

RENDIMIENTO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN RELACIÓN CON LA CONCENTRACIÓN DE VERMICOMPOST Y DÉFICIT DE HUMEDAD EN EL SUSTRATO

YIELD OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) IN RELATION TO SUBSTRATE VERMICOMPOST CONCENTRATION AND WATER DEFICIT

Gisela Aguilar-Benítez¹, Cecilia B. Peña-Valdivia^{1*}, J. Rodolfo García-Nava¹, Porfirio Ramírez-Vallejo², S. Gerardo Benedicto-Valdés³, José D. Molina-Galán²

¹Botánica, ²Recursos Genéticos y Productividad, ³Edafología. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México (gaguilar@colpos.mx), (cecilia@colpos.mx).

RESUMEN

El efecto benéfico del vermicompost en el rendimiento de algunos cultivos se ha documentado, pero hay poca información acerca de su efecto cuando se combina con factores que inducen estrés. El objetivo de esta investigación fue conocer el efecto combinado del vermicompost y el déficit de humedad en el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), con la hipótesis de que el vermicompost modifica el sistema suelo-planta y disminuye el efecto del déficit de humedad. En invernadero se evaluó el rendimiento de dos cultivares de frijol (sensible y tolerante a sequía) en suelo sin y con 1.5 y 3 % de vermicompost, con riego en el ciclo completo y su suspensión a partir de la floración. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial y cinco repeticiones. Se evaluó la producción de inflorescencias, vainas y semillas. En ambas condiciones de riego y cultivares, 3 % de vermicompost incrementó 31 % el número de inflorescencias, 36 % el número de vainas producidas, 16 % las vainas cosechadas, 34 % el número y 33 % la biomasa (rendimiento) de semillas por planta. El efecto negativo de la suspensión de riego se observó en el número de vainas y semillas y en el rendimiento de semilla; sin embargo, con 3 % de vermicompost el cultivar susceptible y tolerante incrementó 17 y 15 % el número de vainas, 28 y 48 % el número de semillas y 15 y 50 % el rendimiento de semillas. Las interacciones entre los factores mostraron reacción distinta de los cultivares al déficit de humedad, vermicompost y su combinación. Se mostró que el vermicompost en el sustrato modifica el sistema suelo-planta y disminuye la reacción negativa al déficit de humedad del frijol, ya que incrementa significativamente su rendimiento.

ABSTRACT

The beneficial effect of vermicompost on yield of some cultivars has been documented, but there is little information about its effect when it is combined with stress-inducing factors. The objective of this study was to evaluate the combined effect of vermicompost and water stress on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield with the hypothesis that vermicompost modifies the soil-plant system and diminishes the effect of water deficit. In greenhouse, the yield of two common bean cultivars (drought-susceptible and tolerant to drought) was assessed in soil with or without 1.5 % and 3 % of vermicompost, with irrigation in the complete cycle and its suspension, starting from flowering. The experimental design was completely randomized with factorial arrangement and five replications. Production of inflorescence, pods, and seeds were evaluated. Under both conditions of irrigation and cultivars, the addition of 3 % of vermicompost increased the total of inflorescence by 31 %, the number of produced pods by 36 %, 16 % that of harvested pods, 34 % in number of seeds and 33 % in seed biomass (yield) per plant. Negative effect of suspending irrigation was observed on the number of pods and seeds and on seed yield; however, with 3 % of vermicompost susceptible and tolerant cultivar increased the number of pods by 17 and 15 %, as well as the amount of seeds by 28 and 48 %, and seed yield by 15 and 50 %. Interactions between factors showed different reaction of cultivars to water stress, vermicompost, and their combination. It was observed that vermicompost in substrate modifies the soil-plant system and diminishes the negative reaction of common bean crops to water stress, since it significantly increases their yield.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: noviembre, 2010. Aprobado: noviembre, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 37-50. 2012.

Key words: stress, flowering, seed, modified substrate, pods.

Palabras clave: estrés, floración, semilla, sustrato modificado, vainas.

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México ocupa el segundo lugar por superficie cultivada y el sexto por valor de la producción; su importancia es ancestral y es la base de la alimentación y fuente de nutrientes desde la época prehispánica (Celis-Velazquez *et al.*, 2010). La producción de este cultivo es afectada por la sequía, pues alrededor de 85 % de la superficie usada en México se ubica en regiones con régimen de temporal, periodos frecuentes de sequía intermitente o terminal (Acosta-Díaz *et al.*, 2003) y suelos someros, con bajo contenido de materia orgánica y capacidad limitada para retener humedad (Rosales-Serna *et al.*, 2000). La restricción de humedad en la fase reproductiva de frijol (Acosta-Díaz *et al.*, 2003) y otras leguminosas (garbanzo: *Cicer arietinum* L.; haba: *Vicia faba* L.; soya: *Glycine max* L.) disminuye el rendimiento en mayor proporción que cuando sólo afecta la fase vegetativa; durante las etapas de floración, formación de vaina y llenado de grano, disminuye hasta en 50 y 72 % el número de vainas y el rendimiento, lo cual depende de la intensidad del déficit de agua y la tolerancia del cultivar (Liu *et al.*, 2004; Ghassemi-Golezani *et al.*, 2009; Fang *et al.*, 2010).

El mejoramiento genético es una opción para estabilizar las diferencias entre cultivares e incrementar el rendimiento de frijol bajo restricción de humedad, en parte mediante la identificación de genotipos cuya diferencia de rendimiento de grano con riego sea mínima respecto a la condición de secano (Rosales-Serna *et al.*, 2000). Sin embargo, la complejidad de las respuestas fenotípicas al déficit de humedad dificulta el mejoramiento para la tolerancia a sequía. La evaluación de cultivares con origen genético común y respuestas contrastantes al estrés por sequía ha permitido identificar cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos propios de la especie y contrastantes entre los cultivares (Peña-Valdivia *et al.*, 2005).

La adición de cantidades pequeñas de materia orgánica al suelo incrementa su capacidad para retener humedad debido a una correlación positiva entre el contenido de materia orgánica y el agua disponible (Hudson, 1994; Julca-Otiniano *et al.*, 2006). Al respecto, la aplicación de vermicompost aumenta la

INTRODUCTION

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in México occupies the second place in cultivated area, and the sixth place by production value; its importance is ancient and the base of food supply, and the source of nutrients since Pre-Hispanic times (Celis-Velazquez *et al.*, 2010). The production of this crop is affected by drought, since about 85 % of the area used in México to common bean cultivation is located in regions with seasonal rainfall with frequent periods of intermittent or terminal drought (Acosta-Díaz *et al.*, 2003), and shallow soils with low content of organic matter and limited water retaining capacity (Rosales-Serna *et al.*, 2000). Water stress in the reproductive phase of common bean (Acosta-Díaz *et al.*, 2003) and other legumes (chickpea: *Cicer arietinum* L.; broad bean: *Vicia faba* L.; soy bean: *Glycine max* L.) diminishes yield in larger proportion than when only the vegetative period is affected; during flowering periods, pod formation, and grain-filling stages the amount of pods and yield are reduced up to 50 and 72 % depending on the intensity of the water deficit and tolerance of the cultivar (Liu *et al.*, 2004; Ghassemi-Golezani *et al.*, 2009; Fang *et al.*, 2010).

Plant breeding is an option to stabilize the differences among cultivars and to increase common bean yield under water stress, partly by means of identifying genotypes with small difference in grain yield under both irrigation and rainfed conditions (Rosales-Serna *et al.*, 2000). Nevertheless, the complexity of phenotype response to water deficit makes improvement for drought tolerance difficult. Assessment of cultivars with common genetic origin and contrasting response to drought stress has allowed identifying morphological, physiologic, and biochemical changes, typical of the species and contrasting among cultivars (Peña-Valdivia *et al.*, 2005).

Addition of small amounts of organic input to the soil increases its capacity of water retention, due to positive correlation between content of organic matter and available water (Hudson, 1994; Julca-Otiniano *et al.*, 2006). Regarding this, application of vermicompost increases soil organic matter and improves some of its physical characteristics, such as the amount of hydrostable aggregates, bulk density, and porosity, which promote the flow of air and

materia orgánica del suelo y mejora algunas de sus características físicas, como la cantidad de agregados hidro-estables, la densidad aparente y la porosidad, que favorecen el flujo de aire y agua y el desarrollo radicular de las plantas. Pero los efectos del vermicompost dependen de su naturaleza bioquímica y nivel de humificación, la cantidad y frecuencia de su aplicación, las características del suelo, el clima y las prácticas agrícolas (Azarmi *et al.*, 2008; Abiven *et al.*, 2009; Tejada *et al.*, 2009).

El objetivo de este estudio fue conocer el efecto de la adición de vermicompost al suelo en el rendimiento de frijol en condiciones de déficit de humedad en la etapa reproductiva. La hipótesis fue que el vermicompost modifica el sistema suelo-planta, *e.g.* aumenta la retención de humedad por el aumento de materia orgánica, y disminuye el efecto del déficit de humedad en el rendimiento y sus componentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en un invernadero en el verano de 2009 en el Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 27' N, 98° 54' O y 2220 m). La humedad relativa del invernadero, evaluada con un medidor tipo "data logger" (HOBO U12-011, USA), fluctuó de 47 a 65 % durante el estudio. La temperatura de las hojas de reciente exposición se tomó como control del ambiente sobre la planta y se midió en todos los tratamientos entre las 14 y las 15 h durante el ciclo de cultivo con un termómetro con sensor de infrarrojo (INFRA-PRO¹ 35639-00, OAKTON, USA), y los valores variaron de 25 a 30 °C.

Se usaron los cultivares de frijol 92 y 122, caracterizados como tolerante y susceptible a la sequía, y con hábito de crecimiento tipo II. Los cultivares están emparentados y derivaron de familias F3 de la cruce de los progenitores AC1028 × Pinto Sierra; aumentaron diez generaciones durante 1988 y 1990 (Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998) y se seleccionaron con base en su comportamiento fisiológico, morfológico y de rendimiento de semilla, en condiciones de déficit de humedad en el suelo y de valles altos mexicanos (Rodríguez, 2008).

Las semillas usadas se multiplicaron en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el ciclo primavera-verano de 2008. Las semillas cosechadas de ambos cultivares tuvieron humedad (10.09 %) y germinación (84.5 %) similar ($p > 0.05$) y las del cv. 122 fueron 28 % más pesadas ($p \leq 0.05$) que las del cv. 92 (0.32 y 0.26 g).

El vermicompost se adquirió en el Módulo de Abonos Orgánicos y Lombricultura de la Universidad Autónoma Chapingo,

water, and plant root development. But the effects of vermicompost depend on its biochemical nature and the level of humification, quantity, and frequency of its application, soil properties, climate, and agricultural practices (Azarmi *et al.*, 2008; Abiven *et al.*, 2009; Tejada *et al.*, 2009).

The objective of this study was to evaluate the effect of vermicompost addition to the soil and in common bean yield of plants growing under conditions of water stress during the reproductive stage. The hypothesis was that vermicompost modifies the soil-plant system, *e.g.* it increases water retention by increment of organic matter, and diminishes the effect of water deficit on performance and its components.

MATERIALS AND METHODS

The research was carried out in the summer 2009 in a greenhouse at the Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 27' N, 98° 54' W, at 2220 m above sea level). Relative humidity of the greenhouse, evaluated with a measuring device, type data logger (HOBO U12-O11, USA) fluctuated between 47 and 65 % during the study. The temperature of recently exposed leaves was taken as control of the environment above the plant, and in all the treatments between 14:00 and 15:00 h during the crop cycle, it was measured with an infrared sensor thermometer (INFRA-PRO¹ 35639-00, OAKTON, USA), and the recorded values were between 25 and 30 °C.

Common bean cultivars 92 and 122 were utilized, described as tolerant and susceptible to drought, and with growth habit type II. The cultivars are related and derived from F3 families crossing parents of AC1028 × Pinto Sierra; ten generations were increased during 1988 and 1990 (Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998) and selected based on their physiologic, morphological performance, and seed yield under conditions of water stress in soil and of Mexican high valleys (Rodríguez, 2008).

The seeds were reproduced at Campus Montecillo of the Colegio de Postgraduados, in the spring-summer cycle of 2008. The harvested seeds of both cultivars had similar ($p > 0.05$) humidity (10.09 %) and germination (84.5 %), and those of cv. 122 weighed 28 % more ($p \leq 0.05$) than those of cv. 92 (0.32 and 0.26 g).

Vermicompost was acquired at the Módulo de Abonos Orgánicos y Lombricultura (Module of Organic Inputs and Vermiculture) of the Universidad Autónoma Chapingo, Mexico, and elaborated with a mixture of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) harvest residues, dry ash tree leaves (*Fraxinus excelsior*),

México, y fue elaborado con una mezcla de residuos de cosecha de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), hojas secas de fresno (*Fraxinus excelsior*) y estiércol bovino (40:20:40). El suelo usado se extrajo de los primeros 20 cm de profundidad de una parcela agrícola de Texcoco, México, con textura migajón arcillo-arenoso. Las mezclas evaluadas se prepararon con 1.5 y 3 % de vermicompost (40 y 80 t ha⁻¹). Las características físicas y químicas del suelo y las mezclas se evaluaron en el área de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, Montecillo. El pH del agua fue 7.4 y conductividad eléctrica de 0.53 dS m⁻¹, valores dentro de los intervalos usados en la clasificación de la calidad de agua para riego (Ayers and Wescot, 1985). No se detectaron plagas o enfermedades en las plantas durante el estudio.

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos y cinco repeticiones. Los factores y niveles estudiados fueron: 1) cultivar o línea de frijol, susceptible (cv. 122) y tolerante (cv. 92) a sequía; 2) régimen de riego, durante el ciclo completo de crecimiento (control) y suspensión de riego desde la floración y hasta la cosecha; y 3) sustrato, vermicompost en el suelo (0, 1.5 y 3 %). Hubo 12 tratamientos y 60 unidades experimentales. La unidad experimental fue una maceta con dos plantas y las variables del rendimiento se expresan por planta

En macetas con 12 L de capacidad y 10 kg de cada uno de los tres sustratos se sembraron tres semillas de los cultivares. Cuando la primera hoja trifoliolada estuvo expuesta se aclaró, para mantener las dos plantas que parecieran tener crecimiento homogéneo y mayor vigor. Las plantas se mantuvieron con riego suficiente para conservar el sustrato con humedad aprovechable entre 80 y 100 %, lo que se comprobó con control gravimétrico de las macetas.

Después de 59 d de la siembra y cuando más de 50 % de las plantas estaban en floración se organizaron dos grupos de macetas de cada sustrato y cultivar: un grupo se mantuvo con el mismo régimen de riego y en el otro se suspendió el riego hasta la madurez fisiológica del cultivo.

Las inflorescencias y las vainas se contabilizaron semanalmente 50 d después de la siembra (DDS) y hasta la cosecha en tres unidades experimentales seleccionadas aleatoriamente de cada tratamiento. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de los datos con el procedimiento GLM de SAS, versión 9, y los supuestos del diseño de mediciones repetidas con los supuestos del modelo de parcelas divididas, donde las combinaciones factoriales equivalen al efecto de las parcelas completas y las mediciones repetidas en el tiempo equivalen al efecto de las subparcelas (Kuehl, 2001). Se obtuvo la significancia de los efectos de los factores principales y sus interacciones y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Las vainas se cosecharon manualmente 98 DDS en los tratamientos con suspensión de riego y 125 DDS en los de riego

and cattle manure (40:20:40). Used soil was extracted from the first 20 cm of depth from an agricultural lot of Texcoco, México, its texture was sandy loam. The assessed mixtures were prepared with 1.5 and 3 % of vermicompost (40 and 80 t ha⁻¹). Physical and chemical characteristics of the soil and the mixtures were assessed in the area of Soil Physics of the Colegio de Postgraduados, Montecillo. Water pH was 7.4 and electric conductivity of 0.53 dS m⁻¹, values within the intervals used for classification of irrigation water quality (Ayers and Wescot, 1985). Pests or diseases were not detected in the plants during the study.

The experimental design was completely randomized with factorial arrangement of treatments and five replications. The studied factors and levels were: 1) cultivar or common bean row, susceptible (cv. 122) and tolerant (cv. 92) to drought; 2) irrigation regime, during the complete plant growth cycle (control) and suspension of irrigation since flowering stage and until harvest; and 3) substrate, vermicompost in soil (0, 1.5, and 3 %). There were 12 treatments and 60 experimental units. The experimental unit was a pot with two plants, and yield variables are expressed per plant.

Three seeds of the cultivars were sown in flowerpots of 12 L and 10 kg capacity of each of the three substrates. When the first trifoliolate leaf was exposed, the plant was thinned in order to maintain those two plants with homogeneous growth and greater vigor. The plants were kept under sufficient irrigation to conserve the substrate with usable humidity between 80 and 100 %, which was verified by gravimetric control of the pots.

After 59 d of sowing and when more than 50 % of the plants were in the flowering period, two groups of containers of each substrate and cultivar were organized: one of them was kept with the same irrigation regime, and in the other one irrigation was suspended until the crop had reached physiological maturity.

Inflorescence and pods were counted weekly starting 50 d after sowing (DDS) and until harvesting in three randomly selected experimental units, from every treatment. Analysis of variance (ANOVA) of the data was conducted with GLM procedure of SAS, version 9, and the assumptions of the design of repeated measurements were made with the assumptions of split plots design, where the factorial combinations are equivalent to the effect of complete plots and the measurements repeated in time to the effect of subplots (Kuehl, 2001). Significance of the effects of principal factors and their interactions was obtained, and means comparison means was carried out with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

Pods were harvested by hand at 98 DDS in the treatments with irrigation suspension, and those of continuous irrigation at 125 DDS. Total pods, empty and normal ones, were assessed; seeds per pod, and seed biomass (g) per plant were also quantified. Data were processed by ANOVA and by Tukey test ($p \leq 0.05$). In

continuo. Se cuantificaron las vainas totales, vanas y normales, semillas por vaina y biomasa de las semillas (g) por planta. Los datos se analizaron con un ANDEVA y con la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Para conocer la uniformidad del tamaño (peso) de semilla se obtuvo la distribución de frecuencias de la biomasa seminal individual de una muestra de 100 de ellas de cada tratamiento (resultados no mostrados).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La hipótesis de la disminución del efecto del déficit de humedad en el rendimiento y sus componentes por el vermicompost en el sustrato condujo a la evaluación de sus características físicas y químicas y los cambios debidos al vermicompost (Cuadro 1). En contraste con lo observado por Abiven *et al.* (2009), sobresalió la ausencia de significancia de la disminución de la densidad aparente y del incremento de la materia orgánica con 3 % de vermicompost. Sin embargo, los cambios de las características físicas y químicas del suelo, *e.g.* desestabilidad de su estructura por los cationes monovalentes como el Na^+ , por la adición de compost dependen de la composición de este último y de la cantidad aplicada (Tejada *et al.*, 2009). En contraste, la porosidad incrementó significativamente (hasta 7 %) y en proporción con el vermicompost (Cuadro 1), con lo que puede favorecerse el flujo de aire y agua y del desarrollo radicular de las plantas (Abiven *et al.*, 2009). El incremento

order to recognize uniformity of seed size (weight), frequency of distribution of individual seminal biomass were obtained from a 100 seed sample of each treatment (results not shown).

RESULTS AND DISCUSSION

The hypothesis of diminution of water stress on yield and its components by vermicompost led to the evaluation of substrate physical and chemical properties and its changes due to vermicompost (Table 1). Contrasting with the observations made by Abiven *et al.* (2009), missing significance of diminution of apparent density and of increasing organic matter by 3 % of vermicompost, was outstanding. However the changes of physical and chemical soil characteristics, for example, instability of its structure by the monovalent cations, such as Na^+ by addition of compost, depend on the composition of the latter and the applied quantity (Tejada *et al.*, 2009). In contrast to the aforesaid, porosity increased significantly (up to 7 %) and in proportion to vermicompost (Table 1), thus, air and water flow may be favored, as well as plant root development (Abiven *et al.*, 2009). The significant increment of permanent wilting point (PMP) did not show obvious relation with usable humidity or with the water layer (Table 1). This indicates that the water layer, required to reach the content corresponding to usable water, is different in every substrate and the control.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los sustratos evaluados en el rendimiento de frijol con riego y déficit de humedad.
Table 1. Physical and chemical properties of the assessed substrates and common bean yield with irrigation and water stress.

	Vermicompost en el sustrato		
	0 %	1.5 %	3.0 %
Cationes intercambiables			
Ca^{2+} (cmol kg^{-1})	15.30 b	16.60 a	15.26 b
Mg^{2+} (cmol kg^{-1})	6.40 ab	5.70 b	7.43 a
Conductividad eléctrica (dS m^{-1})	0.91 b	1.22 a	1.25 a
Densidad aparente (g cm^3)	1.37 a	1.35 a	1.30 a
Materia orgánica (%)	1.57 a	1.57 a	1.66 a
pH	7.77 a	7.67 c	7.71 b
Porosidad total (%)	45.06 b	45.73 a	48.33 a
Capacidad de campo (%)	12.4 a	12.9 a	12.8 a
PMP (%)	6.7 b	7.4 a	7.7 a
Humedad aprovechable (%)	5.6 a	5.4 a	5.1 a
Lámina de agua con humedad aprovechable (cm)	1.5 a	1.4 ab	1.3 b

Medias con letra diferente en una hilera son significativamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$) ♦ Means with different letter in a row are significantly different Tukey ($p \leq 0.05$).

PMP: punto de marchitez permanente ♦ permanent wilting point.

significativo del punto de marchitez permanente (PMP) no mostró relación aparente con la humedad aprovechable ni con la lámina de agua (Cuadro 1). Esto indica que la lámina de agua requerida para alcanzar el contenido que corresponda a la humedad aprovechable es diferente en cada sustrato y el testigo.

El nivel de vermicompost y humedad afectaron el número total de inflorescencias ($p \leq 0.01$) de ambos cultivares. La suspensión de riego disminuyó 16 % su producción, respecto a la condición con riego, mientras que el vermicompost, independiente del cultivar y la humedad disponible, incrementó entre 19 y 31 % las inflorescencias. El patrón de floración fue desigual entre los cultivares (Figura 1 A-B) por efecto del vermicompost, del déficit de humedad y por su combinación, aunque, la cantidad media de inflorescencias durante el ciclo fue similar entre ellos. El cv. 122, susceptible a sequía, mostró entre 46 y 56 % del número máximo de sus inflorescencias 50 DDS, alcanzó la floración máxima 57 DDS y luego decayó sincrónica e independiente del sustrato y humedad disponible (Figura 1 A). En contraste, la floración del cv. 92, tolerante a sequía, independiente del sustrato y condición de humedad y en todas las condiciones alcanzó el máximo de floración 57 DDS; además, la proporción máxima de inflorescencias se mantuvo constante por 7 d en los tratamientos con 1.5 % de vermicompost y suspensión de riego, 3 % de vermicompost con riego, y en el testigo con déficit de humedad (Figura 1 B). Estos resultados muestran que el vermicompost y la restricción de humedad en el suelo modificaron la fenología de la floración (etapa R6; Fernández *et al.*, 1983) sólo en el cv. 92.

La producción de vainas o etapa R7 (Fernández *et al.*, 1983) fue significativamente mayor en el cv. 122 (24 %) respecto al 92, independiente de la condición de humedad y vermicompost en el sustrato, aunque un 3 % incrementó significativamente entre 29 y 57 % la producción de vainas, independiente del cultivar y la condición de humedad (Cuadro 2). La producción de vainas en el tiempo también contrastó entre los cultivares. Así, en el cv. 122 la producción fue acelerada y sincrónica entre sus tratamientos, alcanzó los valores máximos 64 DDS y luego decayó independiente de las condiciones de cultivo, y en el cv. 92 el incremento fue paulatino después de 50 DDS, en los testigos alcanzó el máximo 70 DDS y en otros tratamientos hasta los 78 DDS, independiente de la disponibilidad de humedad y la presencia

The level of vermicompost and humidity affected the total amount of inflorescence ($p \leq 0.01$) of both cultivars. Irrigation suspension diminished inflorescence production by 16 %, with respect to plants under irrigation, whereas vermicompost, regardless of cultivar and available humidity, increased inflorescence between 19 and 31 %. The flowering pattern was unequal among cultivars (Figure 1 A-B) by the effect of vermicompost, water shortage, and because of their combination, even though the mean quantity of inflorescences during the cycle was similar among them. Cultivar 122, drought-susceptible, had between 46 and 56 % of the largest number of inflorescence at 50 DDS, reaching the maximum of flowering at 57 DDS; then it declined simultaneously and independently of substrate and water availability (Figure 1 A). On the contrary, flowering of cv. 92, drought-tolerant, not depending on substrate and water condition, and under any condition reached the peak of flowering at 57 DDS; furthermore, the highest proportion of inflorescences was maintained constant for 7 d, in the treatments with 1.5 % of vermicompost and irrigation suspension, 3 % of vermicompost and irrigation, and in the control with water shortage (Figure 1 B). These results show that vermicompost and water restriction in soil modified flowering phenology (stage R6; Fernández *et al.*, 1983) only in cv. 92.

Pod production or stage R7 (Fernández *et al.*, 1983) was significantly larger in cv. 122 (24 %) than in 92, regardless of humidity condition and vermicompost in substrate, although 3 % increased pod production significantly between 29 and 57 % independently of cultivar and water condition (Table 2). Production of pods in time also contrasted among the cultivars. Thus, in cv. 122 the production was faster and simultaneous among its treatments, reached the highest values at 64 DDS and then declined, regardless of cultivar condition, and in cv. 92, the increment was gradual after 50 DDS and reached the peak in the controls at 70 DDS and in other treatments until 78 DDS, notwithstanding water availability and presence of vermicompost. The exception was the treatment with 3 % of vermicompost and irrigation suspension, which reached the peak at 57 DDS and then declined significantly (Figure 1 C-D). These results indicate that the combination of vermicompost with water restriction in substrate modified phenology of the

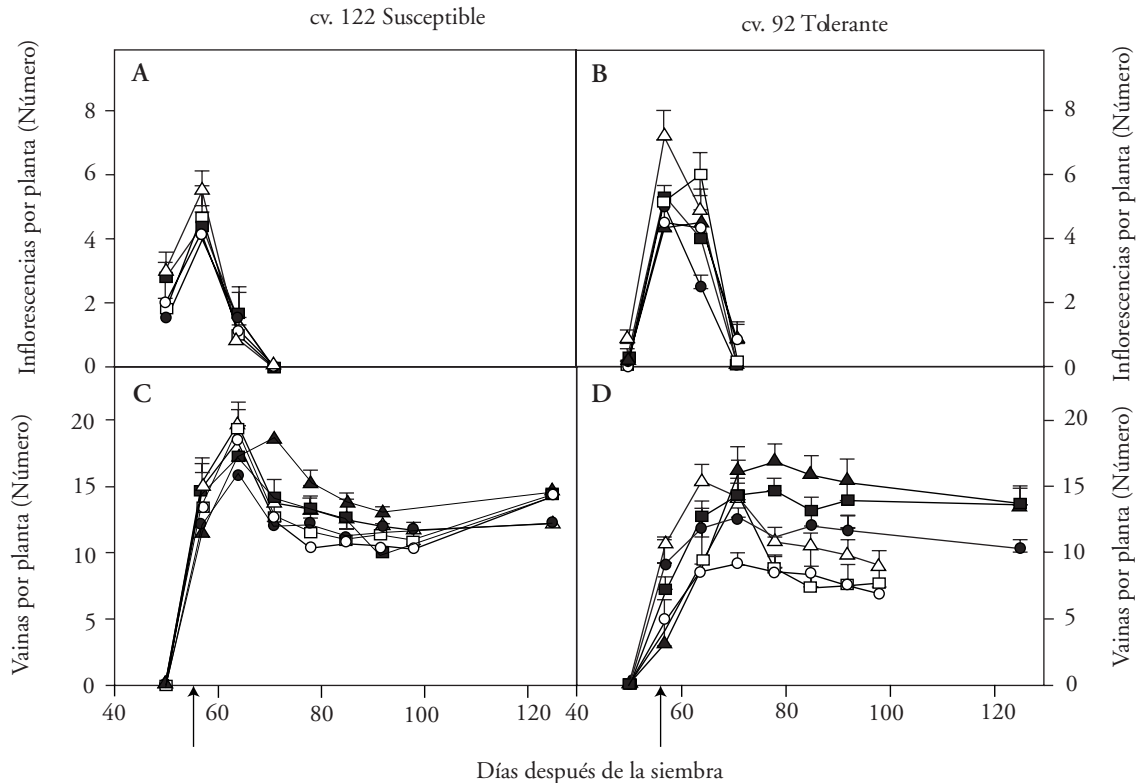


Figura 1. Producción de inflorescencias (A, B) y vainas (C, D) en frijol, susceptible y tolerante a sequía, cultivado en invernadero con diferentes sustratos. Las flechas en las abscisas señalan la suspensión de riego en los tratamientos. La cosecha de los tratamientos con suspensión de riego y riego continuo se realizó después de 98 y 125 días de la siembra. Suelo (●, ○), suelo con 1.5 % de vermicompost (■, □) y suelo con 3 % de vermicompost (▲, △). Símbolos llenos corresponden a los tratamientos con riego continuo y los vacíos a aquellos con suspensión.

Figure 1. Inflorescence production (A, B) and pods (C, D) of common bean, susceptible and tolerant to drought, cultivated in greenhouse with different substrates. Arrows pointers in abscissas indicate irrigation suspension in the treatments. The harvest of treatments with irrigation suspension and continuous watering was carried out at 98 and 125 days after sowing. Soil: (●, ○), soil with 1.5 % of vermicompost (■, □) and soil with 3 % of vermicompost (▲, △). Filled (black) symbols correspond to treatments with continuous irrigation, and empty symbols to those with water suspension.

de vermicompost. La excepción fue el tratamiento con 3 % de vermicompost y suspensión de riego, que alcanzó el máximo 57 DDS y luego decayó significativamente (Figura 1 C-D). Estos resultados indican que la combinación de vermicompost y suspensión del riego en el sustrato modificó la fenología de la etapa reproductiva del cv. 92 y que su respuesta a estas condiciones fue diferente al cv. 122.

Las interacciones significativas ($p \leq 0.01$) detectadas entre el cultivar y el tiempo de producción y entre la concentración de vermicompost y el tiempo de producción de vainas indican que la producción de vainas dependió del cultivar, duración de la etapa reproductiva y del contenido de vermicompost. Sin embargo, el número de vainas producidas durante el

reproductive period of cv. 92 and that its response to these conditions was other than that of cv. 122.

Significant interactions ($p \leq 0.01$) detected between cultivar and production time and between vermicompost concentration and the time of pod production indicate that pod production depended on the cultivar, the duration of reproductive stage, and on vermicompost content. Nevertheless, the number of pods produced during the crop cycle increased with vermicompost content (Figure 1 C-D).

Abscission of reproductive structures by effect of water shortage occurs in common bean (Acosta-Díaz *et al.*, 2003; Catañeda *et al.*, 2009), chickpea (Leport *et al.*, 2006), and soy bean (Liu *et al.*, 2004).

Cuadro 2. Prueba de medias para los niveles de factores evaluados en el rendimiento y sus componentes por planta, de cultivares de frijol susceptible y tolerante a sequía, cultivados en invernadero, en suelo sin o con vermicompost, y riego en el ciclo completo o su suspensión a partir de la floración.

Table 2. Test of means for factors levels, evaluated in yield and their components per plant of common bean cultivars, susceptible and tolerant to drought, cultivated in greenhouse, in soil with and without vermicompost, and continuous irrigation or its suspension starting from flowering.

Factor	Vainas			Semillas		
	Totales (Número)	Normales (Número)	≥Una semilla abortada (Número)	Vanas (Número)	Totales (Número)	Biomasa (g)
Cultivar						
Susceptible	12.2 a	2.8 a	5.6 b	3.3 a	31.0 a	8.3 a
Tolerante	10.2 a	1.9 b	7.0 a	1.2 b	28.0 a	6.8 b
DMS	1.70	0.64	1.22	0.64	4.40	1.20
Humedad						
Riego	12.4 a	2.8 a	7.5 a	2.5 a	35.7 a	9.8 a
Suspensión de riego	9.3 b	1.8 b	5.0 b	2.0 a	23.0 b	5.2 b
DMS	1.70	0.64	1.22	0.64	4.40	1.20
Vermicompost						
0.0 %	10.2 b	2.8 b	4.8 b	3.1 a	25.6 c	6.6 c
1.5 %	11.6 a	2.6 b	7.2 a	2.2 b	31.3 b	7.9 b
3.0 %	11.9 a	3.2 a	7.1 a	3.1 a	34.4 a	8.8 a
CME	21.40	3.12	11.19	3.11	147.60	10.84

Valores con diferente letra en una columna son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$); $n=10$ ♦ Means with different letter in a column are significantly different ($p \leq 0.05$); $n=10$.

DMS: Diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$) ♦ Least significant difference ($p \leq 0.05$).

CME: cuadrado medio del error. ♦ Mean square error.

Las medias corresponden a datos de las vainas y semillas de plantas en madurez fisiológica ♦ The means correspond to data of plant pods at physiological maturity.

ciclo de cultivo incrementó con el vermicompost (Figura 1 C-D).

La abscisión de estructuras reproductivas por efecto del déficit de humedad ocurre en frijol (Acosta-Díaz *et al.*, 2003; Castañeda *et al.*, 2009), garbanzo (Leport *et al.*, 2006) y soya (Liu *et al.*, 2004). Sin embargo, éste no fue el caso de la abscisión de vainas en el cv. 122, después de haber alcanzado el valor máximo, pues la caída fue similar en los testigos con y sin déficit de humedad, lo que parece característica propia del cultivar (Figura 1 C). Ambos cultivares alcanzaron la madurez fisiológica sincrónica 98 y 125 DDS en los tratamientos con y sin suspensión de riego, lo cual puede deberse en parte a que ambos poseen el mismo hábito de crecimiento (tipo II). En este estudio se mostró que el déficit de humedad aceleró la maduración de las plantas de ambos cultivares, independiente de la presencia de vermicompost, aunque algunas etapas previas a la maduración de las semillas hayan sido asincrónicas entre los cultivares como fue el caso del inicio de la anthesis (etapa R5),

However, this was not the case of pod abscission in cv. 122, after having reached the highest value, since the dropping was similar in the controls with and without water shortage, which seems to be typical of the cultivar (Figure 1C). Both cultivars reached simultaneously physiological maturity 98 and 125 DDS in the treatments with or without irrigation suspension, which may partly be due to the fact that both have the same growth habit (type II). In this study, it was observed that water shortage advanced plant maturation of both cultivars, regardless of vermicompost presence, although some steps previous to seed maturation may have been no synchronic among the cultivars, such as in the case of the beginning of anthesis (stage R5), flowering, and pod formation (R6 and R7), lower and higher in cv. 92 compared to 122 (Figure 1 C-D).

Even though the harvest of both cultivars had a similar number of pods per plant, regardless of water condition and vermicompost in soil, the characteristics of the pods used for qualifying yield

floración y formación de vainas (etapas R6 y R7), menor y mayores, en el cv. 92 comparado con el 122 (Figura 1 C-D).

Aunque en la cosecha ambos cultivares tuvieron número similar de vainas por planta, independiente de la condición de humedad y presencia de vermicompost en el suelo, las características de las vainas usadas para calificar el rendimiento contrastaron entre ellos. Así, el número de vainas vanas puede tener uno de los efectos mayores, pues la planta asigna recursos para su desarrollo pero éstos no se transforman en semilla. En promedio, el cv. 122 generó casi el doble de vainas vanas respecto al cv. 92; sin embargo, el primero tuvo rendimiento de semilla 22 % mayor que el segundo, lo que pudo deberse a las características del genotipo; pues de origen el cv. 122 presentó semillas con mayor peso (Cuadro 2).

El déficit de humedad afectó la producción de vainas negativa e independientemente del sustrato y cultivar, pues disminuyó 25 % y de las vainas cosechadas sólo 20 % fueron normales (*i.e.* bien desarrolladas, sin deformaciones y sin semillas abortadas). Además, la restricción de humedad disminuyó la producción de semillas y el rendimiento decayó cerca de 50 %, respecto a la producción con riego continuo (Cuadro 2).

Los resultados del estudio mostraron el efecto positivo del vermicompost, independiente de la humedad disponible y el cultivar, pues las dos proporciones evaluadas incrementaron 15 % el número de vainas cosechadas. Aunque con 3 % de vermicompost se produjo la misma cantidad de vainas vanas que sin él, aumentó la cantidad de semillas por planta (22 a 34 %) y su biomasa o rendimiento (20 a 33 %), con 1.5 y 3 % de vermicompost (Cuadro 2). El incremento de frutos y semillas promovido por el vermicompost, independiente del cultivar y disponibilidad de humedad (Cuadro 2), puede explicarse como el resultado de su aporte de algunos compuestos, como ácidos húmicos y fitohormonas (Arancon *et al.*, 2006), y actividad microbiana (Masciandaro *et al.*, 2000), que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Roy *et al.*, 2010) como el frijol (Fernández-Luqueño *et al.*, 2010). En el presente estudio el pH del sustrato disminuyó con la cantidad de vermicompost adicionado (Cuadro 1), lo cual puede incrementar la disponibilidad de macro y micronutrientes (Azarmi *et al.*, 2008).

El análisis de los factores individuales mostró que el cv. 122 produjo en promedio 41 % más vainas con

contrastado among them. Thus, the amount of empty pods may have one of the major effects, since the plant assigns resources to its development, but these do not transform into seed. On average, cv. 122 produced nearly twice the pods with respect to cv. 92; in consequence the first had 22 % greater seed yield than the latter, which may be due to the properties of the genotype, since the origin of cv. 122 had seeds with higher weight (Table 2).

Water shortage affected negative pod production and regardless of substrate or cultivar, since it diminished 25 %, and only 20 % of the harvested pods were normal (in other words: well developed, without deformations and without aborted seeds). Furthermore water restriction diminished seed production, and yield declined to about 50 %, compared to the production under continuous irrigation (Table 2).

The results of the study proved the positive effect of vermicompost, independently of water availability and the cultivar, since the two assessed proportions increased the number of harvested pods by 15 %. Although with 3 % of vermicompost the same amount of empty pods was produced, with and without it; the quantity of seeds per plant (22 to 34 %) and their biomass or yield (20-33 %) increased with 1.5 and 3 % of vermicompost (Table 2). Increment of fruits and seeds, produced by vermicompost, regardless of cultivar and water availability (Table 2), may be explained as the result of its contribution of some compounds, such as humic acids and phytohormones (Arancon *et al.*, 2006) and microbial activity, which advance growth and plant development (Roy *et al.*, 2010) such as common bean (Fernández-Luqueño *et al.*, 2010). In the present study, substrate pH diminished with an additional amount of vermicompost (Table 1), which may increase availability of macro- and micro-nutrients (Azarmi *et al.*, 2008).

The analysis of individual factors showed that cv. 122 on average produced 41 % more pods with irrigation limitation, with and without vermicompost, compared to cv. 92; however, the positive effect of vermicompost was observed in both cultivars and water conditions, since with irrigation and its suspension, pod production increased between 11 and 25 % (Figure 2 A-B). It was outstanding that the cv. 122 (drought-susceptible) irrigation suspension and vermicompost may have generated larger amount of pods than that of cv. 92 (Figure 2 A-B);

la suspensión de riego, con y sin vermicompost, respecto al cv. 92; sin embargo, el efecto positivo del vermicompost se observó en ambos cultivares y condiciones de humedad, pues con riego y su suspensión la producción de vainas incrementó entre 11 y 25 % (Figura 2 A-B). Destacó que el cv. 122 (susceptible a sequía) sin vermicompost suspensión de riego haya generado mayor cantidad de vainas que el cv. 92 (Figura 2 A-B); sin embargo, 43 % de ellas eran vanas (Figura 2 C-D). Lo anterior indica que el cv. 92, con las proporciones mayores de vainas con semillas normales (29 %), en condiciones de déficit de humedad tiene mejor asignación de recursos para la formación de estas estructuras reproductivas y las que se desarrollan contienen semillas normales.

La interacción entre el cultivar y la condición de riego para el total de vainas cosechadas y vainas

but 43 % of them were empty (Figure 2 C-D). The aforementioned indicates that cv. 92, with the largest proportions of pods with normal seeds (29 %) under conditions of water stress has better assignment for forming these reproductive structures, and those that are developing contain normal seeds.

Interaction between cultivar and irrigation condition for the total of harvested pods and normal pods was significant, which indicates that the production of these structures and their attributes depended on drought-tolerance of the cultivar as well as on water availability.

The mechanisms by which water stress affects the development of the reproductive structures are partly known. Regarding this, low soil water potentials affect cell division, protein synthesis, and metabolism of carbohydrates, diminishing growth or stopping it

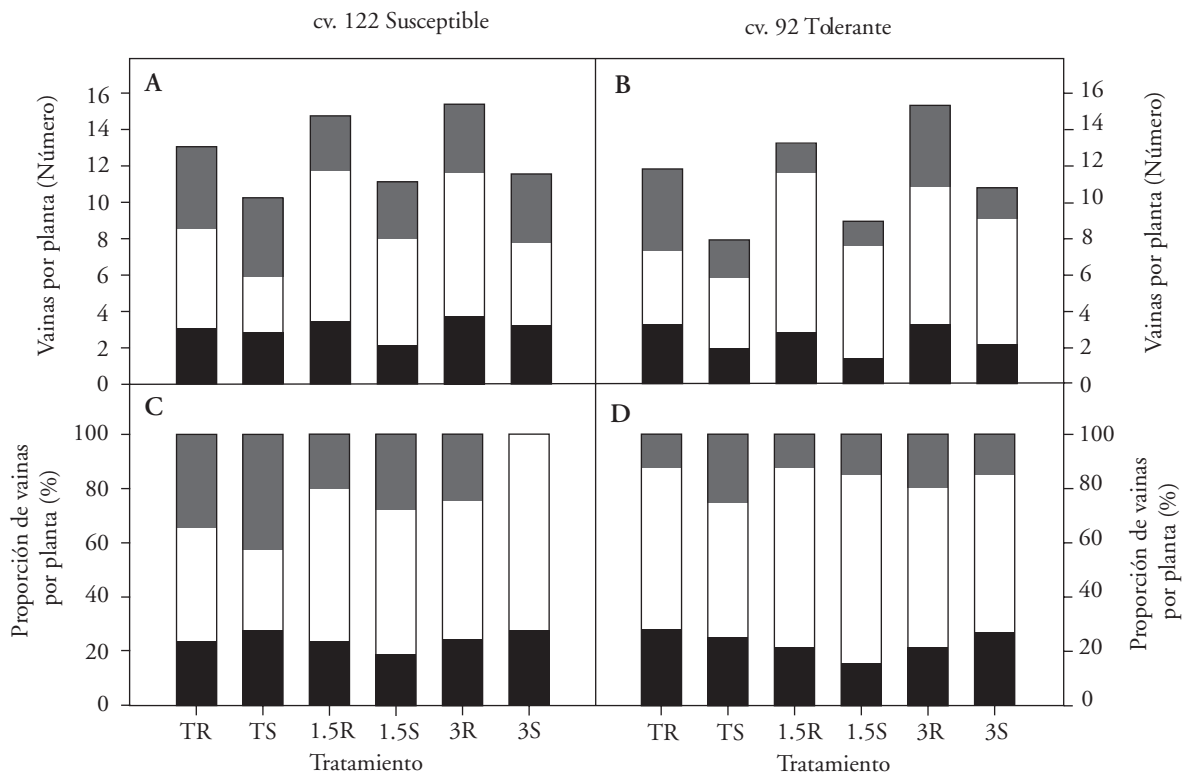


Figura 2. Cantidad (A, B) y proporción (C, D) de vainas normales (sección inferior de las barras), con una o más semillas abortadas (sección intermedia de las barras) y vanas (sección superior de las barras) de frijol susceptible y tolerante a sequía, cultivado en invernadero en diferentes sustratos y riego durante el cultivo o su suspensión a partir de la floración. Tratamientos: testigo (suelo) con riego (TR), testigo con suspensión de riego (TS), suelo con 1.5 % de vermicompost con riego (1.5R) y suspensión (1.5S), suelo con 3 % de vermicompost con riego (3R) y suspensión (3S); n=10.

Figure 2. Quantity (A, B) and proportion (C, D) of normal pods (lower section of bars), with one or more aborted seeds (intermediate bar section) of drought-tolerant common bean or that susceptible to drought, cultivated in greenhouse in different substrates and irrigation during cultivation or its suspension from flowering. Treatments: control (soil) with irrigation (TR), control with irrigation suspension (TS), soil with 1.5 % of vermicompost with irrigation (1.5R) and suspension (1.5S), soil with 3 % of vermicompost with irrigation (3R) and suspension (3S); n=10.

normales fue significativa, lo que indica que la producción de estas estructuras y sus atributos fueron dependientes tanto de la tolerancia del cultivar a la sequía como de la disponibilidad de humedad.

Los mecanismos por los cuales el déficit hídrico puede afectar el desarrollo de estructuras reproductoras se conocen parcialmente. Al respecto, los potenciales de agua del suelo bajos afectan la división celular, síntesis de proteínas y metabolismo de los carbohidratos, que disminuyen o detienen el crecimiento (Liu *et al.*, 2004). En el presente estudio los efectos se expresaron y cuantificaron en las inflorescencias, vainas y semillas porque la suspensión del riego se inició con la floración. También se ha sugerido que dentro de ciertos límites, la caída del potencial de agua de los tejidos, como vainas y semillas, e incluso la falta de asimilados por déficit de humedad no afecta su crecimiento, y el efecto mayor lo generan las señales liberadas por las raíces que activan numerosos procesos fisiológicos (Leport *et al.*, 2006).

El rendimiento de semilla de los testigos con riego fue similares; en ambos, 1.5 y 3 % de vermicompost aumentó el rendimiento de 14 a 32 %. El déficit de humedad en ausencia de vermicompost disminuyó el rendimiento de ambos cultivares (25 a 82 %); en contraste, su presencia fue positiva en la reacción al déficit de humedad y se manifestó como aumento del número de semillas (28 % en el cv. 122 y 48 % en el cv. 92) y por tanto del rendimiento (hasta 30 % y 50 % con 3 % de vermicompost en el cv. 122 y 92) respecto a los testigos, los tratamientos sin vermicompost y suspensión de riego (Figura 3 A-D). El número y tamaño de semillas en frijol son componentes del rendimiento poco asociados a la tolerancia a sequía, pues son características relativamente estables y poco afectadas por el estrés causado por el ambiente; en contraste, esos componentes son más afectados por la duración del periodo reproductivo (Martínez *et al.*, 2007). El presente estudio mostró que la fenología de la reproducción del frijol se redujo cerca de un mes por efecto de la restricción de humedad, lo que apoya la idea de que la eficiencia del uso de agua estuvo dirigida a la supervivencia de las plantas y no al mantenimiento o al incremento del rendimiento. La interacción entre el cultivar y la condición de riego para el número de semillas fue significativa e indica que la producción de semillas depende tanto de la tolerancia del cultivar a la sequía como de la disponibilidad de humedad.

(Liu *et al.*, 2004). In the present study the effects were expressed and quantified in inflorescence, pods, and seeds, due to the fact that irrigation suspension began with flowering. It has also been suggested that within certain limits the drop of water potential of the tissues, such as pods and seeds, even the lack of assimilates by water stress does not have impact on growth, and the highest effect is generated by root signals, which activate numerous physiological processes (Leport *et al.*, 2006).

Seed yield of the controls with irrigation was similar; in both, with 1.5 and 3 % of vermicompost yield increased between 14 and 32 %. Water stress, lacking vermicompost, diminished yield of both cultivars (between 25 and 82 %); in contrast, its presence was positive in the reaction to water deficit and became evident as an increment of number of seeds (28 % in cv. 122 and 48 % in cv. 92) and by yield amount (up to 30 % and 50 % with 3 % of vermicompost in cv. 122 and 92) in comparison with the controls the treatments without vermicompost and suspension of irrigation (Figure 3 A-D). Number of seeds and size of common bean seeds are yield components little associated to drought tolerance, since they are relatively stable characteristics and little affected by stress, caused by the environment; on the contrary, those components are more affected by the duration of the reproductive period (Martínez *et al.*, 2007). The present study showed that common bean reproductive phenology was reduced about one month by the effect of water restriction, which backs the idea that water use efficiency was directed to plant survival, and not to yield maintenance or increment. Interaction between cultivar and irrigation condition was significant for the number of seeds and indicates that seed production depends on drought-tolerance as well as on water availability.

The original size of the largest seed of cv. 122 (22 %) with respect to cv. 92 was maintained in the controls under irrigation; water stress, however, modified this character (Table 3). Although the mean seed size of both cultivars diminished at suspending irrigation, it was considerably larger in the drought-tolerant cultivar (29 %), compared to the one susceptible to drought (17 %), and the presence of vermicompost in soil maintained this difference constant. Besides diminishing the mean seed size, water deficit modified the proportions of seed size in both cultivars (results not shown). This

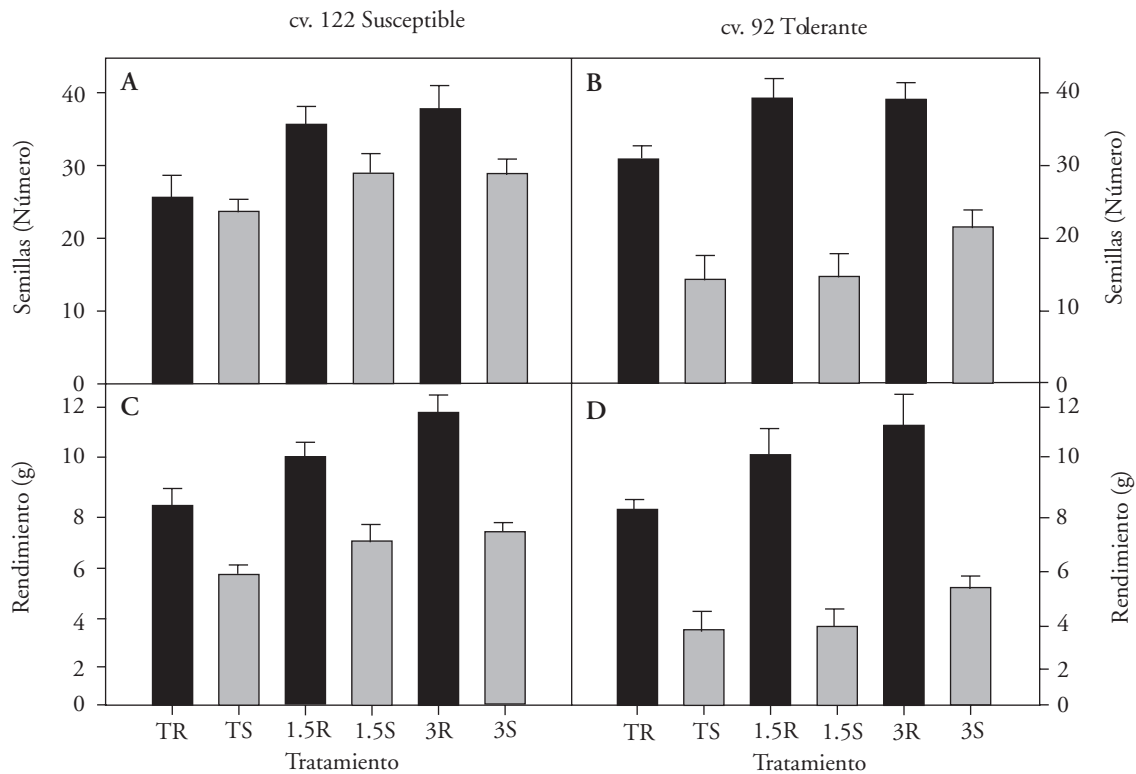


Figura 3. Número (A, B) y biomasa (C, D) de semillas producidas por planta de frijol susceptible y tolerante a sequía cultivado en invernadero en diferentes sustratos y con riego durante el cultivo o su suspensión a partir de la floración. Tratamientos: testigo (suelo) con riego (TR), testigo con suspensión de riego (TS), suelo con 1.5 % de vermicompost con riego (1.5R) y suspensión (1.5S), suelo con 3 % de vermicompost con riego (3R) y suspensión (3S). n=10.

Figure 3. Number (A, B) and biomass (C, D) of seeds produced per common bean plant, susceptible and tolerant to drought, cultivated in greenhouse in different substrates with irrigation during cultivation or its suspension starting from flowering. Treatments: control (soil) with irrigation (TR), control with irrigation suspension (TS), soil with 1.5 % of vermicompost with irrigation (1.5R) and suspension (1.5S), soil with 3 % of vermicompost and irrigation (3R) and suspension (3S). n=10.

El tamaño original de semilla mayor del cv. 122 (22 %) respecto al cv. 92 se mantuvo en los controles con riego; sin embargo, el déficit de humedad modificó este carácter (Cuadro 3). Aunque el tamaño medio de semilla de ambos cultivares disminuyó con la suspensión del riego, fue significativamente mayor en el cultivar tolerante a sequía (29 %) respecto al sensible (17 %) y la presencia de vermicompost en el suelo mantuvo constante esa diferencia. Además de disminuir el tamaño medio de la semilla, el déficit de humedad modificó las proporciones del tamaño de la semilla en ambos cultivares (resultados no mostrados). Esta condición, independiente de la presencia de vermicompost en el sustrato, incrementó la frecuencia de semillas con masa alrededor de los 250 mg y disminuyó o eliminó las de mayor masa.

El efecto positivo del vermicompost en el rendimiento puede deberse en parte al aumento de biomasa

condition, regardless of vermicompost in substrate, increased the frequency of seeds with mass about 250 mg and diminished or eliminated that of larger mass.

The positive effect of vermicompost on yield may partly be due to the increase of plant structure biomass, storing photoassimilates before stress period and going to cover the demand for the development of reproductive structures. Regarding this, Roy *et al.* (2010) indicate that 8 % of vermicompost in substrate increased chlorophyll content in common bean leaves, related to biomass accumulation. Fernández-Luqueño *et al.* (2010) point out that vermicompost addition to soil increased common bean harvest, which was positively related to biomass production and increment of available N. According to Cavender *et al.* (2003), organic input incorporated to soil generally improves soil fertility. In the present study, the changes in substrate with vermicompost

Cuadro 3. Tamaño de semilla (g) de dos cultivares de frijol, susceptible y tolerante (cv. 122 y 92) a sequía, cultivados en suelo, sin o con vermicompost como sustrato, y riego en el ciclo completo o su suspensión a partir de la floración, en condiciones de invernadero.

Table 3. Seed size (g) of two common bean cultivars, susceptible and tolerant to drought (cv. 122 and 92), cultivated in soil with or without vermicompost as substrate and continuous irrigation or its suspension starting from flowering, under greenhouse conditions.

Cultivar	Riego Vermicompost (%)			Suspensión de riego Vermicompost (%)		
	0	1.5	3.0	0	1.5	3.0
Susceptible	0.315 a	0.273 b	0.306 a	0.222 cd	0.225 cd	0.228 cd
Tolerante	0.253 b	0.231 c	0.254 b	0.210 d	0.212 cd	0.212 cd

Valores con diferente letra son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) ♦ Values with different letter are significantly different (Tukey, $p \leq 0.05$).
n=100.

de estructuras que almacenan fotoasimilados previo al periodo de estrés, y que cubrirán la demanda para el desarrollo de las estructuras reproductoras. Al respecto, Roy *et al.* (2010) indican que 8 % de vermicompost en el sustrato incrementó el contenido de clorofila en las hojas de frijol, lo que estuvo relacionado con la acumulación de biomasa. Fernández-Luqueño *et al.* (2010) señalan que la adición de vermicompost al suelo aumentó la cosecha de frijol, lo que estuvo relacionado positivamente con la producción de biomasa y el aumento de N disponible. Según Cavender *et al.* (2003), los productos orgánicos incorporados al suelo en general mejoran la fertilidad del suelo. En el presente estudio los cambios en el sustrato con las mezclas de vermicompost pueden referirse al contenido de cationes intercambiables (Ca^{2+} y Mg^{2+}) lo cual a su vez está relacionado en parte con la conductividad eléctrica significativamente mayor de los sustratos con vermicompost. En el presente estudio la materia orgánica se mantuvo sin cambio significativo, pero hay evidencias de que el aporte de la población microbiana del vermicompost, evaluada mediante la actividad deshidrogenasa, acelera los procesos de degradación de la materia orgánica, lo que contribuye a incrementar el rendimiento de los cultivos (Arancon *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

La modificación de algunas características físicas y químicas del suelo, como el aumento de la porosidad, disminución de la lámina de agua, disminución del pH y aumento de la conductividad eléctrica,

mixtures may refer to the content of interchangeable cations (Ca^{2+} and Mg^{2+}) which in turn is partly related to electric conductivity significantly higher than the substrates with vermicompost. Organic matter was maintained without considerable change, but there is evidence that the contribution of microbial population of vermicompost, assessed by means of dehydrogenase activity, promotes the degradation processes of organic matter, which contributes to increasing crop yield (Arancon *et al.*, 2005).

CONCLUSIONS

The modification of some physical and chemical soil properties, such as increment of porosity, diminution of water layer, pH diminution, and increase of electric conductivity, promoted by vermicompost, support the hypothesis that it modifies the plant-soil system and reduces the effect of water stress, which may be evaluated by positive effects on yield and their components in common bean. On the other hand, vermicompost did not change other physical and chemical properties of the substrate, such as PMP, usable water and field capacity. Nevertheless, the results support the hypothesis that it does modify the plant-soil system and has repercussion on better plant use of limiting water in the substrate. However, the effect of each assessed factor (cultivar, irrigation regimen, and substrate vermicompost concentration) and the significant interaction of the three factors confirm the complexity of the generated reactions.

—End of the English version—

promovidos por el vermicompost apoyan la hipótesis de que modifica el sistema suelo-planta y disminuye los efectos del estrés por déficit de humedad, lo que puede evaluarse por los efectos positivos en el rendimiento y sus componentes en el frijol. En contraste, el vermicompost no modificó otras características físicas y químicas del sustrato, como PMP, humedad aprovechable y capacidad de campo. Pero los resultados apoyan la hipótesis de que sí modifica el sistema suelo-planta y repercute en el aprovechamiento mayor de la humedad limitante en el sustrato por la planta. Sin embargo, el efecto de cada factor evaluado (tolerancia del cultivar a la sequía, disponibilidad de humedad y modificación del sustrato por vermicompost) y la interacción significativa de los tres factores confirman la complejidad de las reacciones generadas.

LITERATURA CITADA

- Abiven, S., S. Menasseri, and C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis. *Soil Biol. Biochem.* 41: 1-12.
- Acosta-Díaz E., M. D. Amador-Ramírez, y J. A. Acosta-Gallegos. 2003. Abscisión de estructuras reproductoras en frijol común bajo condiciones de secano. *Agric. Téc. Méx.* 29(2):155-168.
- Arancon Q, N., C. A. Edwards, P. Bierman, J. D. Metzger, and C. Lutch. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiology* 49:297-306.
- Arancon Q, N., C. A. Edwards, S. Lee, and R. Byrne. 2006. Effects of humic acids from vermicompost on plant growth. *Eur. J. Soil Biol.* 45: 65-69.
- Ayers, R. S., and D. W. Westcot. 1985. *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev 1, Rome, Italy. 174 p.
- Azarmi, R., M. Torabi G., and R. Didar T. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicon esculentum*) field. *Afric. J. Biotech.* 7(14):2397-2401.
- Castañeda-Saucedo, M. C., L. Córdova-Téllez, V. A. González-Hernández, A. Delgado-Alvarado, A. Santacruz-Varela, and G. García-de los Santos. 2009. Physiological performance, yield, and quality of dry bean seeds under drought stress. *Interciencia* 34(10): 748-754.
- Cavender D., N., R. Atiyeh M., and M. Knee. 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. *Pedobiology* 47:85-89.
- Celis-Velazquez, R., C. B. Peña-Valdivia, M. Luna-Cavazos, and J. R. Aguirre R. 2010. Seed morphological characterization and reserves used during seedling emergency of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 27:61-87.
- Fang, X., N. C. Turner, G. Yan, F. Li, and K. H. M. Siddique. 2010. Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under terminal drought. *J. Exp. Bot.* 61: 335-345.
- Fernández F., P. Gepts, y G. M. López. 1983. Etapas de desarrollo en la planta de frijol común. CIAT. Cali, Colombia. 26 p.
- Fernández-Luqueño, F., V. Reyes-Varela, C. Martínez-Suárez, G. Salomón-Hernández, J. Yañez-Meneses, J. M. Ceballos-Ramírez, and L. Dendooven. 2010. Effect of different nitrogen source on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biores. Tech.* 101:396-403.
- Ghassemi-Golezani, K., S. Ghanehpour, and A. D. Mohammadi-Nasab. 2009. Effects of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. *J. F. Agric. Environm.* 7: 442-447.
- Hudson B D. 1994. Soil organic matter and available water capacity. *J. Soil Water Conserv.* 49:189-194.
- Julca-Otiniano, A., L. Meneses-Florían, R. Blas-Sevillano, y S. Bello-Amez. 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia* 24(1): 49-61.
- Kuehl R. 2001. *Diseño de Experimentos: Principios Estadísticos de Diseño y Análisis de Investigación*. 2^{da} ed. Thomson. México. 666 p.
- Leport, L., N. Turner C., S. L. Davies, and K. H. M. Siddique. 2006. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *Eur. J. Agron.* 24:236-246.
- Liu, F., M. Andersen N, and C. R. Jensen. 2004. Root signal controls pod growth in drought-stressed soybean during the critical abortion-sensitive phase of pod development. *Field Crops Res.* 85:159-166.
- Martínez J. P., H. Silva, J. F. Ledent, and M. Pinto. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Eur. J. Agron.* 26:30-38.
- Masciandaro G., B. Ceccanti, V. Ronchi, and C. Bauer. 2000. Kinetic parameters of dehydrogenase in the assessment of the response of soil to vermicompost and inorganic fertilisers. *Biol. Fertility Soils* 32:479-483.
- Peña-Valdivia, C. B., A. B. Sánchez-Urdaneta, C. Trejo, J. R. Aguirre R., and E. Cárdenas. 2005. Root anatomy of drought sensitive and tolerant maize (*Zea mays* L.) seedlings under different water potentials. *Cer. Res. Comm.* 33(4):705-712.
- Rodríguez, G. M. N. 2008. Selección de líneas de frijol tolerantes a la sequía con base en respuestas de la planta al estrés hídrico. Tesis doctoral, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 115 p.
- Ramírez-Vallejo P., and J. D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99:127-136.
- Rosales-Serna, R., P. Ramírez-Vallejo, J. A. Acosta-Gallegos, F. Castillo-González, and J. D. Kelly. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia* 34:153-165.
- Roy S., K. Arunachalam, B. Kumar D., and A. Arunachalam. 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops *viz.* *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. *Appl. Soil Ecol.* 45:78-84.
- Tejada M., A. M. García-Martínez, and J. Parrado. 2009. Effects of a vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration. *Catena* 77:238-247.