

RENDIMIENTO DE FRIJOL FERTILIZADO CON ESTIÉRCOL BOVINO EN CONDICIONES DE SECANO

GRAIN YIELD OF DRY BEAN FERTILIZED WITH CATTLE MANURE UNDER RAINFALL CONDITIONS

Sergio Arellano-Arciniega¹, Esteban S. Osuna-Ceja^{1*}, Miguel A. Martínez-Gamiño² y Luis Reyes-Muro¹

¹Campo Experimental Pabellón, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km. 32.5 carr. Aguascalientes-Zacatecas, Apartado Postal 20. 20671, Pabellón de Arteaga, Ags. Tel. 01 55 38718700. ²Campo Experimental San Luis, INIFAP. Domicilio conocido, Ejido Palma de la Cruz, C. Soledad de Graciano Sánchez. 78431, San Luis Potosí, SLP. Tel. 01 800 0882222.

*Autor para correspondencia: (osuna.salvador@inifap.gob.mx)

RESUMEN

En la región semiárida del Centro-Norte de México, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo importante en siembras de secano (temporal). En el año 2013 se evaluó el efecto de la aplicación de estiércol bovino en el rendimiento de grano de dos variedades de frijol: Flor de Junio Dalia (sembrada el 21 de junio) y Pinto Coloso (el 5 de agosto) en camas a triple hilera con captación *in situ* de agua de lluvia en condiciones de temporal. Para la captación de agua se utilizó el sistema de "corrugación con aqueel" y "pileteo". Las dosis de estiércol y de fertilización química fueron: 0, 10 y 20 t ha⁻¹ y 80-40-30 kg ha⁻¹ de N, P y K, aplicadas anualmente durante tres años consecutivos. Los tratamientos superiores en rendimiento de ambas variedades fueron con 10 y 20 t ha⁻¹ de estiércol (2.3 y 2.1 t ha⁻¹ para Flor de Junio Dalia, y 1.4 y 1.1 t ha⁻¹ para Pinto Coloso, respectivamente). Las dosis con estiércol incrementaron el contenido de materia orgánica en los primeros 10 cm de profundidad del suelo y la dosis con 20 t ha⁻¹ mostró el mayor contenido de NO₃ en el suelo (14.85 mg kg⁻¹; capa de 0-10 cm).

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, captación de lluvia *in situ*, materia orgánica, nitratos.

SUMMARY

At the semi-arid region of the Centre-North of México, dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is an important crop cultivated under rainfed conditions. Two varieties Flor de Junio Dalia and Pinto Coloso were evaluated in 2013 regarding the effect of the application of cattle manure on the grain yield of the two dry bean varieties: Flor de Junio Dalia (planted on June 21) and Pinto Coloso (on August 5), in triple row beds with *in situ* rainwater catchment under rainfed conditions. The system was used for the water catchment from "corrugation with Aqueel" and "tidge". Manure doses and chemical fertilizer were 0, 10 and 20 t ha⁻¹ and 80-40-30 kg ha⁻¹ N, P y K, applied annually for three consecutive years. Treatments showing higher grain yield were 10 and 20 t ha⁻¹ of manure (2.3 and 2.1 t ha⁻¹) with Flor de Junio Dalia and Pinto Coloso (1.4 and 1.1 t ha⁻¹, respectively). Manure increased organic matter (OM) content in the first 10 cm of soil depth, and with 20 t ha⁻¹ the soil showed the highest content of NO₃ (14.85 mg kg⁻¹; 0-10 cm layer).

Index words: *Phaseolus vulgaris*, *in situ*, catchment, organic matter, nitrates.

INTRODUCCIÓN

En las áreas donde se cultiva frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de secano (temporal) en el altiplano semiárido templado de México, donde se ubica El Llano, Aguascalientes, en más de 80 % de la superficie sembrada el temporal es deficiente, con periodos frecuentes de sequía intermitente o terminal (Acosta *et al.*, 2003), y los suelos son someros, con bajo contenido de materia orgánica (MO) y baja capacidad de retención de humedad (Osuna-Ceja *et al.*, 2012).

En este contexto es necesario determinar la capacidad de producción de grano y de adaptación a las condiciones ambientales de la región, de las nuevas variedades mejoradas de frijol; así como identificar las prácticas agronómicas que permitan el máximo aprovechamiento del agua de lluvia y el mejoramiento de la calidad física, química y biológica del suelo (Osuna-Ceja *et al.*, 2006).

Uno de los principales indicadores de la productividad de un agro-ecosistema o cultivo es el rendimiento total de grano por hectárea. Sin embargo, para evaluar los cambios edáficos que determinan el rendimiento de grano a causa de diferencias en el manejo agronómico, se requiere el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Hillel, 1998; Osuna-Ceja *et al.*, 2006). Por ejemplo, el análisis de las propiedades físicas permite conocer los cambios que experimenta la estructura del suelo (arreglo geométrico y topológico de los poros del suelo que se forman entre los agregados, y su estabilidad en tiempo y espacio) que se asocian a varios procesos físicos, como infiltración, retención de humedad, estabilidad a la erosión, penetración de raíces, aireación y resistencia mecánica, por lo que el deterioro de su integridad contribuye a la degradación del suelo, con la consecuente disminución de la producción de grano y estabilidad ecológica (Braudeau *et*

al., 1999; Dexter, 2004).

La adición de cantidades óptimas de MO al suelo incrementa su capacidad para retener humedad debido a una relación positiva entre el contenido de materia orgánica y el agua disponible (Julca-Otiniano *et al.*, 2006). Al respecto, la aplicación de estiércol, libera suficientes nutrientes para mantener un cultivo, aumenta la MO en el suelo, favorece algunas de sus características físicas, como la estabilidad de los agregados, la densidad aparente y la porosidad que mejoran el flujo de aire, agua y el desarrollo radical de las plantas (Pérez *et al.*, 2000; Acevedo *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2004).

Una técnica para capturar y almacenar humedad en el suelo es la captación de lluvia *in situ*, mediante labores culturales y de labranza; entre éstas, destacan las prácticas conocidas como "pileteo" y "corrugación con el aqueel" (Ventura *et al.*, 2003; Osuna-Ceja *et al.*, 2007; Padilla *et al.*, 2008).

El sistema de siembra en cama a triple hilera es una innovación para la siembra de frijol, que consiste en incrementar la densidad de plantas/ha con hileras más cercanas (40 cm). De esta manera el follaje del frijol cubre el suelo más rápidamente, lo cual permite conservar la humedad en el sustrato, se aprovecha mejor la energía solar, se reduce el desarrollo de las malezas y se incrementa el rendimiento y rentabilidad del cultivo (Osuna-Ceja *et al.*, 2012).

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la aplicación de estiércol bovino al suelo, en el rendimiento de grano de dos variedades de frijol (Flor de Junio Dalia y Pinto Coloso) de ciclo intermedio y precoz, respectivamente, y en las características de fertilidad del suelo, en un sistema de siembra en cama a triple hilera con captación *"in situ"* de agua de lluvia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el verano del año 2013 se establecieron dos experimentos en condiciones de temporal, en Sandoval, Ags., México, ubicado a una altitud de 2040 m, donde se registraron 532 mm de precipitación en el ciclo de cultivo; la temperatura media fue de 16.3 °C, con una duración del ciclo de cultivo de 120 d (mediados de junio a mediados de octubre).

En el año 2011, antes de la aplicación de estiércol, el suelo tenía 0.45 m de profundidad, con menos de 1 % de materia orgánica, textura arcillo-arenosa, 2 % de pendiente y pH de 6.8. En el año 2013 el terreno se laboreó con labranza vertical (uso del multirado) y se rastreó antes de la siembra. En el año 2011 se sembró maíz (*Zea mays* L.) y en 2012 avena (*Avena sativa* L.); ambos establecidos de forma tradicional

(hilera sencilla con distancia entre surco a 76 cm en maíz y siembra al "voleo" en avena, con captación de agua, aplicación de estiércol y fertilización química).

Se utilizó un sistema de siembra en camas de 1.60 m a tres hileras, separadas a 40 cm, con captación *"in situ"* de la lluvia mediante "pileteo" (práctica que se realizó a los costados de la cama de siembra, que consiste en levantar un bordo de tierra de 20 cm de alto a distancias regulares para captar y almacenar agua, y disminuir la erosión del suelo) y "aqueel" (un rodillo formado con ruedas dentadas individuales que imprime huellas en el suelo sin causar compactación durante el proceso; el rodillo se pasó sobre la cama al momento de la siembra para hacer micro-reservorios sobre la superficie del terreno que permitieron la captación de agua de lluvia *in situ*).

Un experimento se estableció con la variedad Flor de Junio Dalia, que es de hábito de crecimiento indeterminado con guías de tamaño medio, abundante área foliar por planta y ciclo de cultivo intermedio (Acosta *et al.*, 2014), la cual se sembró en fecha temprana (21 de junio). En el otro experimento se sembró la variedad Pinto Coloso, de hábito de crecimiento indeterminado con guías cortas, reducida área foliar por planta y ciclo de cultivo precoz (Rosales *et al.*, 2010), en fecha de siembra tardía (5 de agosto).

En cada experimento se evaluó la respuesta del rendimiento a la aplicación de tres dosis de estiércol bovino (0,10 y 20 t ha⁻¹) aplicado durante tres años consecutivos y comparados con la aplicación de fertilizante químico (80N-40P-30K, testigo) y un testigo absoluto sin fertilizante ni estiércol. La aplicación de estiércol se realizó un mes antes de la siembra y la fertilización química fue a la siembra. Se depositó una semilla cada 14 cm (siete semillas por metro lineal, 35 por hilera) en 5 m de largo y 105 por cama de tres hileras, equivalente a una densidad de 140,000 plantas/ha. Se aplicó una escarda; las plagas del follaje que se presentaron fueron: chicharrita [*Empoasca kraemeri* (Ross & Moore)] y mosca blanca [*Bemisia tabaci* (Genn)], para su control se aplicó 750 mL ha⁻¹ de Diemetoato 40 (Dimetil-S-[N-metilcarbamoil-metil] fosforoditioato).

Las características del estiércol aplicado fueron: pH 7.5; CE 0.60 dS m⁻¹; MO 5.39 %; N total 1.26 %, amonio 0.1130 %, P 0.3533 %, calcio 3.30 %, magnesio 0.69 %, K 3.36 %, sodio 0.95 mg kg⁻¹, molibdeno 555 mg kg⁻¹, hierro 12 250 mg kg⁻¹, zinc 195 mg kg⁻¹, cobre 45 mg kg⁻¹ y boro 412 mg kg⁻¹. El estiércol tenía 3 % de humedad al momento de aplicarlo.

Además del rendimiento y número de plantas cosechadas, en el suelo de cada tratamiento se determinaron la materia orgánica (MO), nitratos (NO₃) y conductividad eléctrica

(CE) en muestras de suelo de cada tratamiento, a 10 y 20 cm de profundidad, después de tres años de aplicación anual de estiércol y fertilizante químico.

En ambos experimentos se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones (Martínez, 1996). La parcela experimental constó de 5 m de largo y 1.60 m de ancho y la útil 3 m de largo con tres hileras de plantas. La comparación de medias fue mediante la diferencia mínima significativa (DMS).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el año 2013 durante el ciclo de cultivo llovió 532 mm, poco más de lo normal para la región (250 mm); en un evento llovió 52.6 mm en 10 d, en otro 75.6 mm en 7 d, y en un tercero 171 mm en 5 d (Figura 1). Estas lluvias permitieron mantener 40 % de humedad aprovechable, durante los primeros 95 d de desarrollo del cultivo en los tratamientos de ambos experimentos. El sistema de siembra en camas a triple hilera en las dos fechas de siembra no presentó limitaciones de humedad, ya que las plantas no mostraron síntomas de estrés hídrico en ninguna de sus etapas de desarrollo, en parte debido a la reserva de humedad en el suelo por el agua adicional retenida por efecto de las prácticas de captación *in situ* (“aqueel” y “pileteo”). Fue notorio observar que el agua de lluvia quedó uniformemente distribuida sobre el terreno, al evitar la concentración en las par-

tes bajas y el escurrimiento hacia fuera del terreno, similar a lo documentado por Ventura *et al.* (2003) en la región semiárida de Querétaro.

Materia orgánica en el suelo

La concentración de MO en el suelo antes de la siembra (junio 2013) en el estrato de 0 a 10 cm de profundidad fue 1.19 % en el testigo y se incrementó en 0.86 unidades con la dosis mayor de estiércol (Cuadro 1), lo anterior debido a la aplicación anual de estiércol y a la incorporación al suelo de los residuos de cosecha (parte del tallo que queda a una altura de 10 cm de la superficie del suelo, después del corte), raíces, micro y macro organismos que quedaron después de la cosecha del maíz y avena de los años 2011 y 2012, respectivamente.

La concentración de MO en los tratamientos testigo y con fertilizante químico fue de 1.2 y 1.0 %, respectivamente, los cuales son valores comunes en suelos de zonas áridas (Castellanos *et al.*, 1996; Fitzpatrick, 1996; Salazar *et al.*, 2003). Salazar-Sosa *et al.* (2007) reportaron promedios de MO por arriba de 5 %, en suelos similares a los del presente estudio, en la región de La Laguna, México, con tratamientos de estiércol más altos a los del presente trabajo y aplicados durante seis años.

El incremento de MO observados en los tratamientos de 10

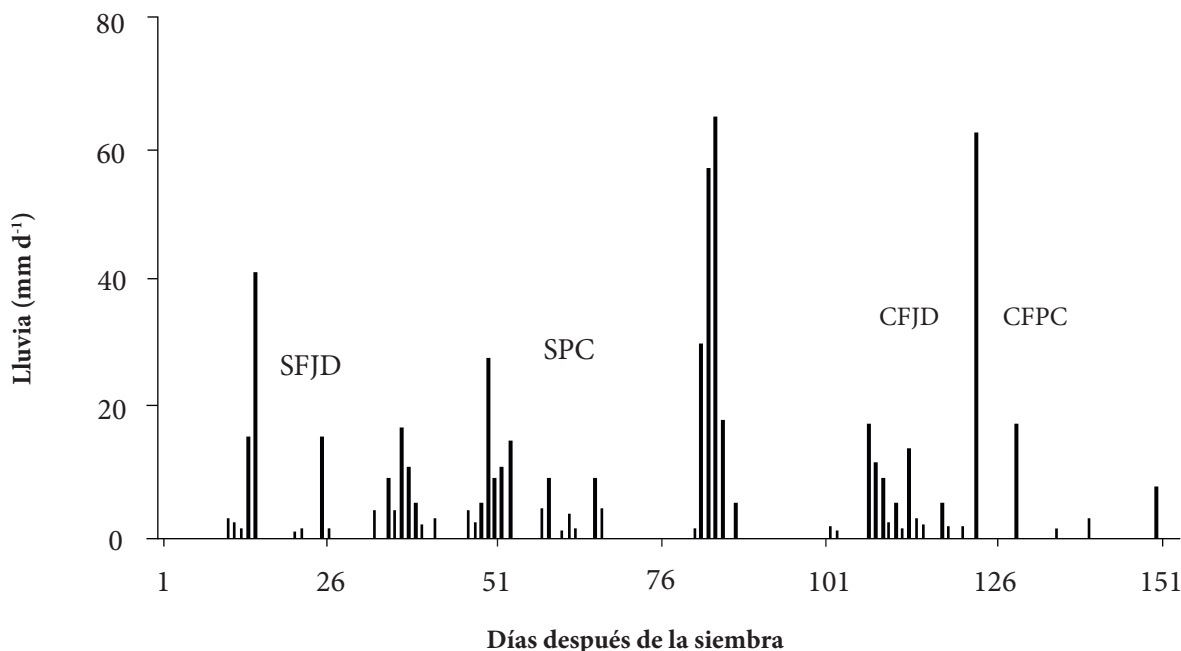


Figura 1. Precipitación durante el ciclo de cultivo de dos variedades de frijol; SFJD: Siembra de Flor de Junio Dalia, SPC: Siembra de Pinto Coloso; CFJD: Cosecha de flor de junio Dalia; CPFC: Cosecha de frijol Pinto Centenario. Sandoval, Aguascalientes, 2013.

Cuadro 1. Materia orgánica (MO), nitratos (NO₃⁻) y conductividad eléctrica (CE) a 10 y 20 cm de profundidad después de tres años de aplicación de estiércol, en muestras de suelo antes de la siembra del 21 de junio de 2013.

| Dosis de estiércol (t ha ⁻¹) | Profundidad (cm) | | | | | |
|--|------------------|---|--------------------------|--------|---|--------------------------|
| | 0-10 | | | 10-20 | | |
| | MO (%) | NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹) | CE (dS m ⁻¹) | MO (%) | NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹) | CE (dS m ⁻¹) |
| 0 | 1.19 b | 5.20 c | 0.29 | 0.82 b | 3.60 c | 0.39 |
| 10 | 1.85 a | 7.93 b | 0.49 | 1.30 a | 7.43 b | 0.47 |
| 20 | 2.05 a | 14.85 a | 0.53 | 1.39 a | 11.85 a | 0.50 |
| FQ | 1.02 b | 7.22 b | 0.30 | 0.88 b | 7.04 b | 0.38 |
| DMS _{0.05} | 0.4569 | 1.75 | ns | 0.5235 | 2.88 | ns |
| CV (%) | 13 | 19 | 14 | 14 | 21 | 12 |

FQ = fertilización química, CV = coeficiente de variación; DMS = diferencia mínima significativa; ns: no significativo.

y 20 t ha⁻¹ a la profundidad de 0 a 20 cm es resultado de la aplicación del estiércol (Cuadro 1). La MO mejora la capacidad de amortiguamiento del suelo, enriquece la capacidad de intercambio catiónico, mejora la estructura, evita la erosión y permite el desarrollo de la micro y macro-fauna benéfica del suelo (Aslantas *et al.*, 2007).

El efecto favorable de la incorporación de estiércol para incrementar la MO del suelo también fue documentado por Salazar-Sosa *et al.*, (2010). Además, Fitzpatrick (1996) señala que la mayoría de los suelos contienen 1.6 % de MO, pero en suelos áridos el porcentaje puede ser menor de 1.0 %.

Concentración de nitratos en el suelo

Al inicio del ciclo de cultivo se observaron diferencias estadísticas (P ≤ 0.05) en la concentración de nitratos en el suelo entre las dosis de estiércol (Cuadro 1). En el estrato 0 a 20 cm de profundidad, el testigo presentó valores de NO₃ promedio de 4.4 mg kg⁻¹, 7.83 mg kg⁻¹ con 10 t ha⁻¹ y 13.35 mg kg⁻¹ con 20 t ha⁻¹ de estiércol, lo que demuestra los beneficios del estiércol al favorecer una mayor mineralización, a medida que se incrementó la dosis de estiércol. Resultados similares reportaron Salazar-Sosa *et al.* (2007) quienes observaron un efecto significativo al aplicar más de 40 t ha⁻¹ de estiércol, al incrementar todos los macronutrientes necesarios para el desarrollo y producción de la planta. La mayor concentración de NO₃ se encontró en los primeros 10 cm.

Conductividad eléctrica

La aplicación de estiércol no incrementó la CE del suelo, (P ≤ 0.05) aunque en promedio las concentraciones de sales numéricamente más altas se encontraron en los tratamientos de 10 y 20 t ha⁻¹. Además, la CE fue similar en las dos profundidades del suelo.

Rendimiento de grano

La aplicación de estiércol incrementó (P ≤ 0.05) el rendimiento de grano de ambas variedades. La variedad Flor de Junio Dalia, de ciclo intermedio, produjo 2.31 y 2.12 t ha⁻¹, en las dosis de 10 y 20 t ha⁻¹ de estiércol respectivamente; en cambio, el testigo, sin estiércol ni fertilización química solamente produjo 1.33 t ha⁻¹ (Cuadro 2). En la variedad Pinto Coloso que es precoz, el testigo obtuvo el menor rendimiento (0.71 t ha⁻¹) y la dosis de estiércol que mostró mayor rendimiento fue 10 t ha⁻¹, con 1.35 t ha⁻¹ (Cuadro 2).

Los rendimientos de las dos variedades, en promedio de los tratamientos, son superiores a la media regional (0.35 t ha⁻¹) y a los reportados por Osuna-Ceja *et al.* (2012), quienes obtuvieron 0.93 t ha⁻¹ en la misma región de estudio.

El mayor rendimiento de los tratamientos en los que se aplicó estiércol, se atribuye a su efecto residual benéfico ya que durante tres años anteriores se adicionó al suelo en las mismas cantidades en las mismas parcelas experimentales. Por otra parte, el rendimiento del tratamiento de fertilizante químico fue menor al que se obtuvo con la dosis más baja de estiércol; esta respuesta es comparable a la reportada por Aguilar-Benítez *et al.* (2012).

Número de plantas cosechadas, número de vainas por planta y peso de cien semillas

El número promedio de plantas cosechadas por hectárea fue similar en ambos experimentos: 132,200 para Flor de Junio Dalia y 131,059 para Pinto Coloso (Cuadro 3). En ambos experimentos, las dosis de estiércol mostraron diferencias significativas (P ≤ 0.05) para la densidad de plantas, número de vainas por planta y el peso de cien semillas, con las mismas tendencias que se presentaron para el rendimiento (Cuadro 2). Las diferencias en el número de

Cuadro 2. Rendimiento promedio de dos variedades de frijol en siembras en cama a triple hilera con captación de agua y con aplicación de estiércol bovino t ha⁻¹ durante tres años.

| Estiércol bovino (t ha ⁻¹) | Variedad (t ha ⁻¹) | |
|--|--------------------------------|---------------|
| | Flor de Junio Dalia | Pinto Colosio |
| 0 | 1.33 c | 0.71 b |
| 10 | 2.31 a | 1.35 a |
| 20 | 2.12 a | 1.10 a |
| 80-40-30 (NPK; kg ha ⁻¹) | 1.90 b | 1.06 a |
| Media | 1.92 | 1.06 |
| DMS _{0,05} | 0.21 | 0.34 |
| CV (%) | 6 | 16 |

CV = Coeficiente de variación, DMS_{0,05} = Diferencia mínima significativa (P < 0.05)

Cuadro 3. Número de plantas cosechadas, número de vainas por planta y peso de cien 100 semillas de dos variedades de frijol.

| Estiércol bovino (t ha ⁻¹) | Flor de Junio Dalia | | | Pinto Coloso | | |
|--|---------------------------|------------|--------|---------------------------|------------|------|
| | PC | NV | PCS | PC | NV | PCS |
| | (Miles ha ⁻¹) | (V/planta) | (g) | (Miles ha ⁻¹) | (V/planta) | (g) |
| 0 | 124,250 b | 22.7 c | 33.7 c | 122,590 b | 16.7 | 22.0 |
| 10 | 138,676 a | 33.3 a | 36 a | 134,342 a | 19.5 | 23.8 |
| 20 | 132,953 a | 31.7 a | 35.7ab | 134,435a | 18.7 | 24.0 |
| 80-40-30 (NPK; kg ha ⁻¹) | 132,922 a | 29.2 b | 35 b | 132,867 a | 19.2 | 24.8 |
| Media | 132,200 | 29.0 | 35 | 131,059 | 19.0 | 23.0 |
| DMS _{0,05} | 7753 | 1.8 | 0.73 | 2289 | ns | ns |
| CV (%) | 3 | 3.1 | 1 | 2 | 9 | 11 |

PC = plantas cosechadas, NV = número de vainas por planta, PCS = peso de 100 semillas

plantas cosechadas dependen de varios factores, como la radiación solar, los nutrientes, el vigor de la propia planta y la exposición al viento (Acosta-Gallegos *et al.*, 1996). En este sentido, la variación en la aportación de nutrientes por la aplicación de estiércol fue suficiente para que se reflejara en la densidad de plantas. La menor densidad de población la presentó el testigo sin estiércol, mientras que la mayor densidad de población ocurrió en las dosis de 10 y 20 Mg ha⁻¹ de estiércol y fertilización química, en ambas fechas de siembra.

El número de vainas por planta y el peso de cien semillas presentaron la misma tendencia que el número de plantas cosechadas: los valores más altos ocurrieron en los tratamientos de estiércol de 10 y 20 Mg ha⁻¹ y con fertilizante químico, y el valor menor en el testigo absoluto. En el presente estudio el número de vainas por planta y el peso de 100 semillas fueron indicadores para establecer diferencias entre tratamientos de abonos orgánicos. En relación con lo anterior, se ha demostrado que el rendimiento de frijol independientemente de la fecha de siembra depende en gran

medida del balance nutrimental, principalmente de N y P (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

Después de tres años de aplicación continua de 10 y 20 t ha⁻¹ de estiércol, se modificó de manera positiva el contenido de materia orgánica y el de nitratos del suelo. La aplicación de estiércol incrementó el rendimiento de grano de las variedades Flor de Junio Dalia (de ciclo intermedio) y Pinto Coloso (de ciclo precoz). La adición de estiércol, junto con la captación “*in situ*” del agua de lluvia, proporcionó nutrientes y ocasionó efectos positivos en el rendimiento y en sus componentes en el frijol.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Sandoval O., A. Velázquez-Rodríguez y D. Flores-Román (2001) Agregación por especies vegetales y abonos orgánicos en tepetates fracturados en condiciones de invernadero. *Terra Latinoamericana* 19:363-373.
- Acosta D. E., M. D. Amador R. y J. A. Acosta G. (2003) Abscisión de estructuras reproductoras en frijol común bajo condiciones de

- secano. *Revista Agricultura Técnica en México* 29:155-168.
- Acosta-Gallegos J. A., V. Montero-Tavera, Y. Jiménez-Hernández, J. L. Anaya-López y M. M. González-Chavira (2014) 'Dalia', nueva variedad de frijol de grano tipo Flor de Junio para la región centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:331-336.
- Acosta G. J. A., J. S. Padilla R., J. Z. Castellanos R. y J. Argaez P. (1996) Época de siembra del frijol de riego en el Altiplano de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 19:131-140.
- Aguilar-Benítez G., C. B. Peña-Valdivia, J. R. García-Nava, P. Ramírez-Vallejo, S. G. Benedicto-Valdés y J. D. Molina-Galán (2012) Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Agrociencia* 46: 37-52.
- Aslantas R., R. Cakmakci and F. Sahin (2007) Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Scientia Horticulturae* 111: 371-377.
- Braudeau E., J. M. Costantini, G. Bellier and H. Colleuille (1999) New device and method for soil shrinkage curve measurement and characterization. *Soil Science Society of America Journal* 63:525-535.
- Castellanos R. J. Z., J. J. Márquez O., J. D. Etchevers B., A. Aguilar S. y J. R. Salinas (1996) Efecto de largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del Norte de México. *Terra* 14: 150-158.
- Dexter A. R. (2004) Soil physical quality: Part I. Theory, effect of soil texture, density and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma* 120: 201-214.
- Fitzpatrick E. A. (1996) Introducción a la Ciencia de los Suelos. Ed. Trillas, México. D.F. 435 p.
- Flores S. D., M. A. Pérez O. y H. Navarro G. (2004) Rehabilitación agroecológica de suelos volcánicos endurecidos, experiencias en el Valle de México. *LEISA Revista de Agroecología* 19:24-27.
- Hillel D. (1998) Environmental Soil Physics. Academic Press, Inc., San Diego, CA. 771 p.
- Julca-Otiniano A., L. Meneses-Florián, R. Blas-Sevillano y S. Bello-Amez (2006) La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia* 24:49-61.
- Magallanes-Quintanar R., R. D. Valdez-Cepeda, E. Olivares-Sáenz, O. Pérez-Veyna, J. L. García-Hernández y J. D. López-Martínez (2006) Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition* 29: 2019-2033.
- Martínez G. A. (1996) Diseños Experimentales: Métodos y Elementos de Teoría. Ed. Trillas. México, D.F. 340 p.
- Osuna-Ceja E. S., B. Figueroa-Sandoval, K. Oleschko, Ma. de L. Flores-Delgadillo, M. R. Martínez-Menes y F. V. González-Cossío (2006) Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza. *Agrociencia* 40:27-38.
- Osuna-Ceja E. S., J. S. Padilla-Ramírez, M. A. Martínez-Gamiño, E. Martínez-Meza y J. A. Acosta-Gallegos (2007) Componentes tecnológicos y fórmulas integrales para el cultivo de frijol de temporal en el altiplano de México. Campo Experimental San Luis. CIRNE-INIFAP. San Luis Potosí, México. Folleto Científico Núm. 1. 23 p.
- Osuna-Ceja E. S., L. Reyes-Muro, J. S. Padilla-Ramírez y M. A. Martínez-Gamiño (2012) Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:389-1400.
- Padilla R. J. S., E. S. Osuna C., E. Martínez M., M. A. Martínez G. y J. A. Acosta G. (2008) Captación *in situ* de lluvia y métodos de labranza en el rendimiento de frijol de temporal. In: Tecnología Para la Producción de Frijol en el Centro de México. Martínez G. M. A., E. S. Osuna C., J. S. Padilla R., J. A. Acosta G. y C. Loredó O. (eds.). INIFAP, México. pp: 50-65.
- Pérez O. M. A., J. D. Etchevers B., H. Navarro G. y R. Núñez E. (2000) Aporte de los residuos del cultivo anterior al reservorio de nitrógeno en tepetates. *Agrociencia* 34:115-125.
- Rosales S. R., J. A. Acosta G., F. J. Ibarra P. y E. I. Cuéllar R. (2010) Pinto Coloso, nueva variedad de frijol para el estado de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:739-744.
- Salazar-Sosa E., H. I. Trejo-Escareño, J. D. López-Martínez, C. Vázquez-Vázquez, J. S. Serrato-Corona, I. Orona-Castillo, J. P. y Flores-Márquez (2010) Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. *Terra Latinoamericana*. 28:381-390.
- Salazar-Sosa E., H. I. Trejo-Escareño, C. Vázquez-Vázquez y J. D. López-Martínez (2007) Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol de bovino. *PHYTON Revista Internacional Botánica Experimental* 76:169-185.
- Salazar S. E., C. Vázquez V., H. I. Trejo E. y O. Rivera O. (2003) Aplicación, manejo y descomposición de estiércol de ganado bovino. In: Agricultura Orgánica. Salazar S. E., M. Fortis H., A. Vázquez A. y C. Vázquez V. (eds.). UJED, SMCS, A.C. y CO-CYTED, México. pp: 18-36.
- Ventura E. Jr., M. A. Dominguez, L. D., Norton, K. Ward, M. López-Bautista and A. Tapia-Naranjo (2003) "A New Reservoir Tillage System for Crop Production in Semiarid Areas". ASAE Paper No. 032315. St Joseph, Michigan .