

Respuesta del rendimiento de genotipos de garbanzo blanco a la sequía terminal*

Yield response of white chickpea genotypes to terminal drought

Gustavo A. Fierros Leyva¹, Pedro F. Ortega Murrieta¹, Jorge Alberto Acosta Gallegos^{2§}, Isidoro Padilla Valenzuela³, Víctor Valenzuela Herrera⁴, Yanet Jiménez Hernández² y Jesús A. López Guzmán⁴

¹Campo Experimental Costa de Hermosillo-INIFAP. Pascual Encinas núm. 21. Col. La Manga, Hermosillo, Sonora. CP. 83220. Tel. (0155) 38718700, ext. 81323 y 81310. (fierros.gustavo@inifap.gob.mx; ortegapedro@gmail.com). ²Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5. Celaya, Guanajuato. CP. 38110. Tel. (0155) 38718700, ext. 85227 y 85274. (jimenez.yanet@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Norman E. Borlaug-INIFAP. Calle Norman E. Borlaug km 12. Valle del Yaqui, Cd. Obregón, Sonora. CP 85000, Tel. (0155) 38718700, ext. 81906. (padilla.valenzuela@inifap.gob.mx). ⁴Campo Experimental Valle de Culiacán- INIFAP. Carretera a El Dorado km 16.5. Culiacán, Sinaloa. CP. 80430. Tel. (0155) 38718700, ext. 81415 y 81416. (valenzuela.victor@inifap.gob.mx; lopez.jesus@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: acosta.jorge@inifap.gob.mx.

Resumen

A nivel global, el garbanzo se siembra principalmente en condiciones de humedad residual, con baja disponibilidad de humedad en el suelo al final del ciclo del cultivo. En el ciclo otoño-invierno del 2014-15, se evaluaron 12 genotipos de garbanzo tipo Kabuli en condiciones de riego y sequía, con el objetivo de clasificarlos en su respuesta a sequía terminal, e identificar los de alta eficiencia en rendimiento en ambas condiciones de humedad. Para ello se establecieron dos ensayos en la Costa de Hermosillo, Sonora, México, uno bajo riego durante todo el ciclo y otro con suspensión de riego a partir del inicio de floración. Los 12 genotipos incluyeron ocho variedades y cuatro líneas élite y se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se cuantificaron los días a madurez, número de semillas por vaina, peso de 100 semillas, altura de planta y rendimiento de grano. Como estimadores de eficiencia se utilizó el índice de susceptibilidad a sequía (ISS), la media geométrica (MG) y el índice de eficiencia productiva relativa (IER). El decremento del rendimiento por efecto de sequía fue de 81.8%. Con

Abstract

At the global level, chickpea is mainly planted in residual moisture conditions, with low availability of soil moisture at the end of the crop cycle. In the autumn-winter cycle of 2014-15, 12 Kabuli chickpea genotypes were evaluated under irrigation and drought conditions, aiming to classify them according to its response to terminal drought, and to identify those with high yield efficiency in both humidity conditions. Two trials were established in the Costa de Hermosillo, Sonora, México, one under irrigation during the whole cycle and another with irrigation suspension from the flowering beginning. The 12 genotypes included eight varieties and four elite lines and were established in a randomized complete block design with three replicates. The days to maturity, number of seeds per pod, weight of 100 seeds, plant height and grain yield were quantified. As efficiency estimators, the drought susceptibility index (ISS), geometric mean (MG) and relative yield efficiency index (IER) were used. The yield decrease due to drought was 81.8%. With ISS values of <0.72, the Sierra and Troy

* Recibido: marzo de 2017
Aceptado: junio de 2017

valores de ISS < 0.72, las variedades Sierra y Troy además de la línea Hoga 067 fueron los más tolerantes a sequía, mientras que las variedades Blanco Sinaloa 92 y Blanco Magdalena 95, además de la línea Cuga 08-743 fueron los más susceptibles con ISS > 0.89. Blanoro, Tequi Blanco 98 y Hoga 067 obtuvieron las mayores MG con 647.9, 694.5 y 775.7 kg ha⁻¹, mientras que Hoga 067 obtuvo el mayor IER con 2.15. Los índices de eficiencia utilizados identificaron genotipos con alto rendimiento en las dos condiciones de humedad, mientras que con el ISS se identificaron los de menor reducción del rendimiento por sequía.

Palabras claves: *Cicer arietinum* L., estrés hídrico, garbanzo blanco, media geométrica.

Introducción

Apesar que el garbanzo es conocido por su mayor tolerancia a la sequía en comparación con otras leguminosas de grano, la sequía reduce su rendimiento y puede causar la falla total del cultivo (Turner *et al.*, 2001). En climas Mediterráneos y Sub-tropicales el llenado del grano del garbanzo, al sembrarse principalmente bajo condiciones de humedad residual, está sujeto a sequía terminal que limita el rendimiento. Así, la sequía terminal es considerada como uno de los factores adversos de mayor impacto para el garbanzo a nivel global (Fang *et al.*, 2009).

Uno de los principales atributos del garbanzo es la capacidad de su sistema radical para explorar el suelo en busca de humedad y lograr producción con menor cantidad de agua que otros cultivos. Ésta característica es importante porque representa una oportunidad para el ahorro de agua de riego y para incluir al garbanzo en rotaciones agronómicas ventajosas (Guriqbal *et al.*, 2016). Upadhyaya *et al.* (2013) describieron métodos de selección para diferentes características relacionadas con la tolerancia a la sequía como lo es la madurez temprana (escape), raíces grandes y profundas, alto uso eficiente del agua, hojas pequeñas, temperatura reducida del dosel, discriminación de isótopos de carbono, alto contenido de clorofila en la hoja (evasión de la sequía) y estrategias de selección para mejorar la resistencia a la sequía. Las plantas también controlan las pérdidas de agua por el control de apertura de los estomas en condiciones de déficit alta presión de vapor (VPD), de una

variedades en addition to the Hoga 067 line were the most tolerant to drought, while the Blanco Sinaloa 92 and Blanco Magdalena 95 varieties, in addition to the Cuga 08-743 line were the most susceptible with ISS > 0.89. Blanoro, Tequi Blanco 98 and Hoga 067 obtained the highest MGs with 647.9, 694.5 and 775.7 kg ha⁻¹, while Hoga 067 showed the highest IER with 2.15. The yield indexes used identified genotypes with high yields in the two moisture conditions, while the ISS identified those with the lowest yield reduction due to drought.

Keywords: *Cicer arietinum* L., geometric mean, water stress, white chickpea.

Introduction

Although chickpea is known for its greater drought tolerance compared to other grain legumes, drought reduces its yield and can cause complete failure of the culture (Turner *et al.*, 2001). In Mediterranean and Sub-tropical climates the filling of the chickpea grain, when planted mainly under conditions of residual moisture, is subjected to terminal drought which limits its yield. Thus, the terminal drought is considered as one of the adverse factors of globally greatest impact for chickpea (Fang *et al.*, 2009).

One of the main attributes of the chickpea is the ability of its root system to explore the soil for moisture and achieve yield with less water than other crops. This feature is important because it represents an opportunity for saving irrigation water and to include chickpea on favorable agronomic rotations (Guriqbal *et al.*, 2016). Upadhyay *et al.* (2013) described selection methods for different characteristics related to drought tolerance such as early maturity (escape), large and deep roots, high water efficiency, small leaves, reduced canopy temperature, carbon isotope discrimination, high chlorophyll content in the leaf (drought avoidance) and selection strategies to improve drought resistance. The plants also control the water losses by the control of stomatal opening under conditions of high vapor pressure deficit (VPD), in a transient way, both processes (leaf development and stomatal opening) are mostly controlled by hydraulic processes (Vadez, 2014).

manera transitoria, ambos procesos (desarrollo de las hojas y la apertura de los estomas) son controlados en su mayoría por procesos hidráulicos (Vadez, 2014).

En la Costa de Hermosillo, Sonora, las siembras de garbanzo se llevan a cabo en dos sistemas de producción; siembras en plano de riego por goteo separadas a 1.6 m y en plano en hileras a 50 cm de separación con solo riego de presiembra. En este último sistema de producción se presenta al final del ciclo del cultivo sequía terminal coincidiendo las etapas reproductivas con temperaturas elevadas y escasez de precipitación pluvial por lo que es común obtener bajos rendimientos de grano, disminución de calibre y porcentaje de exportación (Durón *et al.*, 2004). En El Bajío con las siembras de humedad residual (de septiembre a diciembre), la precipitación pluvial disminuye y ocurren periodos de sequía que coinciden con la etapa reproductiva, que es cuando el cultivo es más sensible a la falta de humedad (Acosta *et al.*, 1999).

El efecto de la sequía terminal depende de su duración, de la capacidad del suelo para almacenar agua para la raíz, de las condiciones atmosféricas que influyen en la tasa de evapotranspiración, y de la constitución genética de la planta que condiciona su reacción a este factor abiótico (Nielsen and Nelson, 1998). Pushpavalli *et al.* (2014), mencionan que hay gran interacción genotipo*ambiente debido a la variación genética para rendimiento y sus componentes en el tratamiento de sequía controlada que se utilizó, donde la pérdida de agua a diario desde el suelo se hace igual para todas las plantas, reveló diferencias genotípicas en la sensibilidad del proceso de reproducción a la sequía.

El mejoramiento genético de garbanzo para tolerancia a sequía representa una alternativa para incrementar la productividad de garbanzo bajo esas condiciones de producción y considerando que uno de los principales atributos del garbanzo es la capacidad de su sistema radical para explorar el suelo en busca de humedad y lograr producción con menor cantidad de agua que otros cultivos. Esta característica es importante porque representa una oportunidad para el ahorro de agua de riego y para incluir al garbanzo en rotaciones agronómicas ventajosas (Frahm *et al.*, 2003; Guriqbal *et al.*, 2016).

Sin embargo, el desarrollo de variedades mejoradas con tolerancia a sequía es difícil, lento y costoso, ya que los genotipos muestran inconsistencia en su rendimiento, por diferencias en severidad, tiempo de ocurrencia y duración de la sequía a través de localidades y años (Acosta *et al.*, 1999; Rosales-Serna *et al.*, 2000), además, existe una fuerte

In the Costa de Hermosillo, Sonora, chickpea sowings are carried out in two production systems; planted with drip irrigation strips separated at 1.6 m and planted in rows at 50 cm apart with only pre-sowing irrigation. In the latter production system at the end of the culture cycle terminal drought is shown coinciding the reproductive stages with high temperatures and lack of precipitation so it is common to obtain low grain yields, decreased size and export percentage (Durón *et al.*, 2004). In El Bajío with residual moisture plantings (from September to December), rainfall decreases and drought periods occur matching the reproductive stage, when the culture is more sensitive to the lack of moisture (Acosta *et al.*, 1999).

The effect of terminal drought depends on its duration, on the soil's ability to store water for the roots, on the atmospheric conditions that influence the evapotranspiration rate, and on the genetic constitution of the plant that conditions the reaction to this abiotic factor (Nielsen and Nelson, 1998). Pushpavalli *et al.* (2014) mention that there is a high genotype*environment interaction due to genetic variation for yield and its components in the treatment of controlled drought used where daily water loss becomes equal for all plants from the soil, revealed genotypic differences in the sensitivity of the reproduction process to drought.

Genetic improvement of chickpea for drought tolerance represents one of the best alternatives to increase chickpea yield under these production conditions and considering that one of the main attributes of the chickpea is the ability of its root system to explore the soil searching for moisture and achieve yield with less water than other crops. This feature is important because it represents an opportunity for saving irrigation water and for including chickpea on favorable agronomic rotations (Frahm *et al.*, 2003; Guriqbal *et al.*, 2016).

However, the development of improved varieties with drought tolerance is difficult, slow and costly, since genotypes show inconsistency in its yield, due to differences in severity, time of occurrence and duration of drought across localities and years (Acosta *et al.*, 1999; Rosales-Serna *et al.*, 2000), also there is a strong genetic environmental interaction that prevents the rapid advance of genetic improvement. Very encouraging results demonstrating the efficacy of molecular marker assisted selection for stress tolerance to terminal drought in chickpea have been obtained (Samineni *et al.*, 2015).

interacción genético ambiental que impide el rápido avance del mejoramiento genético. Se han obtenido resultados muy alentadores que demuestran la eficacia de la selección asistida por marcadores moleculares para tolerancia al estrés por sequía terminal en el garbanzo (Samineni *et al.*, 2015). Sarmah *et al.* (2012), mencionan que los garbanzos silvestres tienen altos niveles de resistencia a barrenador de la vaina y a condiciones de déficit de agua en donde la selección asistida por marcadores y la ingeniería genética de los garbanzos están siendo explotados para aumentar los niveles de resistencia-tolerancia a estas limitaciones en el futuro.

Una forma de lograr resultados en menor tiempo consiste en evaluar los genotipos sin limitaciones de humedad (riego) y con suspensión de riego en la etapa reproductiva del cultivo para identificar los genotipos sobresalientes mediante índices de selección (Rosales-Serna *et al.*, 2000). Entre los índices utilizados está el propuesto por Fisher y Maurer (1978), en el que se utiliza la media de rendimiento de todos los genotipos en ambas condiciones de humedad para calcular el índice de intensidad y de susceptibilidad a la sequía; también está la media geométrica que utiliza el rendimiento observado de cada genotipo bajo riego y sequía y ha mostrado ser un criterio de selección efectivo (Abebe *et al.*, 1998).

El índice de eficiencia relativa de Graham (1984) permite clasificar y seleccionar genotipos que presenten alto rendimiento bajo condiciones de riego y de deficiencias de humedad. Entre varias limitaciones ambientales, la alta temperatura es uno de los inconvenientes más importantes para el crecimiento y el rendimiento de garbanzo en un rango de ambientes (Summerfield *et al.*, 1990; Singh *et al.*, 1994; Basu *et al.*, 2009). El objetivo de este estudio fue caracterizar la respuesta productiva de 12 genotipos de garbanzo tipo 'Kabuli' con y sin la aplicación de riego suplementario en la etapa reproductiva.

Materiales y métodos

Se establecieron dos ensayos en la costa de Hermosillo, Sonora (28° 45' 5.87" latitud norte y 111° 27' 37.69" longitud oeste), a 56 msnm. El clima predominante según la clasificación de Köppen modificado por García (1973), es BWh, muy seco semicálido; y BW (h') muy seco muy cálido y cálido con temperaturas bajas medias de 14 a 16 °C en los meses de enero y febrero y extremas de 31 a 47 °C en los meses de julio y agosto. El régimen de lluvias en la región costera se

Sarmah *et al.* (2012) mention that wild chickpeas have high levels of resistance to pod borer and to conditions of water deficit where the marker assisted selection and genetic engineering of chickpea are exploited to increase resistance-tolerance levels to these limitations in the future.

A way to achieve results in less time is to evaluate genotypes without moisture limitation (irrigation) and with irrigation suspension in the reproductive stage to identify outstanding genotypes by selection indices (Rosales-Serna *et al.*, 2000). Among the most used indices there is the one proposed by Fisher and Maurer (1978), in which the yield average of all the genotypes in both humidity conditions is used to calculate the intensity index and drought susceptibility; there is also the geometric mean where the observed yield of each genotype under irrigation and drought conditions is used, and has proven to be an effective selection criteria (Abebe *et al.*, 1998).

Relative efficiency index of Graham (1984) allows the classification and selection of high yield genotypes under irrigation conditions and moisture deficiencies. Among various environmental constraints, high temperature is one of the most important for the growth and yield of chickpea in a range of environments (Summerfield *et al.*, 1990; Singh *et al.*, 1994; Basu *et al.*, 2009). The objective of this paper was to characterize the productive response of 12 'Kabuli' chickpea genotypes with and without the application of supplementary irrigation in the reproductive stage.

Materials and methods

Two trials were established in the costa de Hermosillo, Sonora (28° 45' 5.87" north latitude and 111° 27' 37.69" west longitude), at 56 masl. The predominant climate according to the classification of Köppen modified by García (1973), is BWh, very dry semiwarm; and BW (h') very dry very warm and warm with average low temperatures of 14 to 16 °C in the months of January and February and extreme temperatures of 31 to 47 °C in the months of July and August. Rainfall in the coastal region occurs in June, July, August and September with an annual rainfall of 75 to 200 mL, the predominant soil type is Yermosol, mainly distributed in the central zone of the coast and the northeast.

presenta en los meses de junio, julio, agosto y septiembre con una precipitación pluvial anual de 75 a 200 mL, el tipo de suelo predominante es el Yermosol, se distribuye principalmente en la zona central de la costa y noreste de la misma.

Se evaluaron 12 genotipos de garbanzo blanco (Kabuli), ocho variedades originadas en el programa de mejoramiento genético de garbanzo de INIFAP; Blanoro, Blanco Magdalena 95, Tequi Blanco 98, Costa 2004, Blanco Sinaloa 92 y Desierto 98, además de las variedades introducidas Troy y Sierra y 4 líneas élite Hoga 067, Hoga 2001-2-2, Hoga 021 y Cuga 08-743 originadas en el mismo programa.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones, en parcelas de un surco de 5 m de longitud y 1.6 m de ancho con doble hilera separadas a 50 cm, donde la parcela útil correspondió a la misma parcela experimental. La siembra se realizó el 27 de diciembre, se depositaron 15 semillas por metro lineal para una población de 175 000 plantas ha⁻¹. En un ensayo el cultivo no tuvo restricción de agua durante su desarrollo y en otro ensayo se restringió al inicio de la etapa reproductiva (inicio de floración). Las variables de respuesta fueron: 1) rendimiento de grano en kg ha⁻¹ a partir del peso del grano cosechado de cada parcela; 2) peso de 100 semillas, medido en 100 semillas de cada parcela en gramos; 3) número de granos por planta, medidos en 5 plantas por parcela; y 4) altura de planta medida en 10 plantas por parcela. Para monitoreo de la humedad del suelo en ambos ensayos se colocaron sensores de humedad en los perfiles de suelo 0-30 y 30-60 cm de profundidad.

Se hicieron análisis de varianza de las variables en ambas condiciones de humedad, y para el rendimiento de grano se analizaron en diseño de bloques al azar en arreglo de parcelas divididas, considerando cada condición de humedad como una parcela grande y los genotipos como parcelas chicas. Los datos se analizaron SAS, versión 7.2 (SAS Institute, 1999) y cuando se detectó significancia entre tratamientos, se aplicó la prueba diferencia mínima significativa (DMS, 0.05).

El efecto de la sequía en el rendimiento de grano promedio de cada genotipo se estimó con el índice de susceptibilidad a la sequía (ISS), con la media geométrica (MG) y con el índice de eficiencia relativa (IER).

El ISS de cada genotipo se calculó con la ecuación propuesta por Fischer y Maurer (1978): $ISS_i = 1 - (Y_{ii}/Y_{ci})/IIS$, donde: Y_{ii} = promedio de rendimiento de cada genotipo sin riego a partir de inicio de floración; Y_{ci} = promedio de rendimiento de

Twelve genotypes of white chickpea (Kabuli) were evaluated, eight varieties originated in the chickpea breeding program of INIFAP; Blanoro, Blanco Magdalena 95, Tequi Blanco 98, Costa 2004, Blanco Sinaloa 92 and Desierto 98, in addition to the introduced varieties Troy and Sierra and 4 elite lines Hoga 067, Hoga 2001-2-2, Hoga 021 and Cuga 08-743 originated in the same Genetic Improvement program.

The experimental design used was randomized complete blocks with three replications, in plots of 1 groove 5 m in length and 1.6 m in width with double row separated to 50 cm, where the useful plot corresponded to the same experimental plot. Planting took place on December 27, 15 seeds per linear meter were sown for a population of 175 000 plants ha⁻¹. In one trial the crop had no water restriction during its development and in another trial the application of water at the beginning of the reproductive stage (beginning of flowering) was restricted. The response variables were: 1) grain yield, which was calculated in kg ha⁻¹ from the weight of the grain harvested from each plot; 2) weight of 100 seeds, measured in 100 seeds of each plot in grams; 3) number of grains per plant, measured in 5 plants per plot; and 4) plant height measured in 10 plants per plot. For soil moisture monitoring, moisture sensors were placed in the soil profiles in both tests at 0-30 and 30-60 cm of deep.

Variance analysis of the variables in both moisture conditions was performed, and in the case of grain yield, the data were analyzed in random block design in split plots arrangement, considering each moisture condition as a large plot and the genotypes as small plots. Data were analyzed using the SAS statistical package, version 7.2 (SAS Institute, 1999) and when significance was detected between treatments, the least significant difference test (DMS, 0.05) was applied.

The effect of drought on the average grain yield of each genotype was estimated using the drought susceptibility index (ISS), using the geometric mean (MG) and the relative efficiency index (IER).

The ISS of each genotype was calculated using the equation proposed by Fischer and Maurer (1978): $ISS_i = 1 - (Y_{ii}/Y_{ci})/IIS$, where: Y_{ii} = average yield of each genotype without irrigation from flowering beginning; Y_{ci} = average yield of each genotype with irrigation application during the cycle. The drought intensity index (IIS) was obtained using the

cada genotipo con aplicación de riego durante el ciclo. El índice de intensidad a la sequía (IIS), se obtuvo mediante la fórmula: $IIS = 1 - (Y_i/Y_c)$, en la que Y_i = promedio de rendimiento sin riego a partir de inicio de floración y Y_c = promedio de rendimiento con aplicación de riego durante el ciclo.

La MG propuesta por Samper y Adams (1985), se calculó con la ecuación: $MG = (Y_{ii} * Y_{ci})^{1/2}$, donde MG_i = media geométrica de cada genotipo; y Y_{ii} y Y_{ci} = rendimiento de cada genotipo bajo condiciones de riego suplementario y sin riego a partir del inicio de floración, respectivamente.

El IER descrito por Graham (1984), se calculó mediante la ecuación: $IER = (Y_{ii}/Y_i) (Y_{ci}/Y_c)$, donde IER_i = índice de eficiencia relativa de cada genotipo; Y_{ii} = rendimiento del genotipo *i* sin aplicación de riego a partir de inicio de floración; Y_i = rendimiento promedio con suspensión de riego a partir de inicio de floración; Y_{ci} = rendimiento del genotipo *i* con riego durante el ciclo del cultivo; y Y_c = rendimiento promedio con riego durante el ciclo del cultivo.

Resultados y discusión

Condiciones de humedad del suelo y variables climáticas

La distribución de la humedad del agua en los dos ensayos fue monitoreada con sensores de humedad, en las Figuras 1 y 2 se muestra el comportamiento de 0-30 y 30-60 cm de profundidad en las dos condiciones de humedad, con riego suplementario (CRS) y sin riego suplementario (SRS), este último implementado al inicio de floración, y a partir de esta etapa las lecturas se incrementan de 67 hasta alcanzar en solo 12 días 200 centibares lo que indica ausencia total de humedad en ambos perfiles de mojado, por el contrario en el ensayo con riego suplementario de 0-30 mostró mayor variación en la distribución de humedad con lecturas de 15 hasta 88 milibares y de 30-60 fue estable con lecturas que van de 27 a 67 centibares. Las condiciones ambientales durante el desarrollo del estudio se muestran en el Cuadro, tomadas de la estación climatológica del Campo Experimental Costa de Hermosillo que puede consultarse en la página <http://agroson.org.mx>.

Efecto del régimen de humedad con el rendimiento

En condiciones de riego, se detectaron en rendimiento de grano diferencias entre genotipos, condiciones de humedad y en la interacción de genotipos con condiciones de humedad,

formula: $IIS = 1 - (Y_i/Y_c)$, where Y_i = average yield without irrigation from the flowering beginning and Y_c = average yield with irrigation application during the cycle.

The MG proposed by Samper and Adams (1985), was calculated with the equation: $MG = (Y_{ii} * Y_{ci})^{1/2}$, where MG_i = geometric mean of each genotype; and Y_{ii} and Y_{ci} = yield of each genotype under additional irrigation conditions and without irrigation from the flowering beginning, respectively.

The IER described by Graham (1984), was calculated by the equation: $IER = (Y_{ii}/Y_i) (Y_{ci}/Y_c)$, where: IER_i = relative efficiency index of each genotype; Y_{ii} = yield of *i* genotype without irrigation application from flowering onset; Y_i = average yield with irrigation suspension from flowering onset; Y_{ci} = yield of *i* genotype with irrigation during the crop cycle; and Y_c = average yield with irrigation during the crop cycle.

Results and discussion

Soil moisture conditions and climatic variables

The moisture distribution of water in the two tests was monitored with humidity sensors, in Figures 1 and 2 its behavior is shown in the profiles 0-30 and 30-60 cm in depth and in the two humidity conditions, with (CRS) and without supplemental irrigation (SRS), the latter implemented at the beginning of flowering, and from this stage the readings increase from 67 to reach in only 12 days 200 centibars indicating total absence of moisture in both profiles on the contrary, in the test with supplementary irrigation in the 0-30 profile it showed greater variation in the moisture distribution with readings from 15 to 88 millibars and in 30-60 profile this was more stable with readings ranging from 27 to 67 centibars. The environmental conditions during the development of the study are shown in Table 1 taken from the weather station located in the Costa de Hermosillo Experimental Field, which can be found on <http://agroson.org.mx>.

Effect of moisture regime with yield

Under irrigation conditions, grain yield differences between genotypes were detected, humidity conditions and in the interaction of genotypes with humidity conditions, ($p \leq$

($p \leq 0.01$), en peso de 100 semillas ($p \leq 0.01$), número de granos por planta ($p \leq 0.05$), y altura de planta ($p \leq 0.01$). En sequía se detectaron diferencias entre genotipos en todas las variables evaluadas excepto en número de granos por planta.

0.01), weight of 100 seeds ($p \leq 0.01$), number of grains per plant ($p \leq 0.05$), and plant height ($p \leq 0.01$). In the treatment with drought differences between genotypes were detected in all evaluated variables except in number of grains per plant.

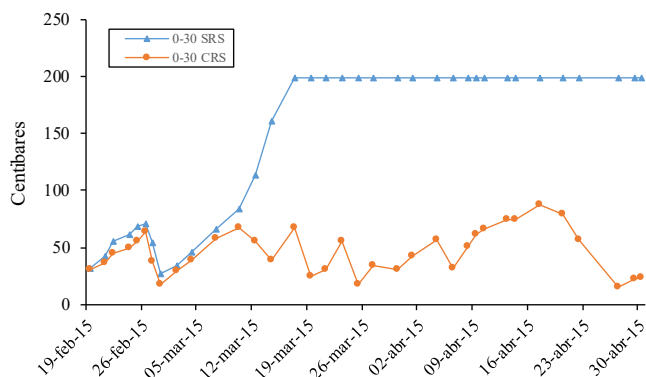


Figura 1. Distribución de la humedad del suelo en el perfil 0-30 cm en dos condiciones de humedad.

Figure 1. Distribution of soil moisture in the 0-30 cm profile in the two moisture conditions.

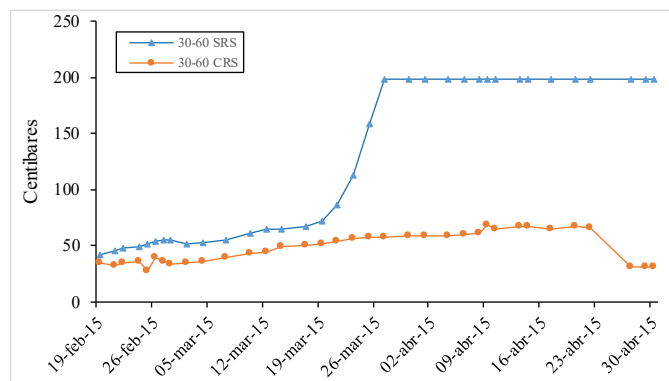


Figura 2. Distribución de la humedad del suelo en el perfil 30-60 cm en dos condiciones de humedad.

Figure 2. Distribution of soil moisture in the 30-60 cm profile in the two moisture conditions.

Cuadro 1. Información climática durante el ciclo del garbanzo en el periodo otoño-invierno 2014 y 2015, Costa de Hermosillo, Sonora.

Table 1. Climate information during the chickpea cycle in the 2014 and 2015 autumn-winter period, Costa de Hermosillo, Sonora.

Mes	T Max (°C)	T Min (°C)	T Prom (°C)	HR Max (%)	PP (mm)	ET ₀ (mm)	Radiación solar (MJ m ⁻²)
Enero	24.4	6.79	15.58	56.7	0	2.9	0.159
Febrero	27.2	10.76	18.97	65.9	0	3.8	0.224
Marzo	28.88	12.01	20.45	52.6	0	4.8	0.267
Abril	30.25	12.68	21.47	51.0	0	5.8	0.303
Mayo	30.75	13.93	22.34	49.9	0	6.7	0.341
Junio	37.62	22.59	30.11	51.1	0	6.7	0.321

Bajo condiciones de riego, Blanco Magdalena 95 y Hoga 067 presentaron rendimiento superior y significativamente diferente al resto con 1.6 y 1.59 t ha⁻¹. En condiciones de sequía, los genotipos Hoga 067 y Tequi Blanco 98 tuvieron rendimientos superiores estadísticamente al resto con 0.377 y 0.324 t ha⁻¹ ($p \leq 0.01$). Además de los genotipos antes mencionados en condiciones de riego las variedades Sierra, Troy y Desierto presentaron reducciones menores a la media general, los genotipos menos afectados por la condición de sequía fueron Sierra (72.1%), Troy (76.1%) y Hoga 067 (76.3%), siendo no necesariamente los de mayor rendimiento. El rendimiento varió entre condiciones de humedad y genotipos ($p \leq 0.01$), detectándose diferencia estadística significativa

Under irrigation conditions, Blanco Magdalena 95 and Hoga 067 showed superior yield and significantly different from the rest with 1.6 and 1.59 t ha⁻¹. Under drought conditions, Hoga 067 and Tequi Blanco 98 genotypes showed statistically higher yields compared to the rest with 0.377 and 0.324 t ha⁻¹ ($p \leq 0.01$). In addition to the aforementioned genotypes under irrigation conditions, the Sierra, Troy and Desierto varieties showed smaller reductions than the general average, the genotypes less affected by the drought condition were Sierra (72.1%), Troy (76.1%) and Hoga 067 (76.3%), not necessarily showing the greater yield. The yield ranged between humidity and genotypes ($p \leq 0.01$), detecting statistically significant differences between

entre ambos factores ($p \leq 0.01$). Con riego durante el ciclo de desarrollo del cultivo se registró un rendimiento promedio superior al obtenido con la condición de estrés por humedad ($p \leq 0.05$). Un grupo de seis genotipos resultó sobresaliente, los de mayor rendimiento fueron las líneas Hoga 067 y Hoga 2001-2-2 además de las variedades Blanco Magdalena 95, Blanoro, Tequi Blanco 98 y Costa 2004 (Cuadro 2).

En condiciones de riego los genotipos Hoga 067, Blanco Sinaloa 92, Cuga 08-743, Blanoro, Hoga 2001-2-2 y Costa 2004 presentaron mayor peso de 100 semillas lo cual está relacionado con el calibre que presentan estos genotipos, con pesos de 76.3, 75.7, 73.3, 70.9, 69.8 y 59.8 g por 100 semillas, en condiciones de sequía Hoga 067, y Cuga 08-743 presentaron pesos altos con 66 y 64.3 g por 100 semillas, en este aspecto los genotipos menos afectados fueron Troy, Desierto 98, Hoga 021 y Cuga 08-743 con reducciones en peso de 100 semillas por debajo de la media general con 7.4, 7.9, 11.7 y 12.3%, respectivamente (Cuadro 2).

factors ($p \leq 0.01$). With irrigation during the development cycle of the crop a superior average yield to that obtained with the moisture stress condition ($p \leq 0.05$) was recorded. A group of 6 genotypes was outstanding, the highest yields were shown by the lines Hoga 067 and Hoga 2001-2-2 in addition to the Blanco Magdalena 95, Blanoro, Tequi Blanco 98 y Costa 2004 varieties (Table 2).

Under irrigation conditions, the Hoga 067, Blanco Sinaloa 92, Cuga 08-743, Blanoro, Hoga 2001-2-2 and Costa 2004 genotypes showed the highest weight of 100 seeds, which is closely related to the caliber of these genotypes, with In the present study, showing weights of 76.3, 75.7, 73.3, 70.9, 69.8 and 59.8 g by 100 seeds, under drought conditions Hoga 067, and Cuga 08-743, showed the highest weights with 66 and 64.3 g by 100 seeds, the less affected genotypes were Troy, Desierto 98, Hoga 021 and Cuga 08-743 with reductions in weight of 100 seeds below the general average with 7.4, 7.9, 11.7 and 12.3%, respectively (Table 2).

Cuadro 2. Efecto de dos condiciones de humedad en rendimiento de grano y peso de 100 semillas (g) de genotipos de garbanzo blanco (Kabuli). Costa de Hermosillo, Sonora 2014.

Table 2. Effect of two moisture conditions on grain yield and weight of 100 seeds (g) of white chickpea (Kabuli) genotypes. Costa de Hermosillo, Sonora 2014.

Genotipo	Rendimiento (kg ha ⁻¹)			Peso de 100 semillas (g)		
	Riego	Sequía	Reducción (%)	Riego	Sequía	Reducción (%)
Hoga 2001-2-2	1 548*	250	83.8	69.8*	59.7	13.8
Hoga 067	1 592*	377*	76.3	76.3*	66*	13.6
Blanoro	1 512*	277	81.7	70.9*	60.4	14.7
Troy	448	107	76.1	57.8	53.5	7.4
Blanco Magdalena 95	1 604*	185	88.4	62.1	51.2	17.6
Tequi blanco 98	1 489*	323*	78.3	60.1	52.6	12.4
Sierra	804	224	72.1	56.6	46.7	17.5
Desierto 98	954	210	78	59.3	54.6	7.9
Cuga 08-743	1 301	122	90.6	73.3*	64.3*	12.3
Hoga 021	1 290	196	84.8	68.9	60.8	11.7
Costa 2004	1 348*	233	82.7	69.8*	60	14
Blanco Sinaloa 92	1 293	147	88.6	75.7*	61.7	18.5
Promedio	1.24	0.21	81.8	66.7	57.6	13.4
CV (%)	11.97	18.53		6.33	4.19	
DMS (0.05)	256.64	69.48		7.1	4.09	

*= genotipos estadísticamente superiores, según la diferencia mínima significativa (0.05).

En número de semillas por planta en condiciones de riego, los genotipos Hoga 2001-2-2, Blanco Sinaloa 92, Hoga 021 y Blanco Magdalena 95, fueron los que presentaron mayor cantidad de granos por planta y fueron estadísticamente diferentes al resto ($p \leq 0.05$), con 33, 32, 28 y 25, en

Regarding the number of seeds per plant under irrigation, the Hoga 2001-2-2, Blanco Sinaloa 92, Hoga 021 and Blanco Magdalena 95 genotypes showed more grains per plant and were statistically different to the rest ($p \leq 0.05$), with 33, 32, 28 and 25, under conditions of moisture stress

condiciones de estrés de humedad al inicio de la etapa reproductiva, la cantidad de granos por planta estuvo afectada fuertemente, los menos afectados fueron los genotipos Troy, Costa 2004, Hoga 067 y Blanoro con reducciones de 50, 56.6, 60.3 y 63.4% en ese mismo orden estando debajo de la media general para esta variable (Cuadro 3).

Efecto del régimen de humedad en altura de planta

En altura de planta, los genotipos Troy, Sierra, Hoga 021 y Hoga 2001-2-2, presentaron altura de 50, 49.7, 49.4 y 48.9 cm respectivamente, en restricción de humedad los genotipos más sobresalientes fueron Hoga 2001-2-2, Costa 2004, Blanoro y Tequi Blanco 98 con alturas de 46, 43.2, 42.3 y 41.9 cm respectivamente, los genotipos menos afectados en reducción de altura por esta condición y que estuvieron por debajo de la media fueron Hoga 2001-2-2, Costa 2004, Hoga 067 y Blanoro con 5.9, 6.2, 7.1 y 7.7% respectivamente (Cuadro 3).

at the beginning of the reproductive stage, the quantity of grains per plant was strongly affected, the least affected were the genotypes Troy, Costa 2004, Hoga 067 and Blanoro showing reductions of 50, 56.6, 60.3 and 63.4% in that same order being below the general average for this variable (Table 3).

Effect of moisture regime on plant height

Regarding plant height, the genotypes Troy, Sierra, Hoga 021 and Hoga 2001-2-2, showed heights of 50, 49.7, 49.4 and 48.9 cm respectively and under conditions of moisture restriction the most outstanding genotypes were Hoga 2001-2-2, Costa 2004, Blanoro and Tequi Blanco 98 with heights of 46, 43.2, 42.3 and 41.9 cm respectively, the less affected genotypes in plant height reduction by this condition as they were below the average were Hoga 2001-2-2, Costa 2004, Hoga 067 and Blanoro with 5.9, 6.2, 7.1 and 7.7% respectively (Table 3).

Cuadro 3. Efecto de dos condiciones de humedad en número de granos por planta y altura de planta (cm) de genotipos de garbanzo blanco (Kabuli). Costa de Hermosillo, Sonora 2014.

Table 3. Effect of two moisture conditions on number of grains per plant and plant height (cm) of white chickpea (Kabuli) genotypes. Costa de Hermosillo, Sonora 2014.

Genotipo	Número de granos por planta			Altura de planta (cm)		
	Riego	Sequía	Reducción (%)	Riego	Sequía	Reducción (%)
Hoga 2001-2-2	33*	8 ^{ns}	76.4	48.9*	46*	5.9
Hoga 067	21	8	60.3	43.6	40.5	7.1
Blanoro	21	8	63.4	45.8	42.3	7.7
Troy	15	7	50	50*	35.4	29.2
Blanco Magdalena 95	25*	5	79.6	45.9	39.6	13.7
Tequi blanco 98	21	7	65.1	48.5*	41.9	13.5
Sierra	22	6	73.1	49.7*	37.7	24.1
Desierto 98	16	5	66.2	43.7	37.9	13.3
Cuga 08-743	21	6	70.4	47.1*	40.1	14.9
Hoga 021	28*	9	66.9	49.4*	40.2	18.6
Costa 2004	18	8	56.6	46	43.2	6.2
Blanco Sinaloa 92	32*	6	81.9	46.8	40.5	13.5
Promedio	23	7	67.5	47.1	40.4	14
CV (%)	24.6	32.42		3.97	4.13	
DMS (0.05)	9.5	ns		0.17	2.83	

*= genotipos estadísticamente superiores, según la diferencia mínima significativa (0.05); ns= no significativo.

Índices de susceptibilidad a sequía

La reducción del rendimiento por falta de humedad fue evidente en todos los genotipos, pero fue más severa en los genotipos Cuga 08-743, Blanco Sinaloa 92 y Blanco

Drought susceptibility indices

Reduced yield due to lack of moisture was evident in all genotypes, but it was more severe in the Cuga 08-743, Blanco Sinaloa 92 and Blanco Magdalena 95 genotypes,

Magdalena 95, que a su vez presentaron los valores más altos de ISS. Los genotipos Sierra, Hoga 067, Troy y Desierto presentaron mayor tolerancia al estrés por sequía, debido a que obtuvieron los índices de susceptibilidad más cercanos a cero (Fisher y Maurer, 1978). Este índice es un criterio aceptable para seleccionar genotipos que reducen menos su rendimiento con estrés de humedad, aunque no necesariamente son los más rendidores (Rosales-Serna *et al.*, 2000).

Al no presentarse interferencia de lluvia durante la etapa reproductiva del cultivo, fue posible cuantificar la respuesta de los genotipos a esta característica cuantitativa. Las líneas Hoga 067 y Hoga 2001-2-2 y las variedades Blanoro y Tequi Blanco 98 obtuvieron altos valores de los índices MG y IER (Cuadro 4), que indican alto rendimiento en las dos condiciones de humedad. Ambos índices están altamente correlacionados entre sí y se basan en la producción bajo las dos condiciones de humedad (Mayek *et al.*, 2003; López *et al.*, 2006). Los resultados observados con los índices utilizados son similares a los obtenidos por Rosales-Serna *et al.* (2000), quienes sugirieron la utilización combinada de un índice relacionado con la reducción del rendimiento (ISS) y otro con la productividad entre condiciones de humedad (MG o IER).

which in turn showed the highest ISS values. The Sierra, Hoga 067, Troy and Desierto genotypes showed greater tolerance to drought stress, since they showed the susceptibility indexes closer to zero (Fisher and Maurer, 1978). This index is an acceptable criterion to select genotypes that less reduce its yield under moisture stress, although they did not necessarily show the greatest yield (Rosales-Serna *et al.*, 2000).

In the absence of rain interference during the reproductive stage of the crop, it was possible to quantify the response of the genotypes to this quantitative trait. The lines Hoga 067 and Hoga 2001-2-2 and the varieties Blanoro and Tequi Blanco 98 showed the highest values of the MG and IER indices (Table 4), which indicate high yield in the two studied moisture conditions. Both indices are highly correlated and are based on the yield under the two humidity conditions (Mayek *et al.*, 2003; López *et al.*, 2006). The results observed with the indices used are similar to those obtained by Rosales-Serna *et al.* (2000), who suggested the combined use of a rate related to yield reduction (ISS) and another with yield between moisture conditions (MG or IER).

Cuadro 4. Rendimiento de grano de genotipos de garbanzo en dos condiciones de humedad, e indicadores de susceptibilidad a sequía y de eficiencia del rendimiento. Costa de Hermosillo, Sonora 2014.

Table 4. Grain yield of chickpea genotypes in two moisture conditions, and indicators of susceptibility to drought and yield efficiency. Costa de Hermosillo, Sonora 2014.

Genotipo	Riego (kg ha ⁻¹)	Sequía (kg ha ⁻¹)	Promedio (kg ha ⁻¹)	Reducción (%)	ISS	MG	IER
Hoga 2001-2-2	1 548	250	899	83.8	0.8	623	1.39
Hoga 067	1 592*	377*	985	76.3	0.71	776	2.15
Blanoro	1 512	277	895	81.7	0.78	648	1.5
Troy	448	107	278	76.1	0.71	219	0.17
Blanco Magdalena	1 604*	185	895	88.4	0.86	545	1.06
Tequi bco 98	1 489	323	906	78.3	0.74	695	1.72
Sierra	804	224	514	72.1	0.66	425	0.64
Desierto	954	210	582	78	0.73	448	0.72
Cuga 08-743	1 301	122	711	90.6	0.89	399	0.57
Hoga 021	1 290	196	743	84.8	0.82	504	0.91
Costa 2004	1 348	233	791	82.7	0.79	561	1.12
Blanco Sinaloa 92	1 293	147	720	88.6	0.86	437	0.68
Promedio	1 265	221	743	81.7	0.78	523	1.05
CV	16.76	18.21					
DMS (0.05)	175.52	25.85					

ISS= índice de susceptibilidad a sequía; MG= Media geométrica; IER= Índice de eficiencia relativa; *= genotipos estadísticamente superiores, según la diferencia mínima significativa (0.05).

Conclusiones

Las variedades Sierra, Troy y Desierto y la línea Hoga 067 fueron los más tolerantes a sequía terminal severa, mientras que la línea Cuga 08-743 y las variedades Blanco Magdalena 95 y Blanco Sinaloa 92 fueron los más susceptibles.

Las líneas Hoga 067 y Hoga 2001-2-2 y las variedades Blanoro y Tequi Blanco 98 obtuvieron los más altos valores de los índices MG y IER, que indican alto rendimiento promedio de los dos regímenes de humedad edáfica.

Literatura citada

- Abebe, A.; Brick, M. A. and Kirkby, R. A. 1998. Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions. *Field Crops Res.* 58:15-23.
- Acosta, G. J. A.; Acosta, E.; Padilla, S.; Goytia, M. A.; Rosales, R. y López, E. 1999. Mejoramiento de la resistencia a la sequía del frijol común en México. *Agron. Mesoam.* 10:83-90.
- Basu, P. S.; Ali, M. and Chaturvedi, S. K. 2009. Terminal heat stress adversely affects chickpea productivity in northern India - strategies to improve thermotolerance in the crop under climate change. In: ISPRS Archives XXXVIII-8/W3 workshop proceeding: impact of climate change on agriculture, 23-25 February, New Delhi, India, 189-193.
- Durón, N. L. J.; Valdez, G. B. y Morales, G. J. A. 2004. Manejo del agua *In: El cultivo de garbanzo blanco en Sonora.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Editores: Morales, G. J. A.; Durón, N. L. J.; Martínez, D. G.; Núñez, M. J. H. y Fú, C. A. A. Libro técnico núm. 6. 117-120 pp.
- Fang, X.; Turner, N. C.; Yan, G.; Li, F. and Sidique, K. H. M. 2009. Flower numbers, pod production, pollen viability and pistil functions are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. *J. Exp. Bot.* 61:689-693.
- Fisher, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Austr. J. Agric. Res.* 29:897-912.
- Frahm, M. J.; Rosas, C.; Mayek, N.; López, E.; Acosta, J. A. y Kelly, J. D. 2003. Resistencia a sequía terminal en frijol negro tropical. *Agron. Mesoam.* 14:143-150.
- García, M. E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. UNAM-INEGI. 246 p.
- García, J. J.; López, R. J.; Molina, G. T. y Cervantes, S. 2002. Selección masal visual estratificada y de familias de medios hermanos en una crucea intervarietal F₂ de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:387.
- Graham, R. D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant. Nutr.* 1:57-102.
- Guriqbal, S.; Ram, H.; Aggarwal, N. and Turner, N. C. 2016. Irrigation of chickpea increases yield but not water productivity. *Exp. Agric.* 52:1-13.

Conclusions

The Sierra, Troy and Desierto varieties and the Hoga 067 line were the most tolerant to severe terminal drought, while the Cuga 08-743 line and the Blanco Magdalena 95 and Blanco Sinaloa 92 varieties were the most susceptible.

The Hoga 067 and Hoga 2001-2-2 lines and the varieties Blanoro and Tequi Blanco 98 showed the highest values of MG and IER indices, which indicate high average yield of the two edaphic moisture regimes.

End of the English version



- López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Villar, S. B.; Becerra, L. E. N.; Ugalde, A. F. J. y Cumpián, G. J. 2006. Adaptación de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29:33-39.
- Mayek, P. N. C.; López, C. E.; López, S. J.; Cumpián, G. I. C.; Joaquín, T. J. S.; Padilla, R. J. A. and Acosta, G. 2003. Effect of *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. on grain yield of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and its relationship with yield stability parameters. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21:168-175.
- Nielsen, D. C. and Nelson, N. O. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Sci.* 38:422-427.
- Pushpavalli, R.; Zaman, A. M.; Turner, N. C.; Baddam, R.; Rao, M. V. and Vadez, V. 2014. Higher flower and seed number leads to higher yield under water stress conditions imposed during reproduction in chickpea. *Functional Plant Biol.* 42(2):162-174.
- Rosales, S. R.; Ramírez, V. P.; Acosta, G. J. A.; 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.
- Samineni, S.; Varshney, R. K.; Sajja, S.; Thudi, M.; Jayalakshmi, V.; Vijayakumar, A. and Mannur, D. M. 2015. High yielding and drought tolerant genotypes developed through marker-assisted back crossing (MBAC) in chickpea. *In: International Plant Breeding Congress (IPBC) and Eucarpia - Oil and protein crops section conference.* WOW Kremlin Palace Hotel, Antalya, Turkey. Abstract Book. 18 p.
- Samper, C. M. and Adams, W. 1985. Geometric mean of stress and control yield as a selection criterion for drought tolerance. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 28:53-54.
- Sarmah, B. K.; Acharjee, S. and Sharma, H. C. 2012. Chickpea: crop improvement under changing environment conditions. *In: improving crop productivity in sustainable agriculture.* Wiley Blackwell. 361-381 pp.
- SAS Institute. 1999. SAS Online Doc. Versión 8. CD-ROM computer file. Cary, NC. USA.

- Singh, K. B.; Malhotra, R. S.; Halila, M. H.; Knights, E. J. and Verna, M. M. 1994. Current status and future strategy in breeding chickpea for resistance to biotic and abiotic stresses. *Euphytica*. 73:137-149.
- Summerfield, R. J.; Virmani, S. M.; Roberts, E. H. and Ellis, R. H. 1990. Adaptation of chickpea to agroclimate constraints. *In*: Van Rheenen, H. A. and Saxena, M. C. (Eds.). Chickpea in the nineties. Proceedings in the second international workshop on chickpea improvement. 4-8th. December 1989. ICRISAT publishing, India. 50-61 pp.
- Turner, N. C.; Wright, G. C. and Sidique, K. H. M. 2001. Adaptation of grain legumes to water-limited environments. *Adv. Agron.* 71:193-231.
- Upadhyaya, H. D.; Kashiwagi, J.; Varshney, R. K.; Gaur, P. M.; Saxena, K. B.; Krishnamurthy, L.; Gowda, C. L. L.; Pundir, R. P. S.; Chaturvedi, S. K.; Basu, P. S. and Singh, I. P. 2012. Phenotyping chickpeas and pigeonpeas for adaptation to drought. *Front. Physiol.* 3:179.
- Vadez, V. 2014. Root hydraulics: the forgotten side of roots in drought adaptation. *Field Crops Research*. 165(1):15-24.