

Effects of planting distance and weeding regime on green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and yield

Efectos de la distancia de siembra y régimen de deshierbe sobre el crecimiento y rendimiento de judías verdes (*Phaseolus vulgaris* L.)

Efeitos da distância de plantio e regime de capina sobre o crescimento do feijão verde (*Phaseolus vulgaris* L.) e seu rendimento

Feizollah Jamali¹ and Hashem Aminpanah^{2*}

¹Department of Agronomy and Plant Breeding, Guilan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. ²Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran. P.O.Box: 41335-3516, Tel: 00981314222153, Fax: 00981314227060.

Abstract

Manipulation in planting distance can increase crop growth and yield by increasing radiation interception and minimizing intra- and inter-specific competition. To evaluate the effect of planting distance and weeding regime on green bean yield (*Phaseolus vulgaris* L.), an experiment was conducted as a randomized complete block in a factorial arrangement with three replicates in Ramsar, northern Iran, in 2013. The study factors were planting distance (30 x 30 cm, 40 x 20 cm and 50 x 20 cm), and weeding [a manual weeding, two weeding by hand, and weed control (not eliminated during whole period of crop growth)]. Analysis of variance showed that the main effects of planting distance and weeding regime were significant on green pod yield ($P \leq 0.01$), while the interaction between them was not significant. Moreover, main effect of weeding regime was significant for weed dry biomass, while the main effect of planting distance and interaction between them were not significant. Mean comparison indicated that the highest and the lowest green pod yield were recorded for planting distances of 40 x 20 cm and 30 x 30 cm, respectively. Moreover, the highest green pod yield was recorded for two hand weeding, while the lowest ones were recorded for un-weeded plots.

Recibido el 06-02-2016 ● Aceptado el 31-07-2016

*Autor de correspondencia e-mail: haminpanah@yahoo.com, aminpanah@iaurasht.ac.ir

At the same time, the highest and the lowest weed dry biomass were recorded for un-weeded plots and plots with two hand weeding, respectively. In conclusion, planting distance of 40× 20 cm and two hand weeding during the crop growing period are recommended to get the highest fresh green bean pods por are recommended to get the highest fresh green bean pods.

Key words: green bean, *Phaseolus vulgaris* L., plant spacing, hand weeding.

Resumen

La manipulación de la distancia de siembra puede aumentar el crecimiento y rendimiento del cultivo mediante el incremento de la radiación interceptada y minimizar la competencia intra e inter-específica. Para evaluar el efecto de la distancia de siembra y el régimen de deshierbe sobre el rendimiento de grano de judías (*Phaseolus vulgaris* L.), se realizó un experimento en bloques completos al azar en un arreglo factorial, con tres repeticiones, en Ramsar, al norte de Irán, en el 2013. Los factores de estudio fueron distancia de siembra (30 x 30 cm, 40 x 20 cm y 50 x 20 cm), y deshierbe (uno y dos deshierbe manual y sin deshierbe (testigo) durante todo el período de crecimiento del cultivo). El análisis de varianza mostró que los efectos principales de distancia de siembra y régimen de deshierbe fueron significativos para el rendimiento de vainas ($P \leq 0,01$), mientras que la interacción entre ellos no fue significativa. Por otra parte, el efecto principal de la frecuencia de deshierbe fue significativa para la biomasa seca de malezas, mientras que el efecto principal de la distancia de siembra y la interacción entre ellos no fueron significativas. La comparación de medias indicó que el mayor y menor rendimiento de las judías verdes se registraron para las distancias de siembra de 40 × 20 cm y 30 x 30 cm; respectivamente. Por otra parte, el mayor rendimiento de vainas se registró con dos deshierbes manuales, mientras que los más bajos se registraron para las parcelas con un deshierbe manual. Al mismo tiempo, la mayor y menor biomasa seca de las malezas se registraron para las parcelas con uno y dos deshierbes manuales; respectivamente. En conclusión, se recomiendan la distancia de siembra de 40 x 20 cm y dos deshierbes manuales durante el período de crecimiento del cultivo para obtener el mayor rendimiento de vainas frescas de judías verdes.

Palabras clave: judías verdes, *Phaseolus vulgaris* L., distancia entre plantas, deshierbe manual.

Resumo

Manipulando distância de plantio pode aumentar o crescimento e rendimento das culturas, aumentando a radiação interceptada e minimizar a competição intra e inter específica. Para avaliar o efeito do plantio distância e regime capina no rendimento de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), um experimento foi conduzido em blocos casualizados, em esquema fatorial, com três repetições em

Ramsar, norte Irã, em 2013. os fatores de estudo foram a distância de plantio (30 x 30 cm, 40 x 20 cm e 50 x 20 cm), e capina (um e dois mão sem capina capina (controle) durante todo o período de crescimento cultura). A análise de variância revelou que os principais efeitos do espaçamento entre plantas e regime de capina foram significativos para o desempenho de vagens verdes ($P \leq 0,01$), enquanto que a interação entre eles não foi significativa. Além disso, o principal efeito da remoção de ervas daninhas foi significativa para a biomassa seca de plantas daninhas, enquanto que o principal efeito da distância de plantio e da interação entre eles não foram significativas. A comparação das médias indicou que a maior e a menor produtividade de vagens verdes foram registrados para a distâncias de 40 x 20 cm e 30 x 30 cm, respectivamente. Além disso, o maior rendimento de vagens de feijão foi gravado com dois capina manual, enquanto o menor foi registrado para as parcelas de uma capina manual. Ao mesmo tempo, a biomassa seca a maior e a menor das plantas daninhas foram registrados para parcelas com um e dois capinas manuais, respectivamente. Em conclusão, a distância de plantio de 40 x 20 cm e dois capina manual durante o crescimento da cultura são recomendados para o melhor desempenho de vagens frescas de feijão verde.

Palavras-chave: feijão verde, *Phaseolus vulgaris* L., espaçamento entre plantas, capina mão.

Introduction

Leguminous crops serve as the major source of protein in the diet, especially in the developing countries. They also play an important role in crop rotation due to their ability to increase soil fertility through N fixation. Green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a warm-season annual legume crop grown for their edible fresh pods. Worldwide, approximately 20,7 million tons of green bean are produced annually in about 1,5 million ha (FAO, 2012). In 2012, it was planted on 6,600 ha in Iran, with a total production of almost 58,000 t (FAO, 2012).

Weeds are one of the major obstacles to crop production. They compete with crop plants for water, nutrients elements, and light. Besides, weeds affect crop plants by releasing toxic substances, harboring insects

Introducción

Las leguminosas sirven como fuente principal de proteínas en la dieta, especialmente en los países en desarrollo. También, juegan un papel fundamental en la rotación de cultivos debido a su capacidad para aumentar la fertilidad del suelo a través de la fijación de N. Para que las judías verdes (*Phaseolus vulgaris* L.) se produzcan como vainas frescas comestibles estas requieren para el cultivo anual de clima cálido. A nivel mundial, aproximadamente 20.7 millones de toneladas de judías verde se producen anualmente en 1.5 millones de ha (FAO, 2012). En 2012, se sembraron en Irán 6.600 ha, con una producción total de casi 58.000 t (FAO, 2012).

Las malezas son uno de los principales obstáculos en la producción agrícola. Debido a que estas compiten con las plantas de cultivo por luz, agua

and plant pathogens. Bean is generally a weak competitor with weeds mainly during the early vegetative growth stages. It has been reported that dry bean seed yield was reduced up to 85% due to weed competition (Pynenburg *et al.* 2011). Hand weeding is the most common weed control method for small-scale farmers (Karar, 2003). At the same time, weeds can be controlled through agronomic practices such as planting distance, plant density, and plant spatial arrangement (Olsen *et al.*, 2012). Manipulation in planting distance through changing in inter-row or intra-row spacing (or both) can affect plant-weed competition. In uniform planting pattern, competition between crop and weeds will begin sooner than rectangular planting pattern, while intra-specific competition within the crop plants will be delayed (Olsen *et al.*, 2012). This allows the crop population to shade and suppress the weeds, increasing the effect of the crop's initial size advantage (Weiner *et al.*, 2010). Regnier and Bakelana (1995) noted that in uniform planting pattern, plants have approximately the same available area for resource uptake. At the same time, uniform planting pattern hasten canopy closure, and this may reduce light penetration or change light quality (or both) under the crop canopy, resulting decreased weed seed germination, suppressed weed seedling growth, and reduced seed production by weed plants (Mashingaidze *et al.*, 2009). It has been illustrated that uniform planting pattern or narrow-row spacing often result in decreased weed biomass (Drews *et al.*, 2009, Chauhan and Johnson, 2011,

y elementos nutrientes. Además, las malezas afectan a los cultivos ya que liberan sustancias tóxicas, albergan insectos y patógenos. Los frijoles actúan normalmente como un débil competidor contra las malezas, principalmente durante las primeras etapas de crecimiento vegetativo. Hay estudios que han mencionado que el rendimiento de las semillas de frijol se redujo hasta un 85% debido a la competencia con las malezas (Pynenburg *et al.*, 2011). El deshierbe manual es el método más común de control de malezas para los pequeños agricultores (Karar, 2003). Al mismo tiempo, las malezas pueden controlarse a través de prácticas agronómicas como la distancia de plantación, densidad de siembra y arreglo espacial de las plantas (Olsen *et al.*, 2012). La manipulación de la distancia de plantación a través del cambio de espaciado entre surcos o entre hileras (o ambos) puede afectar la competencia de plantas-malezas. Por otra parte, en un patrón de siembra uniforme la competencia entre el cultivo y la maleza comenzará rápidamente, mientras que la competencia intraespecífica dentro de las plantas cultivadas se retrasará tanto como sea posible (Olsen *et al.*, 2012). Esto permite que la población cultivada se dirija a la sombra y suprima a las malezas, aumentando así el efecto de la ventaja del tamaño inicial de los cultivos (Weiner *et al.*, 2010). Regnier y Bakelana (1995) observaron que en un patrón de siembra uniforme, las plantas tenían aproximadamente la misma área disponible para la captación de recursos. Al mismo tiempo, el patrón de siembra uniforme acelera el cierre del dosel y esto puede reducir la

Dusabumuremyi *et al.*, 2014; Olsen *et al.*, 2012; Olsen *et al.*, 2005; Weiner *et al.*, 2001), and higher yield (Acciaresi and Chidichimo, 2007; Esmaeilzadeh and Aminpanah, 2015), but in some cases, with no effect on yield (Westgate *et al.*, 1997). Weiner *et al.* (2001) reported that in the absence of weeds, uniform planting pattern may not be superior to row planting pattern, while in the presence of weeds, crop produced higher grain yield in uniform planting pattern compared to wide-row planting pattern. The aim of this study was to evaluate the effects of planting distance and weeding regime on green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and yield.

Materials and methods

Experimental site and design, and crop management

Field experiment was conducted in Ramsar, northern Iran, in 2013. Weekly temperature and precipitation during growing period of green bean were presented in figures 1 and 2, respectively. The soil texture was clay loam with 3.1% organic matter content, 7.2 pH, total N 0.21%, available phosphorous 7.7 mg.kg⁻¹, and available potassium 140.0 mg.kg⁻¹, and EC 0.6 ds.m⁻¹. A factorial combination of three planting distances (30 × 30 cm, 40 × 20 cm and 50 × 20 cm), and three weeding regimes [one hand weeding 20 days after sowing, two hand weeding at 20 and 45 days after sowing, and weedy control (not weeded throughout green bean growing period)] consisted the experimental treatments which were arranged in a randomized complete block design with three

penetración de la luz o el cambio de calidad de la luz (o ambos) bajo el dosel del cultivo, disminuyendo significativamente la germinación de las semillas de las malezas, la supresión del crecimiento de las malezas y la reducción de la producción de semillas por plantas de las malezas (Mashingaidze *et al.*, 2009). Se ha señalado también que un patrón uniforme de siembra o un patrón de siembra con un espaciado estrecho causó disminución de la biomasa de las malezas (Weiner *et al.*, 2001; Olsen *et al.*, 2005; Drews *et al.*, 2009; Chauhan y Johnson, 2011; Olsen *et al.*, 2012; Dusabumuremyi *et al.*, 2014), y mayor rendimiento (Acciaresi y Chidichimo, 2007; Esmaeilzadeh y Aminpanah, 2015), pero en algunos casos, no hubo ningún efecto sobre el rendimiento (Westgate *et al.*, 1997). Weiner *et al.*, (2001) indicaron que en ausencia de malezas, el patrón de siembra uniforme no tuvo ninguna significancia, mientras que en presencia de las malezas se obtuvo mayor rendimiento del granos en un patrón de siembra uniforme en comparación con un patrón de siembra con hileras espaciadas. El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de la distancia de siembra y el régimen de deshierbe durante el crecimiento y rendimiento de judías verdes (*Phaseolus vulgaris* L.).

Materiales y métodos

Localidad, diseño experimental y manejo del cultivo

El experimento se llevó a cabo en Ramsar, al norte de Irán, en el 2013. La información de la temperatura y

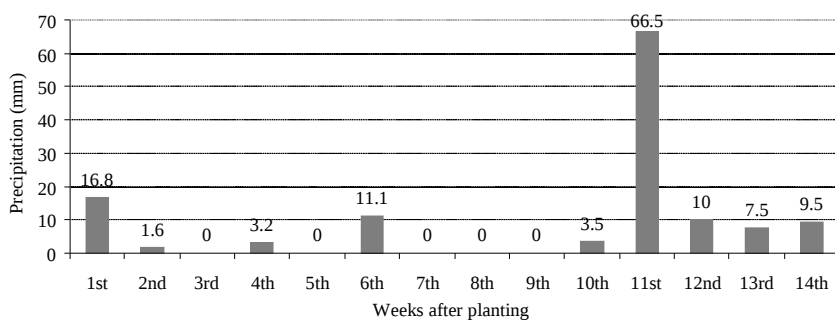


Figure 1. Weekly precipitation during green bean growing period.

Figura 1. Precipitación semanal durante el período de crecimiento de las judías verdes.

replications. Before seed planting, each plot received $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$ (as starter in the form of urea), $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}$ (as triple superphosphate), and $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ (as potassium sulphate). Green bean seeds were manually planted at a depth of 5 cm in plots ($3 \times 5 \text{ m}$) on 17 May, 2013. To provide the target plant population density, two seeds per hill were sown and plants were thinned to one per hill when the second leaf

precipitación semanal durante el período de crecimiento se observa en las figuras 1 y 2; respectivamente. La textura del suelo era arcillosa con 3,1% de materia orgánica, pH 7,2, N total 0,21%, fósforo disponible $57,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, potasio disponible $140,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y CE $0,6 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$. El diseño de tratamientos consistió en un arreglo factorial con diseño experimental en bloques al azar con tres repeticiones. Los factores de

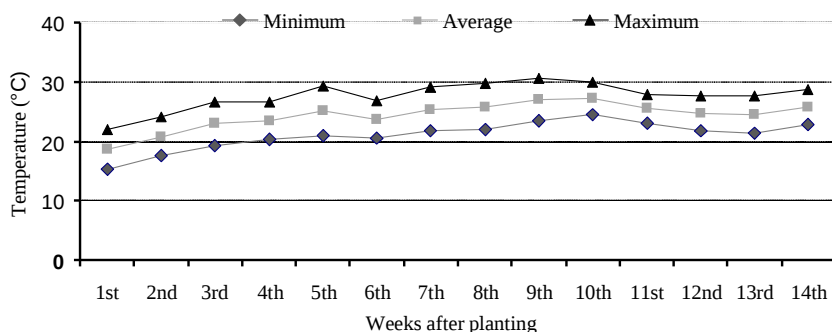


Figure 2. Weekly temperatures (maximum, minimum and average) during green bean growing period.

Figura 2. Temperaturas semanales (máxima y mínima) durante el período de crecimiento de las judías verdes.

emerged. During the experiment, the plots were irrigated twice, for example, before seed planting and before flowering stage. Since the crop was not affected by pests or diseases, no pesticides or insecticides were applied during the crop growing season. Other cultural inputs were consistent with local agronomic practices.

Plant sampling

In each plot, 10 plants of three center rows were tagged and pods were harvested on 11 July, 7 August and 22 August of 2013. Just after the final pod harvesting stage, the haulm of 10 tagged plants were collected, oven-dried at 70°C for 72 h, and weighed. Furthermore, at final pod harvesting stages, 22 August 2013, plant height was measured from the ground level to the top of the main stem at five points in each plot, and the mean of each plot was recorded in centimeters. Pods were dried at 72°C for 96 h, and were grounded to pass through a 1 mm sieve and then pod N concentration was determined using micro-Kjeldahl method following Salicylic- H_2SO_4 digestion (Yamakawa, 1993).

Weed measurement

Weed biomass was determined by collecting the aboveground portion of the weeds from eight randomly selected 25 by 25 cm quadrates within each plot at final pod harvesting, dried at 70°C for 3 days and weighed. Then, it was expressed as the weed dry weight per m^2 .

Statistical analyses

Data was subjected to analysis of variance (ANOVA) procedure, Proc GLM, SAS Institute (2004), for a factorial treatment arranged in a randomized complete-block design.

estudio fueron tres distancias de siembra (30×30 cm, 40×20 cm y 50×20 cm) y tres regímenes de deshierbe (un desmalezado a mano 20 días después de la siembra, dos desmalezados a mano a los 20 y 45 días después de la siembra y un testigo, sin desmalezado durante todo el período de crecimiento). Antes de proceder a sembrar las semillas cada parcela recibió 50 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N (urea), 100 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P (superfosfato triple) y 100 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K_2O (sulfato de potasio). Las semillas de judías verdes se plantaron manualmente a una profundidad de 5 cm en parcelas (3×5 m) el 17 de mayo de 2013. Para establecer las diferentes densidades de plantación, se sembraron dos semillas por surco, luego las plantas se cortaron dejando solo una cuando emergió la segunda hoja. Durante el experimento, las parcelas se regaron dos veces; es decir, antes de plantar las semillas y antes de la floración. También, durante la temporada de cultivo no se agregaron pesticidas ni insecticidas debido a que el cultivo no se vio afectado por plagas o enfermedades. Otras labores culturales fueron consistentes con las prácticas agronómicas locales.

Muestreo de las plantas

En cada parcela, fueron seleccionadas y etiquetadas 10 plantas de cada tres hileras centrales y las vainas se cosecharon el 11 de julio, 7 y 22 de agosto de 2013. Justo después de la etapa final de la cosecha de la vaina, se recolectaron los tallos de las plantas etiquetadas, luego se secaron en el horno a 70°C por 72 h y se pesaron. Además, el 22 de agosto de 2013, día de la etapa final de la cosecha de las vainas se midió la altura de la planta desde el nivel del suelo hasta la parte superior del tallo principal en cinco

Means were separated at the 1 and 5% level of significance using Fisher's protected least significant difference (LSD). If the interactions between factors were significant, means for the interaction effects (with standard error) were compared, but when the interactions were not significant, means for main effects were presented. Pearson correlation coefficients were calculated using correlation analysis to assess the interrelationships between the different measured variables.

Results and discussion

Plant height

The main effects of weeding regime and planting distance and the interaction between them were significant for plant height (table 1). Under weedy condition and plots with one hand weeding, plants grown at 50 x 20 cm were taller than those grown at 40 x 20 cm and 30 x 30 cm (figure 3). In plots with two hand weedings, significantly higher plant height was recorded for plants grown at planting distance of 40 x 20 cm (figure 3). At planting distance of 50 x 20 cm and among hand weeding regimes, there were no significant differences in plant height (figure 3). No significant difference between planting distance of 40 x 20 cm and unweeded plots and plot weeded once were observed, in plant's height, but plant's height was significantly increased as plot weeded twice (figure 3). Similar trend in plant's height was observed when plant grown at planting distance of 30 x 30 cm (figure 3). The reduction in plant's height in weedy plots can

puntos en cada parcela, y la media de cada parcela se registró en centímetros. Se secaron a 72°C durante 96 h y se molieron, luego se tamizaron en un tamiz de 1 mm para determinar la concentración de N en la vaina usando el método micro-Kjeldahl seguido por la digestión H_2SO_4 salicilica (Yamakawa, 1993).

Medición de las malezas

La biomasa de las malezas se determinó recolectando la parte aérea de las malezas de ocho cuadrados de 25 x 25 cm seleccionados al azar dentro de cada parcela, se secaron a 70°C por 3 días y se pesaron. A continuación, se expresa como el peso en seco de malezas por m^2 .

Análisis estadístico

Los datos se procesaron usando el procedimiento de análisis de varianza (ANOVA), Proc GLM, del programa estadístico SAS (2004). Los promedios fueron separados a un nivel de significancia del 1 y 5% utilizando el método de diferencias protegidas de Fisher (LSD). Si las interacciones entre los factores fueron significativas, fueron comparados los promedios de los efectos de la interacción (con error estándar), pero cuando las interacciones no fueron significativas, se presentaron los promedios de los efectos simples. Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson mediante el análisis de correlación con el fin de evaluar las asociaciones entre las diferentes variables evaluadas.

Resultados y discusión

Altura de las plantas

Los principales efectos del régimen de deshierbe, distancia de la siem-

be attributed to the severe competition between crop and weed for water and nutrient elements, such as nitrogen. It seems that low nutrient and water supply led to a reduction in plant's height due to weed competition. This was contrary to the findings of Aslam *et al.* (2007), who reported that plant height of chickpea (*Cicer arietinum* L.) increased due to weed-crop competition in the weedy control treatments.

Pod yield

The main effect of weeding regime was significant for pod yield at first, second, and third harvesting stages, while the main effect of planting distance was significant for pod yield at first and third harvesting stages (table 1). The interaction between weeding regime and planting distance

bra e interacción entre ellos resultaron significativos para la altura de planta (cuadro 1). Bajo la condición de parcelas enmalezadas y con un solo desmalezado, las plantas cultivadas a 50 x 20 cm tuvieron mayor altura que las que se sembraron a 40 x 20 cm y 30 x 30 cm (figura 3). En las parcelas con dos deshierbes a mano, se observó una mayor altura de las plantas para las plantas que fueron cultivadas a 40 x 20 cm (figura 3). No se observaron diferencias significativas en la distancia de siembra de 50 x 20 cm y el régimen de desmalezado manual en cuanto a la altura de las plantas (figura 3). De igual forma, tampoco se encontraron diferencias significativas entre la distancia de siembra de 40 x 20 cm y las parcelas sin aplicación de deshierbe y las desmalezadas una vez con rela-

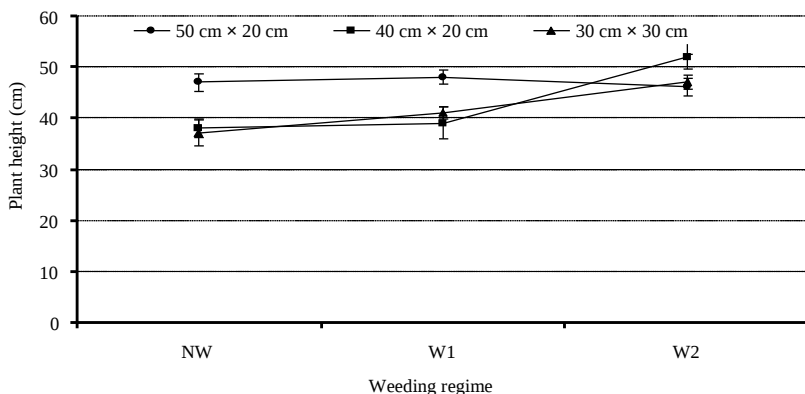


Figure 3. Planting distance & weeding regime interaction effect on plant height at final harvesting stage. Vertical bars represent ± 1 SE of means. (NW: weedy plot, W1: one hand weeding and W2: two hand weedings).

Figure 3. Distancia de siembra & interacción de régimen de deshierbe en la altura de la planta en la etapa final de la cosecha. Las barras verticales representan ± 1 medias SE. (NW: parcela con maleza, W1: desmalezado y W2: dos deshierbes a mano).

was significant for first and third harvesting stages. Moreover, total pod yield was significantly affected by weeding regime and planting distance. Furthermore, there was significant interaction of weeding regime & planting distance for total pod yield (table 1).

Both for un-weeded and weeded (one or two hand weeding) plots, the highest pod yield at first harvesting stage were obtained from planting distance of 40 x 20 cm (figure 4). In unweeded plots, there was no significant difference in pod yield at first harvesting stage between planting distances of 50 x 20 cm and 30 x 30 cm (figure 4). When plots weeded once or twice, pod yield at first harvesting stage was significantly higher at planting distance of 50 x 20 cm than 30 x 30 cm (figure 4).

Regardless the planting distance, one and two hand weedings increased pod yield at second harvesting stage by 33% and 29%; respectively, compared to weedy plots (table 2). Under weedy condition, there were no significant differences in pod yield at third harvesting stage among planting distances (figure 5). In plots with one or two hand weedings, plants grown at 50 x 20 cm and 40 x 20 cm produced greater pod yield compared to those grown at 30 x 30 cm (figure 5).

Under weedy condition, the highest total pod yield was recorded for planting distance of 40 x 20 cm ($10,797 \pm 503 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), followed by 30 cm x 30 cm ($9,572 \pm 884 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), and then by 50 x 20 cm ($8,701 \pm 692 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) (figure 6). In plots with one hand weeding, plants grown at planting distance of 30 x 30 cm produced lower

ción con la altura de las plantas; sin embargo, la altura de la planta aumentó significativamente cuando la parcela se desmalezó dos veces (figura 3). Se observó una tendencia similar en la altura de planta cuando las plantas se cultivaron a una distancia de 30 x 30 cm (figura 3). La reducción en la altura de planta en parcelas desmalezadas podría atribuirse a la severa competencia entre el cultivo y las malezas por el agua y elementos nutrientes como el nitrógeno. Aparentemente, el bajo contenido de nutrientes y suministro de agua condujeron a una reducción en la altura de la planta en los cultivos debido a la competencia con las malezas. Lo anterior se opone a los hallazgos encontrados por Aslam *et al.* (2007), quienes reportaron que la altura de las plantas en garbanzo (*Cicer arietinum* L.) incrementó debido a la competencia de las malezas-cultivo en los tratamientos de control de maleza.

Rendimiento de las vainas

El régimen de deshierbe resultó significativo para el rendimiento de las vainas en la primera, segunda y tercera etapa de la cosecha, mientras que el principal efecto de la distancia de siembra fue significativo para el rendimiento de las vainas en la primera y tercera etapa de la cosecha (cuadro 1). La interacción entre el régimen de deshierbe y la distancia de siembra fue significativa para la primera y tercera etapa de la cosecha. Por otra parte, el rendimiento total de las vainas se vio afectado significativamente por el régimen de deshierbe y la distancia de siembra. Además, hubo una interacción significativa de un régimen deshierbe x la distancia de siembra

Table 1. Mean squares of ANOVA for plant height at final pod harvesting stage, pod yield at first (PY1), second (PY2), and third (PY3) harvesting stage, total pod yield (PYt), haulm yield (HY) and pod N concentration (pod N Con.) and weed biomass (WB) as affected by planting distance and weeding regime (W).

Cuadro 1. Medias de ANOVA para la altura de planta en la etapa final de la cosecha de la vaina, rendimiento de la vaina en la primera (PY1), segunda (PY2) y tercera (PY3) etapa de cosecha, rendimiento total de las vainas (PYt), rendimiento del follaje (HY) y concentración de N en la vainas (concentración de N en las vainas) y biomasa de las malezas (BM) afectados por la distancia de siembra y el régimen de control de malezas (W).

Source of Variance	Df	H	PY1	PY2	PY3	PYT	HY	Pod N Con	WB
R	2	55*	13610972 ^{ns}	894959 ^{ns}	82401 ^{ns}	1990884 ^{ns}	87583 ^{ns}	0.10 ^{ns}	3200 ^{ns}
Planting Distance (D)	2	65**	13610972**	751922 ^{ns}	512626 ^{ns}	17304718**	1439408**	0.12 ^{ns}	3715 ^{ns}
Weeding regime (W)	2	189**	4103683**	4287863**	1908912**	27178687**	524733**	0.51*	1148281**
D × W	2	37*	1970428**	1155288 ^{ns}	1752192**	5208744**	322450**	0.25 ^{ns}	3200 ^{ns}
Error	16	10	102290	747669	267727	36591	1279055	0.12	6373
CV (%)	-	7.2	7.3	18.6	19.7	12.6	9.7	9.4	19.1

*, ** represent significance at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

ns represents no significant difference.

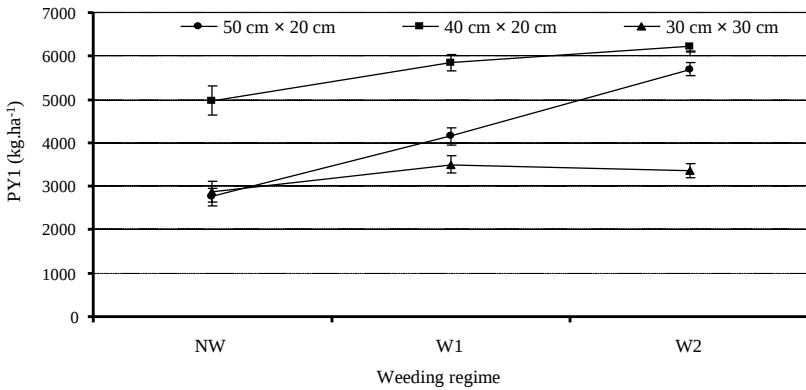


Figura 4. Planting distance & weeding regime interaction effect on pod yield at first harvesting stage (PY1). Vertical bars represent ± 1 SE of means. (NW: weedy plot, W1: one hand weeding and W2: two hand weedings).

Figura 4. Distancia de siembra & interacción de régimen de deshierbe en el rendimiento de la vaina en la primera etapa de la cosecha. Las barras verticales representan ± 1 medias SE. (NW: parcela con maleza, W1: desmalezado y W2: dos deshierbes a mano).

total pod yield compared to those grown at 40 x 20 cm and 50 x 20 cm. Similar trend in total pod yield was observed for plots with two hand weedings (figure 6).

This result showed that under weed-free condition, plants in row planting pattern produced higher pod yield than those in uniform planting pattern. Weiner *et al.* (2001) reported that the advantage of uniform planting pattern occurs only when weeds are present, but under weed-free condition, uniform planting pattern may not be superior to row planting pattern. Fanadzo *et al.* (2007) reported that maize grain yield was higher in wide row planting pattern than narrow planting pattern under low water and nutrients supply, which was attributed to

para el rendimiento total de las vainas (cuadro 1)

En las parcelas sin deshierbe y con deshierbe (uno o dos desmalezados a mano), el mayor rendimiento de las vainas en la primera etapa de recolección se obtuvo con la distancia de siembra de 40 x 20 cm (figura 4). En las parcelas sin deshierbe, no hubo diferencias significativas en el rendimiento de las vainas en la primera etapa de recolección entre distancias de siembras de 50 x 20 cm y 30 x 30 cm (figura 4). Cuando las parcelas se desmalezaron una o dos veces, el rendimiento de las vainas en la primera etapa de recolección fue significativamente mayor en la distancia de siembra de 50 x 20 cm que en la de 30 x 30 cm (figura 4).

Independientemente de la distancia de la siembra, uno y dos deshierbes a

Table 2. Pod yield at second harvesting stage (PY2), Pod N concentration (Pod N Con.), and weed biomass (WB) as affected by weeding regime.**Cuadro 2. Rendimiento de la vaina en la segunda etapa cosecha (PY2), concentración de N en la vaina (Con. N en vaina), y biomasa de la maleza (WB) afectados por el régimen de deshierbe de malezas.**

Factors	Traits		
	PY2	Pod N Con.	WB
Planting distance			
50 x 20 cm	4947	3.56	397
40 x 20 cm	4389	3.76	438
30 x 30 cm	4538	3.77	414
LSD ($P \leq 0.05$)	861	0.34	79
Weeding regime			
Not weeded	3831	3.42	811
Hand weeding at 20 d after sowing	4959	3.81	325
Hand weeding at 20 and 45 d after sowing	5084	3.85	114
LSD ($P \leq 0.05$)	864	0.34	79

reduced intra-specific competition for water and nutrients.

At 50 x 20 cm, total pod yields were 1.4 and 1.6 times higher in plots weeded once and twice; respectively, than in the weedy plots. At planting distance of 40 x 20 cm, total pod yield was 1.3 times higher in plot weeded once than in the weedy plot, while there was no significant difference in total pod yield between plots with one hand weeding and those with two hand weeding (figure 6). At 30 x 30 cm, there was no significant difference in total pod yield between un-weeded plots and plots with one hand weeding, but it was significantly increased by 22% when plots weeded twice (figure 6). The competition between weeds and

mano incrementaron el rendimiento de las vainas en la segunda etapa de la cosecha en 33% y 29%; respectivamente, en comparación con las parcelas con malezas (cuadro 2). No se observaron diferencias significativas en el rendimiento de las vainas bajo condición de maleza en la tercera etapa de cosecha y con distancia de siembra (figura 5). En las parcelas con uno o dos deshierbes a mano, las plantas cultivadas a 50 x 20 cm y 40 x 20 cm obtuvieron mayor rendimiento de las vainas en comparación con las cultivadas a 30 x 30 cm (figura 5).

Se registró el mayor rendimiento total de las vainas bajo la condición de maleza a 40 x 20 cm (10.797 ± 503 kg.ha⁻¹), seguido por 30 cm x 30 cm (9.572 ± 884 kg.ha⁻¹) y luego por 50 x 20

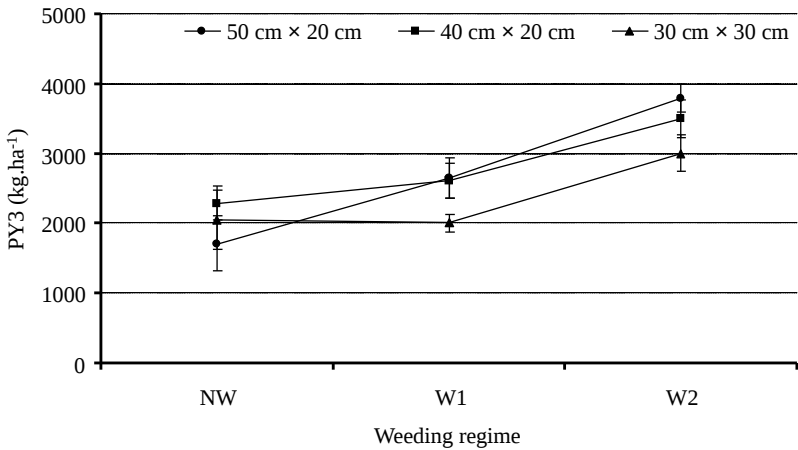


Figure 5. Planting distance & weeding regime interaction effect on pod yield at third harvesting stage (PY3). Vertical bars represent ± 1 SE of means (NW: weedy plot, W1: one hand weeding and W2: two hand weedings).

Figura 5. Distancia de siembra & interacción de régimen de deshierbe en el rendimiento de la vaina en la tercera etapa de la cosecha (PY3). Las barras verticales representan ± 1 medias SE (NW: parcela con maleza, W1: desmalezado y W2: dos deshierbes a mano).

crop for water caused significant reduction in pod yield. For example, it has been reported that the roots of common lambsquarters (*Chenopodium album* L.), an important weed species in green bean fields, removed soil water through a depth of 90 cm (Schuster *et al.*, 2007). Previous reports also suggest that competition for nutrients, especially nitrogen, has been an important component in the interference between crops and annual weeds (Schuster *et al.*, 2007). It is suspected that C4 weed species in green bean fields such as *Amaranthus* spp., *Portulaca* spp., *Echinochloa* spp., *Paspalum* spp., and *Cynodon* spp. use nitrogen more efficiently than green bean and limit nitrogen availability for

cm (8.701 ± 692 kg.ha⁻¹) (figura 6). En parcelas con un desmalezado, las plantas cultivadas a 30 x 30 cm produjeron menor rendimiento total de las vainas en comparación con las cultivadas a 40 x 20 cm y 50 x 20 cm. Se observó una tendencia similar en la producción total de las vainas en parcelas con dos deshierbes (figura 6).

Este resultado mostró que bajo ausencia de malezas, las plantas sembradas en hilera produjeron mayor rendimiento de vainas que aquellas sembradas en un patrón uniforme. Weiner *et al.* (2001) reportaron que la ventaja del patrón uniforme de siembra se produjo solo cuando las malezas estuvieron presentes, pero en ausencia de malezas este patrón unifor-

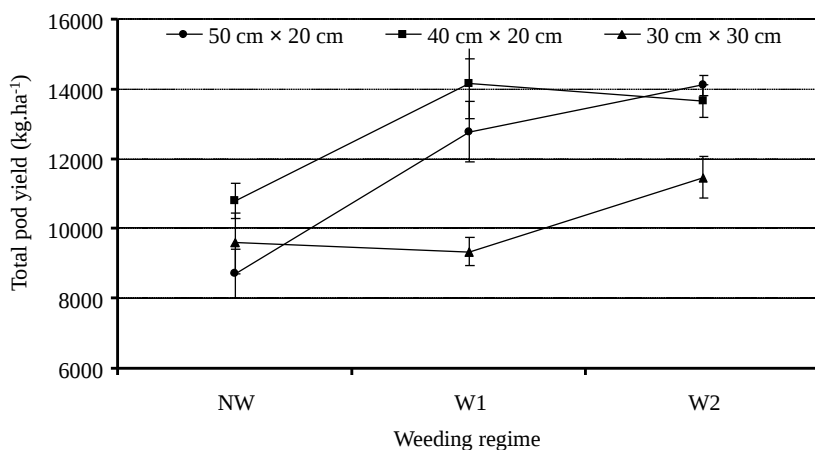


Figure 6. Planting distance & weeding regime interaction effect on total pod yield. Vertical bars represent ± 1 SE of means (NW: weedy plot, W1: one hand weeding and W2: two hand weedings).

Figura 6. Distancia de siembra & el efecto del régimen de deshierbe en el rendimiento total de la vaina. Las barras verticales representan ± 1 medias SE (NW: parcela con maleza, W1: desmalezado y W2: dos deshierbes a mano).

crop. In addition, some weed species such as *Amaranthus* spp., and *Echinochloa* spp are taller than green bean and, therefore, it seems that these weeds may reduce green bean yield by shading. At the same time, green bean is not a shade-tolerant species, and insufficient light stresses green bean plant and aborts pods.

Haulm yield

Weeding regime and planting distance and the interaction between them were significant ($P \leq 0.01$) for haulm yield (table 1). In un-weeded plots, the highest and the lowest haulm yield were recorded at of 50 x 20 cm and 30 x 30 cm; respectively (figure 7). When plots weeded once, haulm yield for planting distance of 30 x 30 cm was significantly lower than those for planting distance of 50 x 20 cm and

me no fue tan ventajoso como la siembra en hilera. Fanadzo *et al.* (2007) reportaron que el rendimiento del grano de maíz fue mayor en un patrón de siembra amplio que en un patrón de siembra angosto con bajo suministro de agua y nutrientes, esto podría atribuirse a la reducida competencia intra-específica por agua y nutrientes.

En una distancia de siembra de 50 x 20 cm, el rendimiento total de las vainas fue 1,4 y 1,6 veces mayor en las parcelas que se desmalezaron una y dos veces; respectivamente, en comparación con la parcela con maleza. A 40 x 20 cm, el rendimiento total de las vainas fue 1,3 veces mayor en la parcela desmalezada que en la parcela con maleza; sin embargo, no se observaron diferencias significativas en el rendimiento total de las vainas entre par-

40 x 20 cm (figure 7). When plots weeded twice, the highest haulm yield was recorded for plants grown at planting distance of 40 x 20 cm, followed by those grown at planting distance of 50 x 20 cm, and then by those grown at planting distance of 30 x 30 cm (figure 7). For all planting distance, haulm yield was significantly higher when plots weeded twice than when plots un-weeded during growing period (figure 7). Correlation analysis showed that there was no significant linear correlation ($r=-0.08$; $P=0.67$) between weed biomass and haulm yield. Consistent with this finding, Dusabumuremyi *et al.* (2014) reported that there was no significant correlation between weed biomass and dry weight of bean plants in 2009 bean

celas con uno y dos desmalezados a mano (figura 6). A 30 x 30 cm, no hubo diferencia significativa en el rendimiento total de las vainas entre las parcelas desmalezadas y las parcelas con un desmalezado; sin embargo, si hubo un incremento significativo de 22% cuando las parcelas se desmalezaron dos veces (figura 6). La competencia entre las malezas y el cultivo por el agua causó una reducción significativa en el rendimiento de las vainas. Por ejemplo, las raíces de *Chenopodium album* L., una especie de malezas importante en las plantaciones de judías verdes, removieron el agua del suelo a una profundidad de 90 cm (Schuster *et al.*, 2007).

Estudios anteriores también mencionaron la competencia por

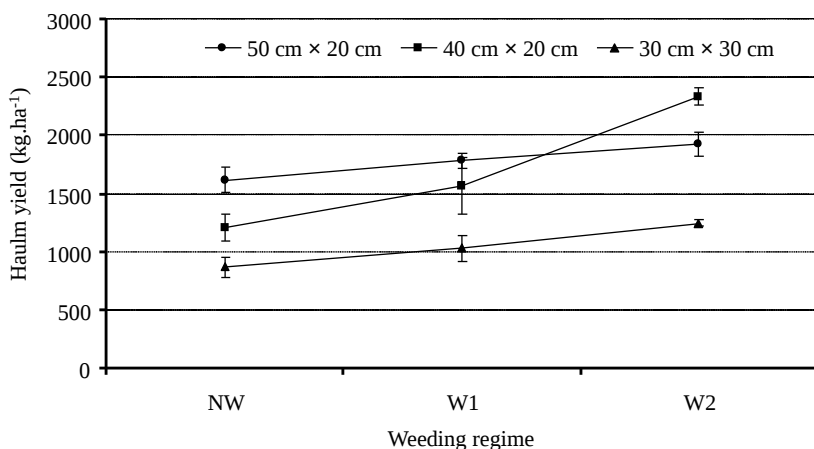


Figure 7. Planting distance & weeding regime interaction effect on haulm yield. Vertical bars represent ± 1 SE of means (NW: weedy plot, W1: one hand weeding and W2: two hand weedings).

Figura 7. Distancia de siembra & el efecto del régimen de deshierbe en el rendimiento del follaje. Las barras verticales representan ± 1 medias SE (NW: parcela con maleza, W1: desmalezado y W2: dos deshierbes a mano).

growing period. However, they found significant correlation between weed biomass and dry weight of bean plants in the growing period of 2011.

Pod N concentration

Pod N concentration was significantly ($P \leq 0.05$) influenced only by weeding regime (table 1). Pod N concentration increased by 11 and 13%, when plots weeded once and twice, respectively, compared to when plots un-weeded during growing period (table 2). This result indicated that weed removal by hand weeding increased nitrogen availability for green bean plants. Weeds, especially C4 species, use nitrogen more efficiently (Zhu *et al.*, 2008) than green bean (C3 species). Therefore, under weedy condition, severe competition between green bean and weeds might have reduced pod N concentration. Contrary to this result, Ugen *et al.* (2002) reported that bean N concentration did not vary with bean-weed competition.

Weed communities' composition and weed biomass

In the experimental field, the most dominant broadleaf weed species were *A. retroflexus* L., *Datura stramonium* L., *Chenopodium album* L. and *P. oleracea* L., while *Setaria viridis* L., *E. crus-galli* (L.) Beave, and *Paspalum dilatatum* Poir., *Cynodon dactylon* L. and *Digitaria sanguinalis* L. were the most dominant grassy weed species. ANOVA indicated that the main effect of weeding regime was significant ($P < 0.01$) for weed biomass (table 1). Regardless the planting distance, the highest and lowest weed biomass were recorded for weedy plots and plots with two hand weeding; respectively (table 2). The main effect

nutrientes, especialmente el nitrógeno, que ha sido un componente importante en la interferencia entre los cultivos y las malezas anuales (Schuster *et al.*, 2007). Se sugiere que las especies de malezas C4 en campos de judías, como *Amaranthus* spp., *Portulaca* spp., *Echinochloa* spp., *Paspalum* spp., and *Cynodon* spp. utilizaron el nitrógeno más eficientemente que las judías verdes y limitaron la disponibilidad del nitrógeno en los cultivos. Además, algunas especies de malezas como *Amaranthus* spp., y *Echinochloa* spp. fueron más altas que las judías verdes; por lo tanto, estas malezas pudiesen reducir el rendimiento de las judías verdes debido al sombreado. Al mismo tiempo, las judías verdes no es una especie tolerante a la sombra, y la insuficiencia de luz generó estrés a la planta y produjo la pérdida de las vainas.

Rendimiento del follaje

El régimen de deshierbe, la distancia de siembra y la interacción entre ellos fueron significativos ($P \leq 0.01$) para el rendimiento del follaje (cuadro 1). En las parcelas sin desmalezado se registraron los más altos y bajos rendimientos del follaje a 50 x 20 cm y 30 x 30 cm; respectivamente (figura 7). Cuando las parcelas se desmalezaron solo una vez, el rendimiento del follaje fue significativamente menor con 30 x 30 cm comparado con aquellos sembrados a 50 x 20 cm y 40 x 20 cm (figura 7). Cuando las parcelas se desmalezaron dos veces, se registró la producción más alta del follaje en las plantas cultivadas sembradas a 40 x 20 cm, seguido por aquellas cultivadas a 50 x 20 cm y luego aquellos cultivados a 30 x 30 cm (figura 7). Para

of planting distance and the interaction between them were not significant. Contrary to this result, Holmes and Sprague (2013) reported that weed biomass in narrow row square planting pattern was significantly lower than that in wide row planting pattern in beans. Furthermore, Mashingaidze *et al.* (2009) reported that narrow rows suppressed weed growth more effectively than wide row planting pattern in corn, with reduced seed production by weeds. Weed biomass was negatively correlated with pod yield ($r = -0.60$; $P \leq 0.01$) and pod N concentration ($r = -0.41$; $P \leq 0.05$). This result agrees with those of Aminpanah *et al.* (2012), who reported that Canola grain yield was negatively correlated with weed biomass ($P \leq 0.05$). Dusabumuremyi *et al.* (2014) reported that weed biomass was significantly and negatively correlated with bean yield in 2011 bean growing period ($P < 0.01$), but they reported that there were no significant correlation between weed biomass and dry biomass of bean plants in 2009 bean growing period.

Conclusions

This experiment indicated that planting distance and hand weeding had a significant effect on pod yield. Based on the results of this experiment, planting distance of 40 x 20 cm and two hand weeding during the crop growing period are recommended for obtaining the highest fresh pod yield in green bean.

todas las distancias de siembra, el rendimiento del follaje fue significativamente mayor cuando las parcelas se desmalezaron dos veces en comparación con aquellas parcelas que no se desmalezaron durante el período de crecimiento (figura 7). El análisis de correlación demostró que no hubo ninguna correlación lineal significativa ($r = -0,08$; $P = 0,67$) entre la biomasa de las malezas y el rendimiento del follaje. De igual forma, Dusabumuremyi *et al.* (2014) reportaron que no hubo ninguna correlación significativa entre la biomasa de las malezas y la biomasa seca de plantas de frijol (*P. vulgaris*) durante el período de crecimiento en el año 2009. Sin embargo, los mencionados autores encontraron una correlación significativa entre la biomasa de las malezas y la biomasa seca de plantas de frijol durante período de crecimiento en el año 2011.

Concentración de N en las vainas

La concentración de N en las vainas estuvo significativamente ($P \leq 0,05$) influenciada por el desmalezado (cuadro 1). La concentración de N en las vainas aumentó de 11 a 13%, cuando en las parcelas se desmalezó una vez y dos veces; respectivamente, comparado con las parcelas donde no se desmalezó durante el período de crecimiento (cuadro 2). Este resultado indicó que el deshierbe aumentó la disponibilidad de nitrógeno en las plantas de judías verdes. Las malezas, especialmente las especies C4, utilizan el nitrógeno más eficientemente (Zhu *et al.*, 2008) que las judías verdes (especie de C3). Por lo tanto, bajo condiciones de maleza, la competencia entre las judías verdes

Literature cited

- Acciaresi, H.A. and H.O. Chidichimo. 2007. Spatial pattern effect on corn (*Zea mays*) weeds competition in the humid Pampas of Argentina. *Int. J. Pest Manag.* 53:195-206.
- Aminpanah, H., F. Rasouli and S. Firouzi. 2012. Effect of nitrogen rate on competition between canola (*Brassica napus* L.) cultivars and their natural weed populations. *Thai. J. Agric. Sci.* 45(4):213-219.
- Aslam, M., H.K. Ahmad, E. Ahmad, M.A. Himayatullah Khan and A.G. Sagoo. 2007. Effect of sowing methods and weed control techniques on yield and yield components of chickpea. *Pak. J. Weed Sci. Res.* 13:49-61.
- Chauhan, B.S. and D.E. Johnson. 2011. Row spacing and weed control timing affect yield of aerobic rice. *Field Crops Res.* 121:226-231.
- Drews, S., D. Neuhoﬀ. and U. Kopke. 2009. Weed suppression ability of three winter wheat varieties at different row spacing under organic farming conditions. *Weed Res.* 49:526-533.
- Dusabumuremyi, P., C. Niyibigira and A.B. Mashingaidze. 2014. Narrow row planting increases yield and suppresses weeds in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in a semi-arid agro-ecology of Nyagatare, Rwanda. *Crop Protec.* 64:13-18.
- Esmaeilzadeh, S. and H. Aminpanah. 2015. Effects of planting date and spatial arrangement on bean yield under weed-free and weedy conditions. *Planta Dinha.* 33(3):425-432.
- Fanadzo, M., A.B. Mashingaidze and C. Nyakanda. 2007. Narrow rows and high maize densities reduce maize grain yield but suppress weeds under dryland conditions in Zimbabwe. *J. Agron.* 6:566-570.
- Food and Agricultural Organization (FAO). 2012. FAOSTAT statistics database [Online]. Available at <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

y las malezas podría haber reducido la concentración de N en las vainas. Por otra parte, Ugen *et al.* (2002) señalaron que la concentración de N en el frijol no varió con la competencia de malezas-grano.

Composición de las comunidades de malezas y biomasa de las malezas

En el campo experimental, las especies más dominantes de malezas de hoja ancha fueron *A. retofeleus* L., *Datura stramonium* L., *C. album* L. y *P. oleracea* L., mientras que *Setaria viridis* L., *E. crus-galli* (L.) Beave, y *P. dilatatum* poir, *C. dactylon* L. y *Digitaria sanguinalis* L fueron las especies herbáceas más dominantes. El ANOVA indicó que el principal efecto del régimen de desmalezado fue significativo para la biomasa de las malezas ($P<0,01$; cuadro 1). Independientemente de la distancia de siembra, la mayor y la menor biomasa de las malezas se registró en las parcelas con uno y dos desmalezados; respectivamente (cuadro 2). La distancia de siembra y la interacción entre ellas no fueron significativas. Por otra parte, Holmes y Sprague (2013) informaron que la biomasa de malezas en patrones de siembra con hileras estrechas resultó significativamente más baja que en un patrón de plantación de hileras amplios en frijol. Adicionalmente, Mashingaidze *et al.* (2009) reportaron que hileras con poco espaciado de siembra suprimieron más eficazmente el crecimiento de las malezas en comparación con el patrón de siembra en hileras con espaciados en maíz, causando esto una producción reducida de semillas debido a las malezas. La

- Holmes, R.C. and C.L. Sprague. 2013. Row width affects weed management in type II black bean. *Weed Technol.* 27(3):538-546.
- Karar, R.O. 2003. Studies of the weed ecology of the Gezira scheme, Sudan: an ecological and socio-economic perspective. PhD Thesis. University of Liverpool, Liverpool, UK.
- Mashingaidze A.B., W. van der Werf., L.A.P. Lotz., J. Chipomho and M.J. Kropff. 2009. Narrow rows reduce biomass and seed production of weeds and increase maize yield. *Ann. Appl. Biol.* 155:207-218.
- Olsen, J. and J. Weiner. 2005. Effects of density and spatial pattern of winter wheat on suppression of different weed species. *Weed Sci.* 53:690-694.
- Olsen, J.M., H.W. Griepentrog, J. Nielsen and J. Weiner. 2012. How important are crop spatial pattern and density for weed suppression by spring wheat? *Weed Sci.* 60:501-509.
- Pynenburg, G.M., P.H. Sikkema and C.L. Gillard. 2011. Agronomic and economic assessment of intensive pest management on dry bean. *Crop Protec.* 30:340-348.
- Regnier, E.E. and K.B. Bakelana. 1995. Crop planting pattern effects on early growth and canopy shape of cultivated and wild oats (*Avena fatua*). *Weed Sci.* 43:88-94.
- SAS, Institute. 2004. Statistical Analysis Systems. SAS User's Guide. Version 9.1. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC.
- Schuster C.L., D.E. Shoup and K. Al-Khatib. 2007. Response of common lambsquarters (*Chenopodium album*) to glyphosate as affected by growth stage. *Weed Sci.* 55:147-151.
- Ugen M.A., H.C. Wien and C.S. Wortmann. 2002. Dry bean competitiveness with annual weeds as affected by soil nutrient availability. *Weed Sci.* 50:530-535.
- Weiner, J., S.B. Andersen, W.K.M. Wille, H.W. Griepentrog and J.M. Olsen. 2010. Evolutionary Agroecology: the biomasa de las malezas se correlacionó negativamente con el rendimiento de la vaina ($r = -0,60$; $P \leq 0,01$) y la concentración de N en las vainas ($r = -0,41$; $P \leq 0,05$). Este resultado concordó con los mencionados por Aminpanah *et al.* (2012), quienes informaron que el rendimiento de grano de Canola se correlacionó negativamente ($P \leq 0,05$) con la biomasa de las malezas. Dusabumuremyi *et al.* (2014) reportaron que la biomasa de las malezas se correlacionó de manera significativa y negativa con el rendimiento de frijol durante el período de crecimiento del año 2011 ($P < 0,01$), pero señalaron que no había ninguna correlación significativa entre la biomasa de las malezas y la biomasa seca de las plantas de frijol durante el período de crecimiento de 2009.

Conclusión

Este experimento indicó que la distancia de siembra y el desmalezado tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento de las vainas. Basado en los resultados de este experimento, se recomienda aplicar la distancia de siembra de 40 x 20 cm y dos desmalezados a mano durante el período de cultivo para obtener el mayor rendimiento de vainas frescas en judías verdes.

Fin de la versión español

potential for cooperative, high density, weed-suppressing cereals. *Evol. Appl.* 3:473-479.

- Weiner, J., H.W. Griepentrog and L. Kristensen. 2001. Suppression of weeds by spring wheat (*Triticum aestivum*) increases with crop density and spatial uniformity. J. Appl. Ecol. 38:784-790.
- Westgate, M.E., F. Forcella, D.C. Reicosky and J. Somsen. 1997. Rapid canopy closure for maize production in the northern US Corn Belt: radiation use efficiency and grain yield. Field Crops Res. 49:249-258.
- Yamakawa, T. 1993. Laboratory methos for soil science nutrition. part-2. methods of analysis. JICA-IPSA Project. pp. 6-16.
- Zhu C., Q. Zeng, L.H. Ziska, J. Zhu, Z. Xie and G. Liu. 2008. Effect of nitrogen supply on carbon dioxide-induced changes in competition between rice and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*). Weed Sci. 56:66-71.