos. Se registraron 12 variables relacionadas con la humedad del suelo y el comportamiento fenológico, morfológico, fisiológico y agronómico de las plantas. La respuesta al estrés se evaluó con el modelo 2 de resistencia a sequía, que separa los efectos clasificando grupos de precocidad. Los genotipos presentaron respuestas diferentes para la sequía. La sequía afectó significativamente el índice de clorofila, la conductancia estomática, las vainas  $m^{-1}$  y el peso de 100 semillas, que en conjunto disminuyeron el rendimiento. El decremento del rendimiento fue más intenso en genotipos tardíos. Los genotipos más resistentes a sequía fueron H02-2295, H98-1240 y H10-0556.

#### **Abstract**

To characterize the resistance to drought in 25 soybean genotypes considering the yield, its components and other morphological and physiological characteristics, a test was established during the autumn-winter cycle 2012-2013 in Altamira, Tamaulipas. Two drought levels were compared: with and without drought; the moisture deficiencies were applied during the reproductive stage of the crop. The experimental design was divided plots with two replicates, large plots for drought levels and subplots for genotypes. There were 12 related variables with soil moisture and the phenological behavior, morphological, physiological and agronomic of plants. The stress response was evaluated using the drought resistance model 2, which separates the effects by classifying precocity groups. The genotypes presented different responses to face the drought. The drought significantly affects the rate of chlorophyll, stomatal conductance, pods  $m^{-1}$  and 100 seed weight, which together decreased performance. The decreased yield was more intense in late genotypes. The most resistant genotypes to drought according to the model used were H02-2295, H98-1240 and H10-0556.

\* Recibido: enero de 2017  
Aceptado: marzo de 2017

**Palabras clave:** *Glycine max* L. (Merr.), caracterización fenotípica, modelo 2 de resistencia a sequía, rendimiento y sus componentes.

La soya se cultiva principalmente en Norteamérica, Sudamérica y Asia; Estados Unidos y Brasil son los países más productores y exportadores (Kumudini, 2010). En México, la producción se concentra localizada en el sur de Tamaulipas con un rendimiento promedio superior a 1.5 t ha<sup>-1</sup>. No obstante, Maldonado *et al.* (2013) mencionaron que durante el año 2011, el rendimiento promedio fue de 0.96 t ha<sup>-1</sup> muy por debajo a lo antes mencionado, debido a la sequía que prevaleció durante la etapa reproductiva del cultivo. Ya que según Liu *et al.* (2003) la floración, formación de vainas y llenado de grano, son las fases más susceptibles a este factor adverso.

La sequía es la principal limitante en la producción de alimentos a nivel mundial, por lo que la resistencia a este factor se ha estudiado ampliamente en diferentes cultivos. Muñoz (1992) consignó que la resistencia a sequía es la capacidad de la planta para acumular energía en contra del factor adverso, la cual puede ser medida mediante el modelo 1, que establece que la resistencia está en función de los efectos genéricos estimados por la componente G (genotipo) y los efectos específicos a sequía estimados por la componente G\*S (genotipo\*sequía).

Por lo tanto, las variedades más resistentes serán las que posean mayor proporción de los dos. Posteriormente se estableció el modelo 2 (Muñoz, 1997), considerando que la resistencia a sequía no es constante a través del ciclo de la planta, ya que si se siembran en determinada fecha genotipos precoces, intermedios y tardíos, y ocurre una sequía cuando la variedad precoz está floreciendo, su respuesta no será comparable con la intermedia o con la tardía, porque el fenómeno no incidió en el mismo desarrollo ontogenético.

En México, Gill *et al.* (2008) identificaron bajo condiciones de invernadero genotipos de soya para derivar líneas con características de resistencia combinada: a déficit hídrico y a *Macrophomina phaseolina*. Sin embargo, la selección de genotipos resistentes a sequía bajo condiciones de campo no se ha explorado. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue caracterizar la resistencia a sequía

**Keywords:** *Glycine max* L. (Merr.), phenotypic characterization, yield and its components, model 2 drought resistance.

The soybeans are grown mainly in North America, South America and Asia; The United States of America and Brazil are the most producing and exporting countries (Kumudini, 2010). In Mexico, production is concentrated in the south of Tamaulipas with an average yield above 1.5 t ha<sup>-1</sup>. However, Maldonado *et al.* (2013) mentioned that during 2011, the average yield was 0.96 t ha<sup>-1</sup> due to the drought that prevailed during the reproductive stage of the crop. Since according to Liu *et al.* (2003) Liu *et al.* (2003), flowering, pod formation and grain filling are the most susceptible phases of this adverse factor.

The drought is the main limitation in food production worldwide, so resistance to this factor has been studied extensively in different crops. Muñoz (1992) stated that drought resistance is the ability of the plant to accumulate energy against the adverse factor, which can be measured by model 1, which states that the resistance is a function of the generic effects estimated by the component G (genotype) and the specific effects to drought estimated by the G\*S component (genotype\*drought).

Therefore, the most resistant varieties will be those with the highest proportion of the two. The model 2 was then established (Muñoz, 1997), considering that resistance to drought is not constant throughout the plant cycle, since if early, intermediate and late genotypes are sown at a given date, a drought occurs when Precocious variety is flourishing, its response will not be comparable with the intermediate or the late, because the phenomenon did not affect the same ontogenetic development.

In Mexico, Gill *et al.* (2008) identified under greenhouse conditions soybean genotypes to derive lines with combined resistance characteristics: a water deficit and *Macrophomina phaseolina*. However, the selection of drought resistant genotypes under field conditions has not been explored. Therefore, the objective of this research was to characterize the resistance to drought in 25 national soybean genotypes, considering the yield, its components and other morphological and physiological characteristics.

en 25 genotipos nacionales de soya, considerando el rendimiento, sus componentes y otras características morfológicas y fisiológicas.

El experimento se estableció en Altamira, Tamaulipas. La precipitación fue de 20 mm durante el ciclo de evaluación: diciembre de 2012 a abril de 2013. Los promedios de temperaturas máximas y mínimas fueron de 26.8 y 15.2 °C respectivamente. Se utilizó un diseño experimental en parcelas divididas con dos repeticiones (Sloane *et al.*, 1990). Correspondió a las parcelas grandes los niveles de sequía y a las subparcelas los genotipos. La unidad experimental fue de dos surcos de 5 m. El germoplasma utilizado fueron cuatro variedades generadas por el INIFAP para el trópico húmedo de México y 21 líneas avanzadas del programa de mejoramiento genético de soya del mismo instituto.

Se compararon dos niveles de sequía: sin sequía (S0) y con sequía (S1). En S1 se aplicaron cinco riegos por goteo; a los 30 días después de la siembra (DDS) se suspendió el riego (inicio del periodo reproductivo). En S0 continuó irrigándose hasta los 100 DDS. En cada unidad experimental se midió el contenido volumétrico del agua (CVA) a los 60 DDS y se expresó en %. También se registraron días a floración completa (DR2) y a inicio de madurez fisiológica (DR7); altura de planta a floración completa (AR2) y a inicio de madurez fisiológica (AR7); índice de clorofila (CL90) y conductancia estomática (CE90), ambos a los 90 DDS; plantas cosechadas (PLC); plantas (PxM) y vainas m<sup>-1</sup> (VxM); peso de 100 semillas (P100S) y rendimiento (REND). Cabe señalar que CL90 y CE90 se midieron sólo en los genotipos intermedios y tardíos, ya que a los 90 DDS los precoces presentaban marchitez total o senescencia de hojas; PxM y VxM no se contabilizaron en el grupo de los tardíos.

La respuesta al estrés se evaluó con el modelo 2 de resistencia a sequía (Muñoz, 1997):  $Y = R_O + R_F + R_O * R_F$ , donde Y representa la variación total, R<sub>O</sub> la variación de la resistencia a través de las etapas ontogénicas, R<sub>F</sub> la variación de la resistencia a través de los grupos de precocidad y R<sub>O</sub>\*R<sub>F</sub> es la interacción. Primero se agruparon los genotipos en precoces (menos de 50 DR2), intermedios (de 50 a 59 DR2) y tardíos (más de 59 DR2), posteriormente se aplicó el modelo 1 (Muñoz, 1992). Para conocer el efecto de S y de G se efectuaron análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey. Para los efectos específicos a sequía, se graficaron las interacciones del REND en los tres genotipos con mayor proporción de efectos genéricos, de acuerdo con el método de Muñoz (1974).

The experiment was established in Altamira, Tamaulipas. The precipitation was 20 mm during the evaluation cycle: December 2012 To April 2013. The averages of maximum and minimum temperatures were 26.8 and 15.2 °C respectively. An experimental design was used with two replications divided (Sloane *et al.*, 1990) plots. The drought levels corresponded to the large plots and to the subplots the genotypes. The experimental unit was two rows of 5 m. The germplasm used were four varieties generated by INIFAP for the humid tropics of Mexico and 21 advanced lines of the soybean breeding program of the same Institute.

Two drought levels were compared: without drought (S0) and with drought (S1). In S1 five drip irrigations were applied at 30 days after sowing (DDS), irrigation was suspended (beginning of the reproductive period). In S0 it continued to be irrigated to 100 DDS. In each experimental unit, the volumetric water content (CVA) was measured at 60 DDS and expressed in%. Full bloom (DR2) and physiological maturity (DR7) days were also recorded; height of plant to full bloom (AR2) and beginning of physiological maturity (AR7); chlorophyll index (CL90) and stomatal conductance (CE90), both at 90 DDS; harvested plants (PLC); plants (PxM) and pods m<sup>-1</sup> (VxM); weight of 100 seeds (P100S) and yield (REND). It should be noted that CL90 and CE90 were measured only in the intermediate and late genotypes, since at 90 DDS the precocious had total wilt or leaf senescence; PxM and VxM were not counted in the late group.

The stress response was evaluated with model 2 drought resistance (Muñoz, 1997):  $Y = R_O + R_F + R_O * R_F$ , where Y represents the total variation, R<sub>O</sub> the change in resistance through the ontogenic stages, R<sub>F</sub> the resistance variation through precocity groups and R<sub>O</sub>\*R<sub>F</sub> is the interaction. First genotypes were grouped into early (less than 50 DR2), intermediate (50-59 DR2) and late (over 59 DR2) genotypes, then model 1 was applied (Muñoz, 1992). In order to know the effect of S and G, analysis of variance and Tukey's mean comparison test were performed. For specific drought effects, REND interactions were plotted in the three genotypes with the highest proportion of generic effects, according to the method Muñoz (1974).

The differences humidity at 60 DDS is only presented between levels of S and were highly significant ( $p \leq 0.01$ ): in S0 the CVA averaged 49.9% and S1 29.6%. In contrast, the CVA between the experimental units assigned to the genotypes was not significant.

Las diferencias de humedad a los 60 DDS sólo se presentaron entre niveles de S y fueron altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ): el CVA en S0 promedió 49.9% y en S1 29.6%. En contraste, el CVA entre las unidades experimentales asignadas a los genotipos no resultó de manera significativa.

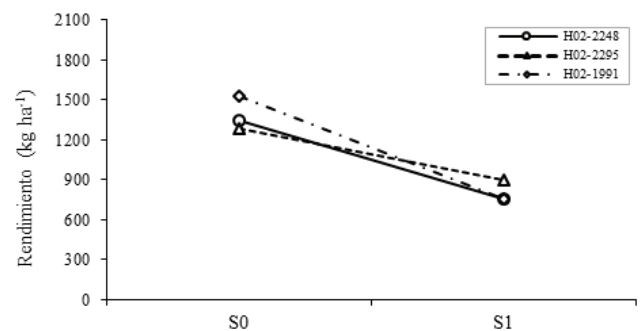
El efecto de S en los genotipos precoces registró diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en cuatro de las siete variables evaluadas: S1 redujo en 41.5% el REND, como producto de la disminución de PLC, VxM y P100S. En concordancia, Desclaux *et al.* (2000) indicaron que el número de vainas por unidad de materia seca vegetativa fue afectado significativamente por la sequía, además señalaron que el estrés en fase temprana del llenado de grano redujo el número de semillas planta<sup>-1</sup>, mientras que el estrés en fase tardía provocó decremento en el peso del grano.

En cuanto al efecto de G, las diferencias fueron altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para AR2, AR7 y PLC, y significativas ( $p \leq 0.05$ ) para VxM y P100S, aunque en VxM la prueba de Tukey no separó grupos. El genotipo H02-1991 alcanzó el mayor REND que fue de 1 145.2 kg ha<sup>-1</sup>, pero no fue estadísticamente diferente a los otros. La Figura 1 muestra la interacción S\*G, reflejando los efectos específicos a sequía de los genotipos precoces seleccionados por mayor proporción de efectos genéricos en REND. Según el modelo 1 para evaluar resistencia a sequía (Muñoz, 1992), H02-2295 fue el genotipo que disminuyó menos su REND al pasar de S0 a S1, por lo que se infiere que posee mayor proporción de efectos genéticos específicos a sequía, que permite mayor estabilidad con o sin déficit de humedad.

Entre niveles de S en los genotipos intermedios, las diferencias en CL90, CE90, VxM, P100S y REND fueron altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ). Los caracteres que mostraron reducciones más perceptibles por efecto de S1 fueron VxM, CL90, P100S y CE90, disminuyendo así el REND en un 48.7%. Estudios de Makbul *et al.* (2011) determinaron que el contenido de clorofila y la conductancia estomática se redujeron en un 42% en soya estresada por sequía. Mientras tanto, Sadeghipour y Abbasi (2012) confirmaron que la sequía disminuye, entre un 24 y 50%, el rendimiento de la soya tanto en campo como en invernadero. Considerando el efecto de G, hubo diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en la mayoría de las variables, a excepción de CE90 y VxM. Los genotipos con mayor REND fueron H02-1656, H98-1240, Huasteca 400 y H06-0560. De estos, H98-1240 fue el de mayor estabilidad al pasar de S0 a S1, mientras que

The effect of S in early genotypes showed highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) in four of the seven variables evaluated: S1 reduced by 41.5% the REND, the above as a result of decreased PLC, VxM and P100S. Accordingly, Desclaux *et al.* (2000) indicated that the number of pods per unit of vegetative dry matter was significantly affected by drought also noted that stress in early stage of grain filling reduced the number of seeds plant<sup>-1</sup>, while stress in late stage caused a decrease in the weight of the grain.

As for the effect of G, the differences were highly significant ( $p \leq 0.01$ ) for AR2, AR7 and PLC, and significant ( $p \leq 0.05$ ) for VxM and P100S, although VxM Tukey test did not separate groups. The H02-1991 genotype reached the highest REND which was 1145.2 kg ha<sup>-1</sup>, but it was not statistically different from the others. The Figure 1 shows the interaction S\*G, reflecting the specific effects to drought of the early genotypes selected by greater proportion of generic effects in REND. According to model 1 to evaluate drought resistance (Muñoz, 1992), H02-2295 was the genotype that decreased less its REND when passing from S0 to S1, so it is inferred that it has a greater proportion of genetic effects specific to drought than allows you greater stability with or without moisture deficit.

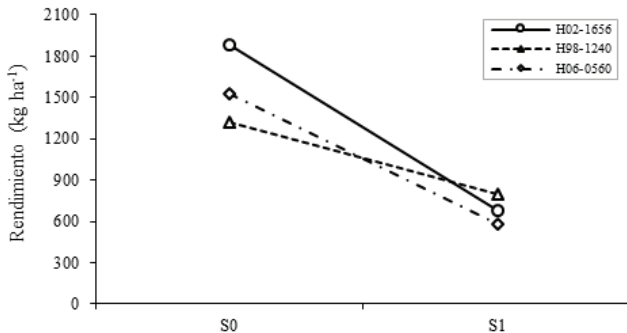


**Figura 1. Efecto de la interacción niveles de sequía por genotipos sobre el rendimiento de los precoces, seleccionados con base en efectos genéricos. S0= Sin sequía; S1= Con sequía.**

**Figure 1. Effect of the levels interaction of drought for genotypes on the performance of early, selected based on generic effects. S0= no drought; S1= with drought.**

Between levels of S in the intermediate genotypes, differences in CL90, CE90, VxM, P100S and REND were highly significant ( $p \leq 0.01$ ). The characters that showed the most noticeable reductions due to S1 were VxM, CL90, P100S and CE90, thus reducing the REND by 48.7%.

H02-1656 presentó efectos específicos para condiciones favorables (Figura 2), es decir, para los ambientes en que la mayoría de los años son buenos en cuanto a lluvia.



**Figura 2. Efecto de la interacción niveles de sequía por genotipos sobre el rendimiento de los intermedios seleccionados con base en efectos genéricos.** S0= Sin sequía; S1= Con sequía.

**Figure 2. Effect of the levels interaction of drought for genotypes on the performance of intermediate selected based on generic effects.** S0= no drought; S1= with drought.

Para los tardíos, el efecto de S fue altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ) en CL90, CE90 y REND, y significativo ( $p \leq 0.05$ ) en P100S. Al igual que sucedió con los intermedios, S1 redujo el nivel de CL90 y CE90, en este caso en 21% y 51.1% respectivamente. También afectó el P100S en 34.6% y en conjunto disminuyeron el REND en un 60.9%. Según Ku *et al.* (2013), las etapas más sensibles a la sequía en soya varían en función de las latitudes y los cultivares; por lo que Eck *et al.* (1987) encontraron en el cultivar Douglas, que la sequía redujo el REND en 45% y 88% cuando el estrés se aplicó en R5 (inicio de formación de semilla) y R7 (inicio de maduración) respectivamente. El efecto de G en el grupo de los tardíos fue significativo ( $p \leq 0.05$ ) sólo para CE90 y AR7. El mayor REND fue para H10-0556 con 1267.3 kg ha<sup>-1</sup>, aunque el análisis de varianza y la prueba de Tukey indicaron que no fue diferente al resto de los genotipos.

A diferencia de este estudio, Chinchilla *et al.* (1990) concluyeron que variedades de soya difirieron en la capacidad de mantener el REND bajo condiciones de humedad limitada, pudiendo ser seleccionadas por su tolerancia a sequía. Sin embargo no se hizo la separación de efectos que propuso Muñoz (1997). En el caso de la conductancia estomática, se han reportado ampliamente diferencias genotípicas para mantener los estomas abiertos a pesar del estrés por sequía (Vignes *et al.*, 1986).

Studies Makbul *et al.* (2011) determined that chlorophyll content and stomatal conductance were reduced by 42% in drought-stressed soybean. Meanwhile, Sadeghipour and Abbasi (2012) confirmed that drought decreases, between 24 and 50%, the yield of soybeans both in the field and in the greenhouse. Considering the effect of G, it was highly significant ( $p \leq 0.01$ ) in most of the variables, except for CE90 and VxM. The genotypes with the highest REND were H02-1656, H98-1240, Huasteca 400 and H06-0560. Of these, H98-1240 was the one of greater stability when passing from S0 to S1, whereas H02-1656 presented specific effects for favorable conditions (Figure 2); that is, for environments where most of the years are good in terms of rainfall.

For late, the effect of S was highly significant ( $p \leq 0.01$ ) in CL90, CE90 and REND, and significant ( $p \leq 0.05$ ) in P100S. As with the intermediates, S1 reduced the level of CL90 and CE90, in this case by 21% and 51.1%, respectively. It also affected the P100S by 34.6% and together they decreased the REND by 60.9%. According Ku *et al.* (2013), the stages most sensitive to soybean drought vary according to latitudes and cultivars; so Eck *et al.* (1987) found in the Douglas cultivar that drought reduced REND by 45% and 88% when stress was applied at R5 (start of seed formation) and R7 (start of ripening) respectively. The effect of G in the late group was significant ( $p \leq 0.05$ ) only for CE90 and AR7. The REND biggest was for H10-0556 with 1267.3 kg ha<sup>-1</sup>, although the analysis of variance and Tukey test indicated that was no different from other genotypes.

Unlike this study Chinchilla *et al.* (1990) concluded that soybean varieties differed in the ability to maintain REND under limited moisture conditions, and could be selected for their tolerance to drought. However, the separation of effects proposed by Muñoz (1997) was not done. In the case of stomatal conductance, they have been widely reported genotypic differences to keep stomata open despite drought stress (Vignes *et al.*, 1986). In this case the REND interaction in the total of the genotypes was plotted, because the group was composed of few members.

No specific effects to drought were observed, which can be seen by the parallelism of the lines of H10-0556 with that of the remaining genotypes (Figure 3). This suggests, according to Muñoz (1974), that this behavior is due to the additive action of the effect of S and the effect of G and not by the multiplicative action of the two factors. So in this case, it is better to select by generic effects. The genotype H10-0556 was superior in both S0 and S1 (Figure 3), being able to be

En este caso se graficó la interacción del REND en el total de los genotipos, debido a que el grupo se compuso de pocos integrantes. No se observaron efectos específicos a sequía, lo cual puede apreciarse por el paralelismo de las rectas de H10-0556 con la de los genotipos restantes (Figura 3). Esto sugiere de acuerdo con Muñoz (1974), que este comportamiento se debe a la acción aditiva del efecto de S y del efecto de G y no por la acción multiplicativa de los dos factores. Por lo que en este caso, es mejor seleccionar por efectos genéricos. El genotipo H10-0556 fue superior tanto en S0 como en S1 (Figura 3), pudiendo ser seleccionado como resistente considerando los efectos genéricos; mientras que en los otros genotipos, H10-0242 disminuyó menos el REND de S0 a S1 (Figura 3), debido a una mayor eficiencia de la CL90, la CE90 y el P100S.

Al comparar el efecto de S entre grupos de precocidad (Cuadro 1), P100S y REND se redujeron más drásticamente en los tres: el segundo disminuyó menos en los precoces y más en los tardíos, considerándose válida la aplicación del modelo 2 (Muñoz, 1997). En el caso de CL90 y CE90 mostraron reducciones importantes en los intermedios y tardíos, indicando que son características muy sensibles al déficit de agua en soya: CL90 disminuyó casi el doble en los tardíos que en los intermedios, mientras que la reducción de CE90 fue parecida en los dos grupos, mostrando que el efecto en la transpiración no está determinado por las diferencias en el desarrollo fenológico.

**Cuadro 1. Efecto de la sequía en porcentaje  $[(S0 - S1)/S0] * 100$  sobre cada una de las variables evaluadas en genotipos de soya precoces, intermedios y tardíos.**

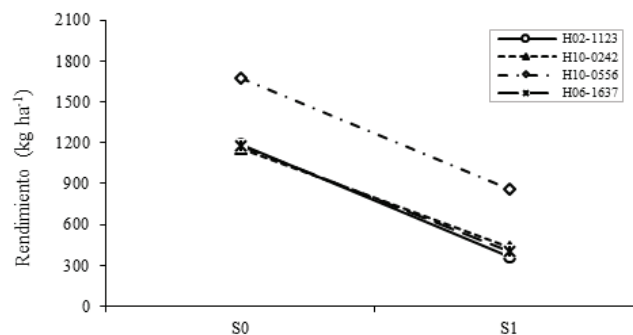
**Table 1. Effect of drought in percentage  $[(S0 - S1)/S0] * 100$  on each of the variables evaluated genotypes early, intermediate and late soybeans.**

Grupo	CL90 (%)	CE90 (%)	AR2 (%)	AR7 (%)	PxM (%)	VxM (%)	PLC (%)	P100 (%)	REND (%)
Precoces	-	-	-0.5	0.34	0.88	14.2	3.6	33.5	41.5
Intermedios	11.9	53.2	0.35	-3.6	-4.9	11.9	-1.5	30.6	48.7
Tardíos	21	51.1	-3.3	2.5	-	-	-1.8	34.6	60.9

CL90= clorofila a los 90 DDS; CE90= conductancia estomática a los 90 DDS; AR2= altura a R2; AR7= altura a R7; PxM= plantas m<sup>-1</sup>; VxM= vainas m<sup>-1</sup>; PLC= plantas cosechadas; P100S= peso de 100 semillas; REND= rendimiento.

La disminución en P100S fue más o menos estable en tres grupos, probablemente porque la densidad del grano dependió más bien del efecto de G y de S y no del ciclo fenológico de los genotipos. Cabe señalar que en algunas variables, S1 provocó un efecto positivo (valores negativos), pero el aumento es poco apreciable.

selected as resistant considering the generic effects; While in the other genotypes, H10-0242 decreased less the REND from S0 to S1 (Figure 3), due to a higher efficiency of CL90, CE90 and P100S.



**Figura 3. Efecto de la interacción niveles de sequía por genotipos sobre el rendimiento de los tardíos. S0= Sin sequía; S1= Con sequía.**

**Figure 3. Effect of the levels interaction of drought for genotypes on the performance of late yield. S0= no drought; S1= with drought.**

When comparing the effect of S between precocious groups (Table 1), P100S and REND decreased more drastically in the three: the second decreased less in the early and more in the late ones, considering the application of model 2 (Muñoz, 1997).

In the case of CL90 and CE90 they showed important reductions in the intermediate and late, indicating that they are very sensitive characteristics to the water deficit in soybean: CL90 decreased almost twice in the late ones than in the intermediates, whereas the reduction of CE90 was similar in both groups, showing that the

## Conclusiones

Los genotipos presentaron respuestas diferentes para enfrentar la sequía. Las características más sensibles al estrés fueron índice de clorofila, conductancia estomática, vainas  $m^{-1}$ , peso de 100 semillas y rendimiento. La disminución del rendimiento por sequía fue más intensa en genotipos tardíos. La separación de efectos por grupos de precocidad que propone el modelo 2 de resistencia a sequía, identificó a H02-2295 (precoz), H98-1240 (intermedio) y H10-0556 (tardío) como los genotipos más resistentes al estrés.

## Literatura citada

- Chinchilla, R. G. 1990. Tolerancia de la soya [*Glycine max* (L.) Merr] a la sequía. Rev. ICA. 25: 283-292.
- Desclaux, D.; Huynh T. T. and Roumet P. 2000. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. Crop Sci. 40: 716-722.
- Eck, H. V.; Mathers A. C. and Musick J. T. 1987. Plant water stress at various growth stages and growth and yield of soybeans. Field Crop Res. 17:1-16.
- Gill, L. H. R.; Maldonado M. N.; Pecina Q. V. y Mayek P. N. 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.
- Ku, Y. S.; Au, Y. W. K.; Yung, Y. L.; Li, M. W.; Wen, C. Q.; Liu, X. and Lam, H. M. 2013. Drought stress and tolerance in soybean. In: Board J. E. (editores). A comprehensive survey of international soybean research - Genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships. InTech, Croatia. 209-237 pp.
- Kumudini, S. 2010. Soybean growth and development. In: Singh, B. (ed.). The soybean: botany, production and uses. CAB International. Oxfordshire, U. K. 48-73 pp.
- Liu, F.; Andersen M. N. and Jensen C. R. 2003. Loss of pod set caused by drought stress is associated with water status and ABA content of reproductive structures in soybean. Funct. Plant Biol. 30: 271-280.
- Maldonado, M. N.; Ascencio L. G.; Espinosa V. G. y Peña del R. M. A. 2013. Estrategias tecnológicas para contrarrestar la sequía en la producción de soya en el sur de Tamaulipas. INIFAP. México. 65 p.
- Makbul, S.; Saruhan G. N.; Durmuş N. and Güven S. 2011. Changes in anatomical and physiological parameters of soybean under drought stress. Turk. J. Bot. 35: 369-377.
- effect on perspiration is not determined by differences in phenological development. The decrease in P100S was more or less stable in three groups, probably because the grain density depended rather on the effect of G and S and not on the phenotype cycle of the genotypes. It should be noted that in some variables, S1 caused a positive effect (negative values), but the increase is not appreciable.

## Conclusions

The genotypes presented different responses to face the drought. The most sensitive to stress characteristics were chlorophyll index, stomatal conductance, pods  $m^{-1}$ , 100 seed weight and performance. The decrease in yield from drought was more intense in late genotypes. The separation of effects by precocity groups proposed by the drought resistance model 2 identified H02-2295 (early), H98-1240 (intermediate) and H10-0556 (late) as the most stress resistant genotypes.

*End of the English version*



- Muñoz, O. A. 1974. Tamaño de la parcela, diseño y usos de los factoriales en la experimentación agrícola. Folleto Misceláneo No. 25. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SAG. México. 38 p.
- 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. 261-266 pp.
- 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. 541-543 pp.
- Sadeghipour, O. and Abbasi S. 2012. Soybean response to drought and seed inoculation. World Appl. Sci. J. 17:55-60.
- Sloane, R. J.; Patterson R. P. and Carter T. E. 1990. Field drought tolerance of a soybean plant introduction. Crop Sci. 30:118-123.
- Vignes, D.; Djekoun, A. and Planchon, C. 1986. Reponses de differents genotypes de soja au deficit hydrique. Can. J. Plant Sci. 66:247-255.