

Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal*

Pinto Saltillo bean yield in high densities under rainfed conditions

Esteban Salvador Osuna-Ceja¹, Luis Reyes-Muro^{1§}, José Saúl Padilla-Ramírez¹ y Miguel Ángel Martínez-Gamiño²

¹Campo Experimental Pabellón. INIFAP. Carretera Aguascalientes Zacatecas, km 32.5. C. P. 20660, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. Tel. 01 465 95 8 01 86. (osuna.salvador@inifap.gob.mx), (jsaulp@yahoo.com). ²Campo Experimental San Luis- INIFAP. Domicilio conocido Ejido Palma de La Cruz, C. Soledad de Graciano Sánchez. C. P. 78431. San Luis Potosí, S. L. P. Tel. 01 444 85 2 43 03 (martinez.miguelangel@inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: reyes.luis@inifap.gob.mx.

Resumen

Para la obtención de altos rendimientos en frijol de temporal es necesario ajustar el manejo agronómico del cultivo al medio ambiente. La presente investigación se realizó con el objetivo de evaluar la respuesta de rendimiento de la variedad Pinto Saltillo, con hábito de crecimiento indeterminado postrado, a diferentes densidades de plantas (90 mil, 145 mil y 260 mil plantas ha⁻¹) y distanciamiento entre surcos (0.76, 0.40 y 0.20 m). Los experimentos se realizaron en Sandoval y Pabellón, Ags. durante primavera-verano en 2010 y 2011. Se estudiaron tres métodos de siembra (una hilera en surcos de 0.76 m, y tres y seis hileras en surcos estrechos en camas a 1.52 m). Se registraron datos sobre rendimiento y sus componentes. En ambos años, los análisis de varianza para el rendimiento y sus componentes mostraron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos. Los máximos rendimientos se obtuvieron con la siembra a tres y seis hileras, en densidades de 145 mil y 260 mil plantas ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento aumentó 28.6% y 41% al reducir la distancia entre surcos, del distanciamiento tradicional de 0.76 m, a 0.40 y 0.20 m, respectivamente. Se concluye que la variedad de frijol estudiada incrementa su rendimiento en alta densidad de plantas bajo condiciones de temporal en la región semiárida de México.

Abstract

In order to get high yields from bean varieties cultivated under rainfed conditions is necessary to adapt the agronomic management to the local ecological conditions. This research was carried out to evaluate the yield response of Pinto Saltillo bean variety, with indeterminate prostrate growth habit, at different plant densities (90000, 145000 y 245000 ha⁻¹) and distance between rows (0.76, 0.40 y 0.20 m). Experiments were performed in Sandoval and Pabellón, Aguascalientes, during spring-summer cycles of 2010 and 2011. It was studied three sowing methods (one line in rows of 0.76 m, and 3 and six lines distributed in narrow rows inside beds of 1.52 m wide). Data were recorded on yield and its components. In both years, analyzes of variance for yield and its components showed significant differences () between treatments. The highest yields were obtained by planting three and six rows at densities of 145 000 and 260 000 plants ha⁻¹ respectively. The yield increased 28.6% and 41% by reducing the distance between rows, from the traditional distance of 0.76 m to 0.40 m and 0.20 m, respectively. It was conclude that the variety of bean studied increases its yield under high density of plants even under rainfed conditions in the semiarid regions of Mexico.

* Recibido: diciembre de 2011
Aceptado: julio de 2012

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., densidad de población, triple hilera, rendimiento, temporal.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., population density, rainfed, triple row, yield.

Introducción

En las áreas donde se cultiva frijol de temporal, como es la región del Altiplano Semiárido del Centro-Norte de México, las precipitaciones no logran cubrir los requerimientos del uso consuntivo del cultivo, principalmente de las variedades criollas de ciclo tardío (más de 90 días) y frecuentemente limitan el rendimiento y la respuesta a la fertilización. La evaporación es el principal factor de pérdida de agua en los sistemas agrícolas, y se estima que entre 75 y 80% de la precipitación anual retorna a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo, lo que resulta en una baja eficiencia en el aprovechamiento de las precipitaciones (Bennie y Hensley, 2000; González *et al.*, 2003). El agua es el principal factor limitante para la producción de frijol en agricultura de temporal, por lo que es necesario aprovechar al máximo el agua de lluvia (Anaya, 1991; Figueroa, 1991; Ortiz, 1996; Rubio, 2004).

Tradicionalmente, la mayoría de los productores de frijol de la región del Altiplano Semiárido utilizan variedades criollas de ciclo tardío y sembradoras mecánicas. Con referencia a los equipos, éstos están ajustados para sembrar a una distancia entre surcos de 0.76 a 0.80 m y densidades de siembra de 80 000 a 90 000 mil plantas ha⁻¹. Sin embargo, el uso de este método de siembra no permite evaluar correctamente el rendimiento de las nuevas variedades de frijol con ciclo vegetativo de 80 a 90 días, hábito de crecimiento e índice de área foliar diferente a las tradicionales.

Una alternativa de manejo agronómico que puede mejorar esta situación es la siembra en surcos angostos, con distanciamiento menor al convencional de 0.76 m. Existen antecedentes (Alves *et al.*, 2008) de que esta práctica incrementa el rendimiento de materia seca por unidad de superficie debido, principalmente, a un mayor desarrollo de área foliar e intercepción de radiación solar durante el ciclo de crecimiento

El efecto benéfico del surcado angosto se incrementa cuando se combina con las nuevas variedades de temporal de ciclo precoz y la captación de agua de lluvia *in situ* mediante el uso del sistema “aqueel” y el “pileteo”, prácticas que consisten en la construcción de micro-reservorios sobre la superficie

Introduction

In the bean-growing rainfed areas, such as the semiarid highlands region of North Central Mexico, rainfall cannot meet the requirements of the crop's consumptive use, especially of late maturing landraces (more than 90 days) and often limiting the yield and response to fertilization. Evaporation is the main cause of water loss in agricultural systems, and it is estimated that between 75 and 80% of annual precipitation returns to the atmosphere without being involved in the production process, resulting in low efficiency in the use of rainfall (Bennie and Hensley, 2000; González *et al.*, 2003). Water is the main limiting factor for bean production in rainfed agriculture, so it is necessary to maximize rainwater (Anaya, 1991; Figueroa, 1991; Ortiz, 1996; Rubio, 2004).

Traditionally, most bean-producing region of semiarid Plateau use late maturing landraces and mechanical seeders. With reference to teams, they are set to grow at a row spacing of 0.76 to 0.80 m and densities of 80 000 to 90 000 plants ha⁻¹. However, the use of this method of seeding cannot assess properly the potential yield of new bean varieties with growing cycle of 80 to 90 days, which growth habit and leaf area index are different from those traditionally used.

An alternative agricultural management that can improve this situation is to sow in narrow rows with less than the conventional distance of 0.76 m. There are backgrounds (Alves *et al.*, 2008) that this practice increases the dry matter yield per unit area, mainly due to increased leaf area development and interception of solar radiation during the growth cycle.

The beneficial effect of narrow furrowed increases when combined with new rainfed varieties of early season cycle and *in situ* rainwater capture by using the system “aqueel” and “row diking”, practices that involve the construction of micro-reservoirs on the ground surface and cross levees to the direction of furrowing, respectively, to store rainwater and eliminate runoff. The integration of methods and sow densities, varieties and water harvesting practices cause the crop to develop different levels of cover over the soil surface,

del terreno y bordos transversales respecto al sentido del surcado, respectivamente, para almacenar el agua de lluvia y eliminar los escurrimientos. La integración de métodos y densidades de siembra, variedades y prácticas de cosecha de agua hacen que el cultivo desarrolle distintos niveles de cobertura sobre la superficie del suelo, que actúan de manera diferente en el contenido de agua, uso consuntivo del cultivo y pérdidas de suelo por erosión (Padilla *et al.*, 2006; Osuna *et al.*, 2007; Navarro-Bravo *et al.*, 2008).

En la medida en que se reduce la distancia entre surcos y se mantiene la distancia entre plantas se incrementa la densidad de población y es posible incrementar la cobertura vegetal aérea del cultivo y, consecuentemente, se reducen las pérdidas directas de agua por evaporación al cubrir más rápidamente el suelo. Lo anterior es posible al incorporar al sistema de producción métodos de siembra con altas densidades de plantas y genotipos compactos de maduración temprana (González *et al.*, 2003; Alves *et al.*, 2008).

Al aumentar la densidad de plantas, generalmente aumenta el índice de área foliar; conforme aumenta la cobertura, la evaporación disminuye y la transpiración aumenta. Es decir, el uso de la cobertura vegetal aérea, como reductora de la evaporación, provoca disminución del movimiento y turbulencia del viento que provoca altas tasas de evaporación del agua del suelo (Figueroa, 1991).

Basados en estos principios, actualmente en las principales regiones productoras de frijol en México, la competencia entre las plantas cuando están cada vez más juntas en un surco convencional (0.76 a 0.80 m), se ha tratado de corregir mediante el uso de un surcado más angosto y una distribución espacial de las plantas homogénea, permitiendo con ello una mayor densidad de población por hectárea con una distribución más uniforme a través del surco, logrando así una mayor cobertura del suelo y una menor competencia entre plantas, lo que permite un mejor aprovechamiento de la luz, humedad del suelo y distribución de las raíces (Reta *et al.*, 2007; Soltero *et al.*, 2010).

Se ha encontrado, entre otros aspectos, que la densidad óptima de plantas que maximiza el rendimiento de grano depende del genotipo (Acosta *et al.*, 1996), usualmente más alta en variedades de frijol de maduración tardía, debido a su mayor área foliar y plasticidad (Padilla *et al.*, 2006) y mayor duración de crecimiento. En frijol, las densidades de población y la distribución de las plantas en el terreno, dependen de las características de desarrollo de la variedad

which act differently on the water content, consumptive crop use and soil losses by erosion (Padilla *et al.*, 2006; Osuna *et al.*, 2007; Navarro-Bravo *et al.*, 2008).

To the extent that it reduces the distance between rows and maintaining the distance between plants, increases population density and may increase the aerial crop vegetation cover and consequently, the direct loss of water by evaporation decrease by a faster covering of the ground. This is possible by incorporating to the traditional production system, sowing methods with high plant density and compact early maturing genotypes (González *et al.*, 2003; Alves *et al.*, 2008).

While increasing plant density generally increases the rate of leaf area with increasing coverage, evaporation decreases and transpiration increases. That is, the use of aerial plant cover, such as reducing evaporation, causing decreased movement and wind turbulence that causes high rates of evaporation of soil water (Figueroa, 1991).

Based on these principles, now in the main bean-producing regions in Mexico, competition between plants when each time growing closer in a conventional row (0.76 to 0.80 m), it has tried to correct by using narrower rows and a homogeneous spatial distribution of plants, thereby allowing a higher density of population per hectare with a more uniform distribution through the rows, thus achieving greater ground cover and less competition between plants, allowing better use of light, soil moisture and root distribution (Reta *et al.*, 2007; Single *et al.*, 2010).

It has been found, among other things, that the optimum plant density that maximizes grain yield depends on the genotype (Acosta *et al.*, 1996), usually higher in maturing bean varieties late, due to their greater leaf area and plasticity (Padilla *et al.*, 2006) and longer duration of growth. In beans, population densities and distribution of plants in the field, depend on the characteristics of the variety development (height and branching of the plant) as well as the environmental factors (soil, precipitation and temperature, etc..) making a density and optimum distribution for a plant variety is not the best for another, especially if they differ in their growth habit and earliness (Acosta *et al.*, 1996; Luna-Flores and Gaytan-Bautista, 2001; Padilla-Ramírez *et al.*, 2003).

Based on this background, in 2010 and 2011 this study was conducted for evaluating the response in grain yield and its components of the bean cultivar Pinto

(altura y ramificación de la planta) y con los factores ambientales (suelo, precipitación y temperatura, etc.), lo que hace que una densidad y distribución de plantas óptima para una variedad, no sea la mejor para otra, sobre todo si estas difieren en su hábito de crecimiento y precocidad (Acosta *et al.*, 1996; Luna-Flores y Gaytán-Bautista, 2001; Padilla-Ramírez *et al.*, 2003).

Con base en estos antecedentes, en 2010 y 2011 se realizó el presente trabajo con el objetivo de evaluar la respuesta en rendimiento de grano y sus componentes de la variedad de frijol Pinto Saltillo con diferente distanciamiento entre surcos y densidad de plantas, con labranza mínima y captación de agua de lluvia *in situ*.

Metodología

En 2010 se estableció un experimento con frijol Pinto Saltillo de temporal en Sandoval, Ags., México, sitio localizado a una altitud de 2 045 msnm, donde se registraron 328.2 mm de precipitación en el ciclo de cultivo; la temperatura media fue de 16.2 °C y el ciclo de cultivo de 110 días (de julio a principios de octubre); el suelo es de 0.45 m de profundidad, con 1.0% de materia orgánica, textura franco-arenosa, 1% de pendiente y pH de 6.8, clasificado como un suelo poco fértil. Un segundo experimento se realizó en 2011 en Pabellón, Aguascalientes, México.

Donde la altitud es de 1 912 msnm, la precipitación fue de 188.6 mm durante el ciclo de cultivo que duró 100 días (de agosto a principios de noviembre); temperatura media de 16.8 °C, el suelo es de 0.48 m de profundidad, con 2.02% de materia orgánica, textura migajón-arenoso con pH ligeramente alcalino de 7.6, una pendiente de 1%, y el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) es de 16.1, 18.5 y 405 ppm, respectivamente. Por tanto, la fertilidad del suelo en estudio es medianamente fértil.

Los métodos de siembra estudiados fueron: siembra en hileras sencillas (convencional) separadas a 0.76 m y siembra en cama de 1.52 m (a tres y seis hileras, separadas a 0.40 y 0.20 cm entre hileras, respectivamente). Se evaluaron tres densidades de plantas: 90 mil, 145 mil y 260 mil plantas ha⁻¹ en ambos experimentos. En los dos ensayos se utilizó la variedad de frijol Pinto Saltillo proveniente del Programa de Mejoramiento Genético de Frijol del INIFAP. Esta variedad fue seleccionada por su ciclo corto (90 días de la siembra

Saltillo with different spacing between rows and plant density, with minimum tillage and *in situ* rainwater collection.

Methodology

In 2010, an experiment with Pinto Saltillo bean rainfed variety was established in Sandoval, Aguascalientes, Mexico, located at an elevation of 2 045 m, which recorded 328.2 mm rainfall in the growing season, the average temperature was 16.2 °C and the growing season was of 110 days (from July to early October), the soil is 0.45 m deep, with 1.0% organic matter, sandy texture, 1% slope, pH 6.8, classified as an infertile soil. A second experiment was conducted in 2011 in Pabellón, Aguascalientes, Mexico, Where the elevation is 1912 m, rainfall was 188.6 mm during the growing season lasted 100 days (from August to early November), average temperature of 16.8 °C, the soil is 0.48 m deep, with 2.2 % organic matter, sandy loam, slightly alkaline pH of 7.6, a slope of 1% and the content of nitrogen, phosphorus and potassium (NPK) is 16.1, 18.5 and 405 ppm, respectively. Therefore, the study soil fertility is moderately fertile.

Sowing methods studied were: sowing in single rows (conventional) spaced 0.76 m inside planting bed of 1.52 m (three and six rows, spaced 0.40 and 0.20 cm between rows, respectively). It was evaluated three plant densities: 90 000, 145 000 and 260 000 plants ha⁻¹ in both experiments. In the two trials was used Pinto Saltillo bean variety derivate from the INIFAP's Bean Breeding Program. This variety was selected for its short cycle (90 days from planting to physiological maturity), prostrate growth habit and medium sized elongated grains with long shelf life, i.e. after harvest, the grain is not oxidized to the same rate as similar varieties of pinto type. It is resistant to drought and diseases that occur in the semiarid region. Due to its characteristics, is a preferred variety of producers and consumers (Osuna *et al.*, 2011).

The land was prepared with a step of chisel to break the line of the previous cycle and screened prior to sowing. In Sandoval the previous crop was rainfed beans and in Pabellón it was triticale under irrigation. Planting under rainfed conditions and wet soil took place on July 30 in both experiments, only in Pavilion, due to delayed rains in July 2011, simulating a rainfall of 40 mm the experimental area was irrigated in order to sowing, after which the experiment was conducted under rainfed conditions. In

a madurez fisiológica), hábito de crecimiento postrado y grano de tamaño medio alargado, con prolongada vida de anaquel; es decir, después de cosechado, su grano no se oxida a la misma velocidad que variedades similares de tipo pinto. Es resistente a la sequía y a enfermedades que ocurren en la región semiárida. Por sus características, es una variedad preferente por productores y consumidores (Osuna *et al.*, 2011).

El terreno se preparó con un paso de cincel para romper el surco del ciclo anterior y se rastreó antes de la siembra. En Sandoval es el cultivo anterior fue frijol de temporal y en Pabellón fue triticale de riego. La siembra en condiciones de temporal y en suelo húmedo se realizó el 30 de julio en ambos experimentos, sólo que en Pabellón, debido al retraso de las lluvias en el mes de julio del 2011, simulando una precipitación de 40 mm se regó el área experimental para establecer la siembra y se codujo bajo condiciones de temporal. La siembra de los dos experimentos se realizó con un prototipo experimental de sembradora mecánica diseñada en el Programa de Mecanización del Campo Experimental Pabellón, del INIFAP.

Con dicha sembradora se establecieron los métodos a diferente distanciamiento entre surcos: convencionales (hilera sencilla) y en cama (a tres y seis hilera). Se depositó una semilla cada 14 cm en todos los casos para establecer las densidades de población consideradas en el estudio. En ambos experimentos, la semilla fue inoculada al momento de la siembra con la cepa INIFAP *Glomus intraradices*, a dosis de 350 g ha⁻¹ de sustrato micorrízico aplicado a la semilla, y el inoculo estuvo formado de suelo y trozos de raíces de sorgo micorrizados (75% de colonización) como planta hospedera. Además, se hizo una aplicación de fertilización foliar durante el llenado de grano en ambos experimentos, con urea y ácido fosfórico al 2 y 1%, respectivamente.

El fertilizante foliar se preparó como sigue: se disolvieron 12 kg de urea y 6 litros de ácido fosfórico en 600 litros de agua, más 0.25 litros de adherente. La solución aplicada a las hojas equivale a 5.5 kilogramos de nitrógeno y 4.2 litros de fósforo por hectárea.

Con el propósito de lograr geométricamente la mayor distribución y captación del agua de lluvia disponible para el cultivo y la disminución de los escurrimientos superficiales, en Sandoval es se implementaron las prácticas del rodillo “aqueel” y el “pileteo.

both cases the sowing were performed using a mechanical seeder experimental prototype designed in the INIFAP's Mechanization Program at Pabellón Experimental Station.

With the indicated seeder, the methods were established at different distance between rows: conventional (single row) and inside a bed (with three and six rows). It was deposited one seed each 14 cm in all cases to set densities considered in the study. In both experiments, the seed was inoculated at planting time with *Glomus intraradices* at doses of 350 g ha⁻¹ of mycorrhizal substrate applied to the seed, which was integrated by soil and mycorrhized sorghum roots (75% colonization) as host plant. Furthermore, it became a foliar application during grain filling in both experiments, with urea and phosphoric acid and 2 and 1% respectively.

Foliar fertilizer was prepared as follows: dissolved 12 kg of urea and 6 liters of phosphoric acid in 600 liters of water plus 0.25 liters of adherent. The solution applied to the leaves was equivalent to 5.5 kg of nitrogen and 4.2 liter of phosphorus per hectare.

In order to achieve geometrically the highest distribution and collection of rainwater available to the crop and reduced the surface runoff, in Sandoval es were implemented practices called “aqueel” and “row diking”.

The “aqueel” system is a set of gears with a geometric design that integrates a continuous roll as width as the seeder. With this roller can be built around 190 000 micro-catchments per hectare, storing in each reservoir approximately 1 liter of water (Ventura *et al.*, 2003). This activity was performed at sowing time.

The “row diking” is a practice of raising levees of land of 0.20 m high at regular intervals in the middle of the tread groove where the tractor goes. The aim of the “row diking” is to store water and reduce soil erosion. The pools were built during the first weeding, using a commercial prototype machine, which was coupled to the rudder of a multibar.

At Pabellón the capitation water techniques mentioned were not used, because in the experimental field it was incorporated triticale straw ($\pm 2 \text{ t ha}^{-1}$) from the previous cycle.

In both trials, each experimental unit consisted of 4, 6 and 12 rows 30 m long with a spacing of 0.76, 0.40 and 0.20 m, where was took data of soil, plant and climate.

El sistema “aqueel” es un conjunto de ruedas dentadas, con diseño geométrico que forman un rodillo continuo del ancho de la sembradora. Con este rodillo es posible construir alrededor de 190 mil micro-captaciones por hectárea, almacenando en cada reservorio aproximadamente 1 litro de agua (Ventura *et al.*, 2003). El paso del rodillo se realizó al momento de la siembra.

El “pileteo” es una práctica que consiste en levantar bordos de tierra de 0.20 m de alto a distancias regulares en medio del surco donde va la rodada del tractor. El objetivo del “pileteo” es almacenar el agua y reducir la erosión del suelo. Las piletas fueron construidas durante la primera escarda, utilizando un prototipo de pileteadora de tipo comercial, que se acopló a los timones de una multibarra.

En Pabellón no se utilizaron las prácticas de captación de agua mencionadas, debido a que en el terreno experimental se incorporó paja de triticale ($\pm 2 \text{ t ha}^{-1}$) del ciclo anterior.

En ambos ensayos, cada unidad experimental consistió de 4, 6 y 12 surcos de 30 m de longitud con una separación de 0.76, 0.40 y 0.20 m, de donde se le tomaron datos de suelo, planta y clima.

Suelo: se midieron indicadores de calidad físico-químicos en la capa arable 0.0-0.20 cm (densidad aparente [ρ_b] determinada por el método del cilindro de volumen conocido (Jury *et al.*, 1991), porosidad total [f] determinada a partir de ρ_b y la densidad real considerada como 2.65 Mgm^{-3}). Además, se tomaron muestras de suelo y se enviaron al laboratorio para determinar textura, fertilidad (NPK), materia orgánica y pH antes de la siembra.

Planta: se cuantificó el número de vainas por planta, número de granos por vaina (promedio de 10 plantas tomadas al azar dentro de las hileras centrales [Va] y métodos de siembra [Ms]) y peso de 100 semillas. El número de plantas por metro cuadrado se determinó dividiendo el número de plantas presentes en las hileras cosechadas entre el área correspondiente. Todas las variables de planta se registraron en diez segmentos de surco de 2 metros de longitud tomados al azar dentro de la unidad experimental. Para la determinación del rendimiento, dentro de cada unidad experimental, se tomaron al azar diez parcelas de 2 m de ancho por 2 m de largo. La información de las características cuantificadas en el cultivo se analizó con base en diez repeticiones.

Soil: physical-chemical quality indicators were measured in the topsoil from 0.0 to 0.20 cm (bulk density [ρ_b] determined by the method of cylinder of known volume (Jury *et al.*, 1991), total porosity [f] determined from ρ_b and the actual density considered as 2.65 Mgm^{-3} . In addition, soil samples were taken and sent to the laboratory to determine texture, fertility (NPK), organic matter and pH before planting.

Plant: the number of pods per plant was measured, number of seeds per pod (average of 10 plants were taken at random within the central rows [Va] and sowing methods [Ms]) and 100 seed weight. The number of plants per square meter was determined by dividing the number of plants present in the rows harvested from the corresponding area. All plant variables were recorded in ten row segments of 2 meters in length taken at random within the experimental unit. To determine the yield within each experimental unit were randomly considered ten plots of 2 m wide by 2 m long. The information of the quantified characterizes involved in the culture was analyzed based on ten repetitions.

Climate: the precipitation was recorded in real time during the growing cycle by using INIFAP’s automated stations located in Sandoval and Pabellón contrasting these data with the historical monthly average rainfall at both sites.

Results

Rainfall variability and its use

In 2010 and 2011 the total rainfall occurred from June 1th to October 31th was lower than the historical average (Table 1), with alternating periods of wetting and drying with varying durations during the growing season. In June 2010 the rainfall was below the historical average and above in July, then, there were 30 days with little rain in August, during September precipitation was above average. During 2011 the rainfall in the growing season were lower than the historical average of 388.3 mm. Regarding the distribution of rainfall, the year 2011 also was particularly unusual, probably due to climate change.

Clima: se registró la precipitación en tiempo real durante el ciclo de cultivo de las estaciones automatizadas del INIFAP ubicadas en Sandoval y Pabellón y se realizó el contraste con la precipitación media mensual histórica de ambos sitios.

Resultados

Variabilidad de la lluvia y su aprovechamiento

En 2010 y 2011 la lluvia total ocurrida del 1° de junio al 31 de octubre fue más baja que el promedio histórico (Cuadro 1), con períodos alternos de humedad y sequía con duraciones variables durante el ciclo de cultivo. En junio 2010 la lluvia estuvo por debajo del promedio histórico y en julio por arriba; luego, hubo 30 días con poca lluvia en agosto, septiembre se incrementó por arriba del promedio. Durante el 2011 las precipitaciones en el ciclo de cultivo fueron inferiores a la media histórica de 388.3 mm. Respecto a la distribución de las lluvias, el año 2011 también fue particularmente atípico, debido probablemente al efecto del cambio climático.

The crop cycle from planting to physiological maturity was 90 days (July 30th to October 29th) in both years. In 2010 the rainfall in this period was 209.2 mm and in 2011 it was of 188.6 mm. The 49.33% and 31.07% of the rainfall occurred in the early stages of plant growth in both years, so, during the rest of their growing the plants disposed of 50.67% and 68.93% of rain in the stages of formation and grain filling. This means an erratic distribution of rainfall for crop requirements.

Because the rains were very poor, there was not enough water retained in the root zone, so that the crop suffered a severe drought during the development stage and early flowering, mainly in the traditional planting method in single line in rows at 76 cm, presented larger open area. However, in the formative stage and grain filling, the crop suffered less stress and there was a physiological recovery due to the presence of rain during this stage of growth at both sites. This demonstrates the resilience of the variety of bean Pinto Saltillo and effectiveness of rainwater harvesting practices in Sandoval and incorporation of crop residues in Pabellón, which was associated with a higher grain yield, mainly in the treatment of three and six sowing lines.

Cuadro 1. Precipitación promedio anual e histórica en el Sitio Experimental Sandoval y Campo Experimental Pabellón, Aguascalientes, 2010 y 2011.

Table 1. Average annual rainfall and historical at Sandoval Experimental Site and Pabellón, Aguascalientes Experimental Field, 2010 and 2011.

Mes	Sandoval	Pabellón	Promedio histórico	
	2010	2011	Sandoval	Pabellón
Precipitación (mm)				
Junio	30.0	13.6	69.8	58.7
Julio†	175.6	31.8	115.1	110.2
Agosto	41.8	58.6	107.3	95.6
Septiembre	80.8	71.4	74.6	79.1
Octubre	0.00	13.2	35.2	34.5
Noviembre	0.00	0.00	9.3	10.2
Total	328.20	188.6	411.3	388.30

† En 2010 y 2011 la fecha de siembra fue el 30 de julio. La lluvia total en el período de cultivo fue de 209.2 mm en 2010 y de 175.0 mm en 2011.

El ciclo de cultivo, de la siembra a la madurez fisiológica, fue de 90 días (30 de julio al 29 de octubre) en ambos años. En 2010 la lluvia en ese periodo fue de 209.2 mm y en 2011 fue de 188.6 mm. El 49.33% y 31.07% de la precipitación ocurrió en las primeras etapas de crecimiento, en los dos años, y el cultivo dispuso de 50.67% y 68.93 % de lluvia en las etapas de formación y llenado de grano. Esto significa una distribución errática de lluvia para las necesidades del cultivo

Physical characteristics of experimental soil

Determinations made by the laboratory for soil texture show that the proportions of sand, silt and clay in the topsoil (0.0 to 0.20 cm depth) are very similar in both experimental sites, with textural interpretation for sandy loam soils. The bulk density values show an increase with depth, consistent with those reported by Håkansson and

Debido a que las lluvias fueron muy escasas, no hubo suficiente agua retenida en la zona radicular, de tal manera que el cultivo sufrió una sequía extrema durante la etapa de desarrollo e inicio de floración, principalmente en el método de siembra tradicional a hilera sencilla en surcos a 76 cm, que presentó mayor área descubierta. Sin embargo, en la etapa de formación y llenado de grano, el cultivo sufrió menos estrés y hubo una recuperación fisiológica por la presencia de las lluvias durante ésta etapa de crecimiento en ambas localidades. Lo anterior pone de manifiesto la capacidad de recuperación de la variedad de frijol Pinto Saltillo y la efectividad de las prácticas de captación de lluvia en Sandoval y la incorporación de residuos de cosecha en Pabellón, lo cual se asoció a un mayor rendimiento de grano, principalmente en los tratamientos de tres y seis hileras.

Características físicas del suelo experimental

Las determinaciones realizadas por el laboratorio para textura del suelo muestran que las proporciones de arena, limo y arcilla en la capa arable (0.0-0.20 cm de profundidad) son muy similares en ambos sitios experimentales, con interpretación textural correspondiente a suelos franco-arenosos. Los valores de densidad aparente manifiestan un incremento con la profundidad, acorde a lo reportado por Håkansson y Lipiec. (2000), y Ramírez *et al.* (2006). Considerando que el intervalo de la densidad aparente en suelos de textura media es 1.3 a 1.4 Mg m⁻³, los valores obtenidos en los dos sitios experimentales coincidieron con el intervalo señalado (Cuadro 2).

Lipiec., (2000) and Ramírez *et al.* (2006). Considering that the bulk density range in soils of medium texture is 1.3 to 1.4 Mg m⁻³, the values obtained in the both experimental sites coincided with the reported range (Table 2).

With respect to the total porosity of the soil, it was observed that, as the bulk density, it decreases as the depth increases in both experimental sites (Blevins and Frye, 1993). The differences in the values of total porosity can be explained by the effect of compaction in the sedimentation process of materials, which is reflected in soils with a history of excessive tillage, wherein the structure has deteriorated and usually results in compaction problems which are accentuated in unstable soils and weathered as those that predominate in rainfed semi-arid area in Aguascalientes.

Regarding the storage capacity of water in the soil, it ranged from 14.6 to 26.8 mm in Sandoval, and 14.9 to 27.2 mm in Pabellón. These values indicate low retention and soil water availability, stemming from the low infiltration rates with this type of soil.

Data derived from the soil analysis show the need for improved resources utilization like: rain, soil, plants and microenvironment in rainfed agriculture established in arid and semiarid regions, in order to that production systems become sustainable in the medium and long term (Osuna *et al.*, 2000).

Cuadro 2. Características físicas del perfil de suelo de los dos sitios experimentales.

Table 2. Physical characteristics of the soil profile of the two experimental sites.

Profundidad (cm)	Θ _g (%)	ρ _b (MgM ⁻³)	f _t (%)	L _a (mm)
Perfil del suelo, Sandoval				
0-15	7.3 ^a	1.30 ^b	50.9 ^b	14.6 ^b
15-30	7.4 ^a	1.40 ^a	47.2 ^a	25.2 ^a
30-45	7.8 ^a	1.43 ^a	46.0 ^a	26.8 ^a
>45	Duripán (tepetate)			
Perfil del suelo, Pabellón				
0-15	10.5 ^a	1.32 ^b	50.2 ^a	14.9 ^b
15-30	11.6 ^a	1.42 ^a	46.4 ^b	23.4 ^a
30-45	11.9 ^a	1.45 ^a	45.3 ^b	27.2 ^a
>45	Duripán (tepetate)			

Θ_g= humedad gravimétrica; ρ_b= densidad aparente, f_t= porosidad total; L_a= lámina de agua.

Con relación a la porosidad total del suelo, se observó que, al igual que la densidad aparente, ésta se reduce conforme la profundidad se incrementa en ambos sitios experimentales (Blevins y Frye, 1993). Las diferencias en los valores de porosidad total pueden explicarse por el efecto de compactación en el proceso de sedimentación de los materiales, que se refleja en suelos con antecedentes de laboreo excesivo, en los que se ha deteriorado su estructura y que usualmente se traduce en problemas de compactación, problemas que se acentúan en suelos inestables y meteorizados como los que predominan en la zona semiáridas de temporal en Aguascalientes.

Con relación a la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, ésta varió entre 14.6 a 26.8 mm en Sandoval, y 14.9 a 27.2 mm en Pabellón. Estos valores indican baja retención y disponibilidad de agua del suelo, derivado de las bajas tasas de infiltración que presentan este tipo de suelos.

Los datos derivados del análisis de suelos manifiestan la necesidad de mejorar la utilización de los recursos lluvia, suelo, planta y microambiente en la agricultura de temporal de zonas áridas y semiáridas, a fin de que los sistemas de producción sean sostenibles en el mediano y largo plazo (Osuna *et al.*, 2000).

Rendimiento y sus componentes

Del análisis de varianza de las variables rendimiento de grano, vainas planta⁻¹, granos vaina⁻¹ y peso de 100 semillas resultó que hubo diferencias significativas por efecto del cierre de surco e incremento de la densidad de planta. En 2010 el rendimiento fue estadísticamente superior en el tratamiento de seis hileras, superando a los tratamientos de tres e hilera sencilla. En el segundo año, los tratamientos de tres y seis hileras superaron al tratamiento de hilera sencilla. Los rendimientos más altos se obtuvieron con seis hileras en 2010 y con tres y seis hilera en 2011, lo que comprueba que con una menor distancia entre surcos e incremento de la densidad de planta se logra cubrir el suelo y capturar más energía desde etapas tempranas del cultivo, lo cual se refleja en un incremento de rendimiento (Alves *et al.*, 2008; Soltero *et al.*, 2010) (Cuadro 3).

Yield and its components

Analysis of variance of the variables grain yield, pods plant⁻¹, grains pod⁻¹ and 100 seed weight evidenced statistical significant difference derived of the effect of wide row decreasing and also due to the plant density increasing. In 2010 the yield was statistically higher in the treatment of six-row, beating the three treatments and single row. In the second year, treatments three and six rows exceeded the processing of single sowing line. The highest yields were obtained with six rows in 2010 and with three and six row in 2011, proving that with a smaller row spacing and increased plant density is achieved by covering the soil and capture more energy from early stages of crop, which is reflected in increased yield (Alves *et al.*, 2008; Single *et al.*, 2010) (Table 3).

The average yield in 2010 was 595.3 kg ha⁻¹ and in 2011 increased to 1762.3 kg ha⁻¹ due to differences in the amount and distribution of rainfall that occurred from one year to another, but even in the year driest (2011), the yield of the three treatments and six lines by row, exceeded to single line by row. The increased density of plants in the range of 90 000 to 260 000 plants ha⁻¹ significantly affects some components of yield. It was observed a greater reduction in the number of pods per plant (NPP) and number of grains per pod (NGP) in the treatments of three and six lines by row in contrast to the treatment of single line (Figure 1a).

However, grain yield was not influenced by plant density. In the two years of evaluation it was found a significant linear relationship between plant density and NPP and also NGP (Figure 1b). These relationships were similar to those reported by Alves *et al.* (2008), who suggest that the increased yield observed at high plant densities is due to greater leaf area development, conservation of moisture and increased number of plants harvested per square meter, which affects an increase in grain yield.

The derivative function of the relationship between yield and population density was positive and logarithmic type, because the Pinto Saltillo bean variety increased the yield by changing from 90 000 to 260 000 plants ha⁻¹. In this case, the difference in yield of the bean variety was increased as plant density was higher, i.e., increased grain yield in different sizes, from a lesser to a greater density

Cuadro 3. Componentes del rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de frijol variedad Pinto Saltillo en tres métodos de siembra y diferente densidad de población. Aguascalientes, México. 2010-2011.

Table 3. Components of grain yield (kg ha⁻¹) of bean Pinto Saltillo variety in three different sowing methods and different population density. Aguascalientes, Mexico. 2010-2011.

Método de siembra	Vainas planta ⁻¹	Granos vaina ⁻¹	Peso de 100 semillas	Rend. de grano (kg ha ⁻¹)
2010				
Hilera sencilla	13a	4a	25.6b	383.1c
Tres hilera	11b	4a	30.6a	557.8b
Seis hileras	7c	3b	27.2b	845.0a
DMS 0.05	1.7220	0.7675	3.1544	118.2
CV %	18.21	20.41	11.81	21.35
2011				
Hilera sencilla	23.8a	4.4a	29.2a	1531.0b
Tres hilera	23.2a	4.1a	29.4a	1903.0a
Seis hileras	12.7b	3.3b	29.2a	1853.0a
DMS 0.05	2.8439	0.5963	NS	223.205
CV %	15.57	16.52	7.19	13.80

El rendimiento promedio en 2010 fue de 595.3 kg ha⁻¹ y en 2011 aumentó a 1762.3 kg ha⁻¹ debido a las diferencias en la cantidad y distribución de las lluvias que se presentaron entre un año y otro; sin embargo, aún en el año más seco (2011), el rendimiento de los tratamientos de triple y seis hileras superaron a hilera sencilla. El incremento de la densidad de plantas en el intervalo de 90 mil a 260 mil plantas ha⁻¹ afectó significativamente algunos componentes del rendimiento. Se observó mayor reducción del número de vainas por planta (nvp) y número de granos por vaina (ngv) en los tratamientos de tres y seis hileras, respecto al tratamiento de hilera sencilla (Figura 1a).

Sin embargo, el rendimiento de grano no fue influenciado por la densidad de plantas. En los dos años de evaluación se encontró una relación lineal significativa entre la densidad de planta y nvp y ngv (Figura 1b). Estas relaciones fueron similares a lo reportado por Alves *et al.* (2008), quienes sugieren que el acrecentado rendimiento que se observó en altas densidades de plantas se debe al mayor desarrollo del área foliar, conservación de humedad y mayor número de plantas cosechadas por metro cuadrado, lo cual repercute en un incremento del rendimiento de grano.

La función derivada de la relación entre el rendimiento y la densidad de población fue positiva y de tipo logarítmica, debido a que la variedad de frijol Pinto Saltillo incrementó el rendimiento al cambiar de 90 mil a 260 mil plantas ha⁻¹. En este caso, la diferencia en rendimiento de la variedad de frijol se incrementó conforme se modificó la densidad

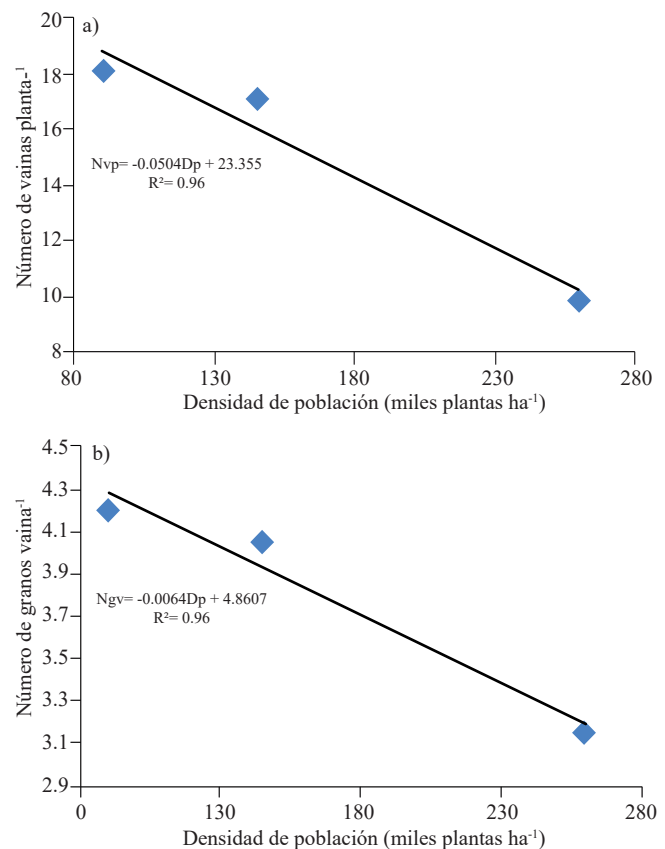


Figura 1. Relación de la densidad de población: a) con número de vainas; y b) con número de granos por vaina. Promedio de dos años, 2010-2011.

Figure 1. Relationship of population density: a) with number of pods, and b) with number of grains per pod. Average of two years, 2010-2011.

de plantas; es decir, se incrementó el rendimiento de grano en diferente magnitud, al pasar de una densidad menor a otra mayor.

Con el surcado angosto o tres hilera en cama a 1.52 m se incrementó el rendimiento promedio en más de 0.25 t ha⁻¹ al pasar de 90 mil a 145 mil plantas ha⁻¹ y se incrementó hasta 0.39 t ha⁻¹ esa diferencia con 260 mil plantas ha⁻¹, mientras que con el surcado a 0.76 m, los incrementos fueron mínimos al mantener una densidad de 90 mil plantas ha⁻¹. El mayor rendimiento de grano se obtuvo cuando se sembró a seis hileras en surcos a 0.20 m con una densidad de al menos 260 mil plantas ha⁻¹ (Figura 2).

Conclusiones

Los resultados indican que el efecto positivo de siembra a tres y seis hileras en surcos estrechos en camas a 1.52 m sobre el rendimiento de grano, se debió a los mayores índices de cobertura y área foliar, lo que favoreció que en los tratamientos con altas densidades de planta se conservara mejor la humedad del suelo, un menor crecimiento de malezas y se interceptara mayor energía solar. El rápido sombreado del suelo por el follaje evita que se pierda menos agua por evaporación directa, asegurando una mayor eficiencia en el uso de la misma, en comparación con poblaciones con baja densidad de plantas; aunado a la cosecha de agua *in situ* e incorporación de residuos.

La producción de frijol de temporal bajo un sistema conservacionista de productividad sustentable, que integra prácticas de: labranza de conservación, captación de agua de lluvia *in situ*, surcos estrechos, altas densidades de planta y variedad mejorada puede mejorar las ganancias de los productores y reducir la erosión de los suelos en las zonas frijoleras del Altiplano Semiárido del Centro-Norte de México.

Literatura citada

- Acosta, G. J. A.; Padilla-Ramírez, J. S.; Castellanos-Ramos, J. Z. y Argaéz-Pérez, J. 1996. Época de siembra del frijol de riego en el Altiplano de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 19:131-140.
- Alves, A. F.; Andrade, M. J. B.; Vieira, N. M. B. and Rezende, P. M. 2008. Grain yield of four new cultivars base don plant density. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative. 51:242-243.

With the narrow ridged or three row by bed to 1.52 m, it was increased the average yield more than 0.25 t ha⁻¹ when going from 90 000 to 145 000 plants ha⁻¹ and increased to 0.39 t ha⁻¹ that difference with 260 000 plants ha⁻¹, while the rows at 0.76 m, the increases were minimal maintaining a density of 90 000 plants ha⁻¹. The highest grain yield was obtained when six lines were planted in 0.20 m rows with a density of at least 260 000 plants ha⁻¹ (Figure 2).

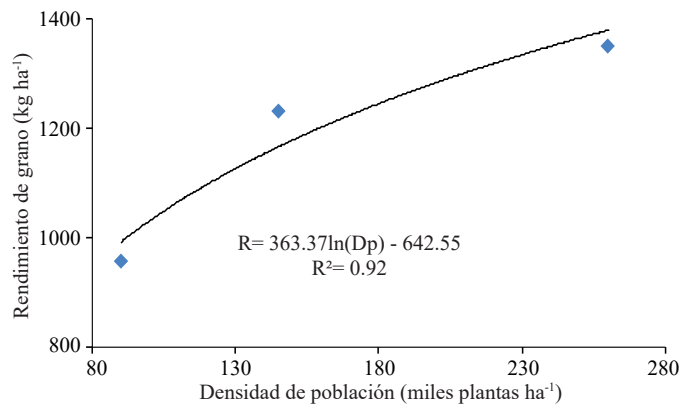


Figura 2. Rendimiento de grano de frijol en función de la densidad de planta bajo condiciones de temporal. Promedio de dos años, 2010-2011.

Figure 2. Bean grain yield in function of plant density under rainfed conditions. Average of two years, 2010-2011.

Conclusions

The results indicate that the positive effect of planting three and six sowing lines in narrow rows in beds 1.52 m of grain yield was due to higher coverage rates and leaf area, which favored than in treatments with high densities plant was retained better soil moisture, reduced weed growth and intercepted more solar power. The rapid soil shaded by foliage prevents less water is lost by direct evaporation, ensuring greater efficiency in the use thereof as compared to populations of plants with low density, coupled with the *in situ* water harvesting and incorporation of residues.

Bean production under a rainfed conservation system of sustainable productivity, integrating practices such as: conservation tillage, *in situ* rain water harvesting, narrow rows, high plant densities and improved variety, can improve the producers' profits and reduce soil erosion in the semiarid Plateau areas of the Central-North of Mexico dedicated for beans production.

End of the English version



- Anaya, G. M. 1991. Aprovechamiento de la lluvia en zonas agrícolas de temporal deficiente. *In: Memoria de Taller sobre captación del agua con fines agropecuarios en zonas de escasa precipitación.* Salinas, G.; Homero, S.; Flores, A. y Martínez, D. M. A. (Eds). SARH-INIFAP-CIRNOC-CAELALA-CAEZAC. 11-46 p.
- Bennie, A. and Hensley, M. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *J. Hidrol.* 241:124-139.
- Blevins, R. L. y Frye, W. W. 1993. Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. Agron.* 51:33-74.
- Figuroa, S. B. 1991. Manejo de aguas de escorrentía para la producción de cultivos 24-43. *In: Memoria del Taller de Conservación de Suelo y Agua.* Figuroa, S. B. y Osuna, C. E. S. (Eds). SARH-INIFAP-CIFAP-CEPAB. 41 p.
- González, S. E.; Braud, I.; Thony, J. L.; Vauclin, M.; Bessmoulin, P. y Calvet, J. C. A. 2003. Evidencia experimental de la reducción de la evaporación del suelo por la presencia de un lecho natural de residuos vegetales. *Ingeniería Hidráulica en México.* Vol. XVIII (4):34-42.
- Håkansson, I. and Lipiec, J. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil Till. Res.* 53:71-85.
- Jury, W. A.; Gardner, W. R. y Gardner, W. H. 1991. *Soil Physics.* John Wiley and Sons. New York. 328 p.
- Luna-Flores, M. y Gaytán-Bautista, R. 2001. Rendimiento de maíz de temporal con tecnología tradicional y recomendada. *Agric. Téc. Méx.* 27(2):163-169.
- Navarro-Bravo, A.; Figuroa-Sandoval, B.; Martínez-Menes, M. R.; González-Cossío, F. V. y Osuna-Ceja, E. S. 2008. Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Agric. Téc. Méx.* 34(2):151-158.
- Ortíz, L. H. 1996. Métodos y equipos de labranza en microcuencas para la captación de agua de lluvia. *Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México.* 76 p.
- Osuna, C. E. S.; Padilla R. J. S y Esquivel V. F. 2000. Desarrollo de sistemas de producción sostenible para uso y conservación de suelo y agua en las zonas áridas y semiáridas del Norte-Centro de México. *Cuaderno de trabajo. Área de Recursos Naturales. SIHGO-CONACyT. Querétaro, Querétaro.* 45 p.
- Osuna, C. E. S.; Padilla, R. J. S.; Martínez, G. M. A.; Martínez, M. E. y Acosta, G. J. A. 2007. Componentes tecnológicos y fórmulas integrales para el cultivo de frijol de temporal en el Altiplano de México. *Folleto científico Núm. 1. INIFAP-SAGARPA.* 23 p.
- Osuna, C. E. S.; Acosta, G. J. A.; Reyes M. L.; Martínez G. M. A.; Padilla, R. J. S.; Ventura R. E.; González G. E.; Cortés Ch. M. A.; Garibaldi M. F. y Hernández R. I. 2011. Tecnología para incrementar la producción de frijol de temporal en el Altiplano Semiárido de México. *Folleto para productores Núm. 44. CEPAB-INIFAP.* 32 p.
- Padilla-Ramírez, J. S.; Ochoa-Márquez, R.; Acosta-Díaz, E.; Acosta-Gallegos, J. A.; Mayek-Pérez; N. and Kelly, J. D. 2003. Grain yield of early and late dry bean genotypes under rainfed conditions in Aguascalientes, México. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative.* 46: 89-90.
- Padilla, R. J. S.; Acosta, G. J. A.; Martínez, M. E.; Osuna, C. E. S. y Martínez, G. M. A. 2006. Respuesta del frijol a la sequía. *Memoria de curso: adecuación y transferencia de componentes y fórmulas integrales para la producción de frijol de temporal en la región de San Luís Potosí. SAGARPA-CONACyT-COFUPRO-INIFAP. CIRNO-CESL. Abril, 2006.* 25-31p.
- Ramírez, B. C. E.; Figuroa, S. B.; Ordaz, Ch. V. M. y Volke, H. V. H. 2006. Efecto del sistema de labranza cero en un vertisol. *Terra Lat.* 24(1):109-118.
- Reta, S. D. G.; Cueto, W. J. A.; Gaytán, M. A. y Santamaría, C. J. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agr. Téc. Méx.* 33(2):145-151.
- Rubio, G. E. 2004. El sistema de contreo. *SAGAR-Subsecretaría de Desarrollo Rural-Dirección General de Desarrollo Rural. 8. Fichas Técnicas, Colegio de Postgraduados.* 1-8 pp.
- Soltero, D. L.; Garay-López, C. y Ruíz-Corral, J. A. 2010. Respuesta en rendimiento de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidades de plantas. *Rev. Mex. Cienc. Agr.* 1(2):149-158.
- Ventura, E. Jr.; Domínguez, L. M. A.; Norton, D.; Ward, K.; López-Bautista, M. and Tapia-Naranjo, A. 2003. A new reservoir tillage system for crop production in semiarid areas. *ASAE Paper No. 032315. St. Joseph, Michigan, USA.* 135-142 pp.