

Efecto de biofertilizantes y agricultura de conservación en la producción de trigo en un *Vertisol*

Effect of biofertilizers and conservation agriculture in wheat production on *Vertisol* soil

Aurelio Báez-Pérez^{1‡} , Agustín Limón-Ortega² , Cesar Eduardo Ramírez-Barrientos³ , Irma Agustina Ortega-Villalobos³  y Edgar Adrián Olivares-Arreola⁴ 

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5. 38110 Celaya, Guanajuato, México.

[‡] Autor para correspondencia / Corresponding author (baez.aurelio@inifap.gob.mx)

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Valle de México. Carretera los Reyes-Textcoco km 13.5. Coatlinchan. 56250 Textcoco, Estado de México, México.

³ Instituto Tecnológico del Valle de Morelia. Carretera Morelia-Salamanca km 6.5. 58100 Morelia, Michoacán, México.

⁴ Tecnológico Nacional de México. Carretera Celaya-Juventino Rosas km 8, Roque. 38110 Celaya, Guanajuato, México.

RESUMEN

Se realizaron dos ensayos para estudiar el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos en la producción de trigo de invierno y la rotación de cultivos y dosis crecientes de fertilización, ambos aunados a la implementación de prácticas de agricultura de conservación. En el primero se establecieron los siguientes tratamientos: (1) Inoculación del trigo con los hongos micorrízicos: *Glomus mosseae*, sin fertilización; (2) aplicación de 200 unidades de N ha⁻¹, sin inoculación; (3) inoculación + 100 unidades de N ha⁻¹; (4) aplicación de 100 unidades de N ha⁻¹, sin inoculación; (5) inoculación + 150 unidades de N ha⁻¹; (6) aplicación de 150 unidades de N, sin inoculación. En el segundo se evaluó la respuesta, en la producción de trigo, a dos rotaciones precedentes de cultivo: maíz-trigo (G-G) y frijol-trigo (L-G), y cuatro dosis crecientes de fertilización nitrogenada: 0, 100, 150 y 200 unidades ha⁻¹. La producción de trigo, con la inoculación de *G. mosseae* + 75% de fertilización nitrogenada recomendada, tuvo el mayor rendimiento de grano (5.6 Mg ha⁻¹), y fue 36 % mayor, respecto al testigo con aplicación de sólo 100% de la fertilización, sin inoculante. La inoculación de trigo, sin aplicación de fertilizante nitrogenado tuvo la producción más baja

SUMMARY

This study performed two assays to analyze the effect of inoculating mycorrhizal fungi on wheat production during winter both by rotating crop and increasing fertilizer doses to implement agricultural conservation practices. The following treatments were established for the first assay: (1) wheat inoculation with mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* without fertilizer; (2) application of 200 units of N ha⁻¹ without inoculation; (3) inoculation + 100 units of N ha⁻¹; (4) application of 100 units of N ha⁻¹ without inoculation; (5) inoculation + 150 units of N ha⁻¹; (6) application of 150 units of N without inoculation. The second assay assessed the response of wheat production to the two preceding crop rotations: maize-wheat (G-G) and bean-wheat (L-G) and four increasing nitrogen fertilization doses: 0, 100, 150, and 200 units ha⁻¹. With the inoculation of *G. mosseae* + 75% of nitrogen fertilization, wheat production had the greatest grain yield (5.6 Mg ha⁻¹) and was 36% greater than the control group with the application of only 100% fertilizer without inoculant. Wheat inoculation without nitrogen fertilizer had the lowest production (2.6 Mg ha⁻¹). On the other hand, wheat production with L-G rotation had a better response ($R^2 = 0.72$) at

Cita recomendada / Recommended citation:

Báez-Pérez, A., A. Limón-Ortega, C. E. Ramírez-Barrientos, I. A. Ortega-Villalobos y E. A. Olivares Arreola. 2020. Efecto de biofertilizantes y agricultura de conservación en la producción de trigo en un *Vertisol*. Terra Latinoamericana Número Especial 38-3: 569-581.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.649>

Recibido / Received: octubre / October 07, 2019.

Aceptado / Accepted: enero / January 06, 2020.

Publicado en / Published in Terra Latinoamericana 38: 569-581.

(2.6 Mg ha⁻¹). Por otra parte, la producción de trigo con la rotación L-G tuvo una menor respuesta ($R^2 = 0.72$) a las dosis crecientes de N, y fue donde se obtuvo el mayor rendimiento de grano, con 4.7 Mg ha⁻¹, con sólo 150 unidades de N ha⁻¹, que correspondió a 1 Mg ha⁻¹ más, comparado con la máxima producción de trigo que se obtuvo en la rotación G-G, con 200 unidades de N ha⁻¹. El uso de biofertilizantes inoculados, como los hongos micorrízicos, o por efecto de la rotación de cultivos con leguminosas, como frijol, requiere de dosis completarias de N para potenciar la producción de trigo; sin embargo, es factible disminuir en 25% la dosis de fertilización nitrogenada.

Palabras clave: fijación biológica del nitrógeno, hongos micorrízico arbusculares, producción de cultivos, *Triticum aestivum*.

INTRODUCCIÓN

El deterioro de los suelos es un problema crítico y creciente, causado por el cambio de uso, mal manejo y explotación irracional de los recursos naturales. Se estima que, en el país más del 70% de sus suelos presentan degradación física, química o biológica (Moncada *et al.*, 2013; Bolaños-González *et al.*, 2016). En el Bajío, una región importante en la producción de cereales y hortalizas, las prácticas intensivas de labranza, el uso irracional de los insumos agrícolas, el retiro de los residuos de cosecha y la falta de adición de abonos orgánicos ha derivado en el deterioro creciente de sus suelos, que representa más de 65% de su superficie (SEMARNAT, 2003). Los principales problemas de degradación de este recurso natural están relacionados con erosión, salinización y disminución de reservas orgánicas, aunado a la compactación ocasionada por las excesivas labores de labranza con la maquinaria agrícola. Lo anterior implica necesariamente problemas de degradación física. Los sistemas de producción agrícolas influyen de manera importante en el entorno, actividad y biodiversidad de los organismos del suelo. La perturbación y empleo de insumos agrícolas reduce drásticamente la cantidad y número de especies de organismos que ahí habitan. Un ecosistema terrestre, después del cambio de usos de suelo, experimenta una drástica disminución en el número de especies vegetales, con diferentes sistemas de raíces, cantidad y calidad de sus residuos. Lo anterior

increasing N doses where the greatest grain yield was obtained with 4.7 Mg ha⁻¹ and only 150 units of N ha⁻¹, which corresponded to 1 Mg ha⁻¹ more compared with the maximum wheat production obtained in the G-G rotation with 2000 units of N ha⁻¹. The use of inoculated biofertilizers, such as mycorrhizal fungi or by the effect of crop rotation with legumes, such as bean, requires supplementary N dosage to boost wheat production; however, it is feasible to decrease nitrogen fertilizer dosage to 25%.

Index words: biological nitrogen fixation, arbuscular mycorrhizal fungi, cultivation production, *Triticum aestivum*.

INTRODUCTION

Soil deterioration is a critical and growing problem caused by change of land use, bad management, and irrational exploitation of natural resources. More than 70% of soil in the country is estimated to show physical, chemical or biological degradation (Moncada *et al.*, 2013; Bolaños-González *et al.*, 2016). In El Bajío – an important region in the production of cereal and vegetables – intensive farming practices, irrational use of agricultural components, harvest waste withdrawal, and lack of organic manure addition has derived in growing soil deterioration, representing more than 65% of its surface (SEMARNAT, 2003). The main degradation problems of this natural resource are related with erosion, salinization, and decrease of organic reserves, jointly with compaction caused by excessive farming practices with agricultural machinery. The previous information necessarily implies physical degradation problems. Agricultural production systems influence significantly on the environment, activity and biodiversity of soil organisms. Disturbance and use of agricultural ingredients reduce drastically the number of the organism species that inhabit there. A terrestrial ecosystem, after change in soil use, experiments a drastic decrease in the number of plant species with different root systems, quantity and quality of its waste, deriving in a decrease in soil organic matter content, which at the same time limits habitat variety and food supply for soil organisms.

Based on the previous information, the need emerges to create technologies that induce increasing organic soil reserves, conserving its humidity,

deriva en una disminución en el contenido de materia orgánica del suelo, que a la vez limita la variedad de hábitats y suministro de alimentos para los organismos del suelo.

Con base en lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de crear tecnologías que induzcan a aumentar las reservas orgánicas del suelo, conservar la humedad en el mismo, aumentar la eficiencia en el uso de fertilizantes químicos y disminuir la contaminación del suelo y agua. El uso de los biofertilizantes ha sido poco estudiado como una opción para mejorar las condiciones edáficas y mejorar la producción de trigo en el Bajío (Grageda-Cabrera *et al.*, 2018). Los microorganismos poseen una gran diversidad de mecanismos, a través de relaciones simbióticas en la rizosfera, que promueven el crecimiento de las plantas, entre los más importantes: incrementar el aprovechamiento de nutrientes y agua, que es función de los hongos micorrízicos arbusculares; incorporar nitrógeno al sistema planta-suelo mediante la fijación biológica, por bacterias del género *Rhizobium* (Bloemberg y Lugtenberg, 2001). Sin embargo, es importante considerar cómo interacciona el cultivo con los diversos factores edáficos, climáticos y de manejo agronómico. Para propiciar condiciones favorables para el desarrollo de los microorganismos del suelo, que asegure un suministro continuo de materia orgánica, las prácticas de agricultura de conservación, que se fundamentan en mínimas labores de labranza, uso de los residuos de cosecha en la superficie del suelo y rotación de cultivos (Verhulst *et al.*, 2015), ofrecen una alternativa viable para propiciar una mayor conservación de la humedad en el suelo, aumentar la actividad biológica de los microorganismos y el acopio de reservas orgánicas, en especial de C, elemento importante en el mejoramiento de las propiedades físicas (Mora *et al.*, 1999), químicas y biológicas de los suelos (Lal, 2004). Lo anterior favorece condiciones adecuadas para las relaciones simbióticas entre las raíces de las plantas y los organismos benéficos como: las micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno.

El propósito del presente trabajo fue evaluar, por una parte, el efecto de la inoculación de micorrizas en la producción de trigo bajo el sistema de labranza de conservación, y por otra, el efecto de la rotación de cultivos (leguminosa-gramínea) en el rendimiento de grano de este mismo cereal.

increasing efficiency in the use of chemical fertilizers, and decreasing soil and water contamination. The use of biofertilizers has been studied little as an option to improve soil condition and wheat production in El Bajío (Grageda-Cabrera *et al.*, 2018). Microorganisms have a great diversity of mechanisms through symbiotic relationships in the rhizosphere that promote plant growth, among which the most important are increasing the use of nutrients and water, which is a function of arbuscular mycorrhizal fungi and incorporating nitrogen to the plant-soil system by bacterial biological fixation of the genus *Rhizobium* (Bloemberg and Lugtenberg, 2001). Nevertheless, it is important to consider how cultivation interacts with the different soil, climate, and agricultural management factors. To promote favorable conditions for the development of soil microorganisms that assure a continuous supply of organic matter, conservation agriculture is based on minimum farming practices, use of harvest waste on soil surface, and crop rotation (Verhulst *et al.*, 2015). These practices offer a viable alternative to favor greater soil humidity conservation, increase biological activity of the microorganisms, and store organic reserves, specially C, an important element in improving physical (Mora *et al.*, 1999), chemical, and biological soil properties (Lal, 2004), favoring adequate conditions for symbiotic relationships between plant roots and beneficial organisms, such as, nitrogen-fixing mycorrhiza and bacteria.

Therefore, the aim of this study was to assess, on the one hand, the effect of mycorrhizal inoculation in wheat production under a conservation agriculture system, and on the other hand, the effect of crop rotation (gramineae-legume) in grain yield of this same cereal.

MATERIALS AND METHODS

Study Site

The assay was performed in El Bajío Experimental Field, Celaya, Guanajuato, México, located at 20° 34' 44.9" N and 100° 49' 09.5" W, at an altitude of 1754 m. The climate of the region according to García (1987) is BS1hw(W)(e) q, that is, temperate with rain in summer, scarce winter precipitation, and cool winter. The average annual temperature is 20.6 °C, and annual average precipitation is 597 mm.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio

El ensayo se llevó a cabo en el Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato, México. Ubicado a los 20° 34' 44.9" N y 100° 49' 09.5" O, a una altitud de 1754 m. El clima de la región según García (1987) es BS1hw(W)(e) q, es decir, semicálido con lluvias en verano y escasa precipitación invernal, con invierno fresco. La temperatura media anual es de 20.6 °C y la precipitación media anual es de 597 mm.

Muestreo de Suelos

Se recolectó una muestra de suelo compuesta por 22 submuestras de 0-5, 5-15 y 15-30 cm de profundidad al final de cada ciclo de cultivo. Las muestras se secaron a la sombra y a temperatura ambiente. Se tamizaron en malla de 2 mm y se hicieron determinaciones químicas como pH en agua relación 1:2, conductividad eléctrica, contenido de nitrógeno Kjeldahl, P extractable Olsen, materia orgánica, contenido de K, bases de intercambio y elementos menores. Los métodos de laboratorio empleados en dichos análisis fueron los descritos por Jackson (1976).

Implementación de las Prácticas de Agricultura de Conservación

La parcela tuvo una superficie de 1 hectárea. Durante primavera-verano de 2010 se preparó el suelo con prácticas de labranza convencionales (barbecho, rastra, nivelación y surcado) y se sembró maíz variedad "Jabalí" de Asgrow, para propiciar condiciones homogéneas de fertilidad en el suelo y generar los residuos de cosecha necesarios para implementar las prácticas de agricultura de conservación; la producción de maíz fluctuó entre 12 y 14 Mg ha⁻¹ y se adicionaron en la superficie del suelo 13 Mg ha⁻¹ de residuos de cosecha, en forma de matillo. Durante el ciclo de cultivo otoño-invierno 2010-2011 se implementó este sistema de cultivo y se sembró trigo, variedad Cortazar S94 (Solís-Moya *et al.*, 1996), en surcos de 0.8 m a doble hilera; la producción de grano alcanzó 7 Mg ha⁻¹, y se distribuyeron en la superficie del suelo alrededor de 6 Mg ha⁻¹ de residuos de trigo en forma de mantillo. Posteriormente en primavera-verano 2011 la parcela se dividió por mitad: una para establecer maíz,

Soil Sampling

Sampling was collected from soil composed of 22 subsamples of 0-5, 5-15, and 15-30 cm in depth at the end of each cultivation cycle. The samples were dried on the shade and at room temperature. They were sieved in 2-mm mesh, and chemical determinations were made, such as water pH ratio 1:2, electrical conductivity, nitrogen content by Kjeldahl method, extractable P by Olsen, organic matter, K content, exchange bases and minor elements. The laboratory methods used in such analyses were those described by Jackson (1976).

Implementing Conservation Agricultural Practices

The plot had a surface of 1 hectare. During spring-summer 2010, soil was prepared with conventional farming practices (ploughing, raking, leveling, and furrowing), and maize variety "Jabalí" (Asgrow, Bayer AG, Leverkusen, DE) was sown to favor homogeneous condition of soil fertility and generate the necessary harvest waste to implement agricultural conservation practices; maize production fluctuated from 12-14 Mg ha⁻¹, adding 13 Mg ha⁻¹ of harvest waste used as mulch to soil surface. This cultivation system was implemented during the 2010-2011 autumn-winter cultivation cycle, sowing wheat variety Cortazar S94 (Solís-Moya *et al.*, 1996), in 0.8 m double-row furrows; grain production reached 7 Mg ha⁻¹, and approximately 6 Mg ha⁻¹ of wheat waste used as mulch were distributed on soil surface. Subsequently, during the 2011 spring-summer cycle, the plot was divided by half: one to establish maize, variety "Jabalí" (Asgrow, Bayer AG, Leverkusen, DE), and the other one to establish bean, variety "Flor de Junio Marcela" (Castellanos-Ramos *et al.*, 2003) to continue with the conservation agriculture system; maize produced 12 Mg ha⁻¹ and bean 3 Mg ha⁻¹, adding 11 and 2 Mg ha⁻¹ of harvest waste on soil surface, respectively.

Experiment Description

This study assessed cultivation rotation after implementing agricultural conservation practices during the 2011-2012 autumn-winter cycle. Wheat variety Cortazar S94 (Solís-Moya *et al.*, 1996) was sown again in double-furrow on the harvest waste of previous cycles. Two experiments were assessed by randomized block design with four replicates. The first

variedad “Jabalí” de Asgrow, y la otra para establecer frijol, variedad flor de junio Marcela (Castellanos-Ramos *et al.*, 2003), continuando con el sistema de conservación; el maíz produjo 12 Mg ha⁻¹ y el frijol 3 Mg ha⁻¹, se adicionaron en la superficie del suelo 11 y 2 Mg ha⁻¹ de residuos de cosecha, respectivamente.

Descripción de los Experimentos

El presente estudio, después implementar las prácticas de agricultura de conservación y evaluar una rotación de cultivos, se efectuó durante el ciclo otoño-invierno 2011-2012. Se sembró nuevamente trigo a doble hilera, variedad Cortazar S94 (Solís-Moya *et al.*, 1996), sobre los residuos de cosecha de los ciclos anteriores. Se evaluaron dos experimentos con un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones, distribuidas aleatoriamente. En el primero se valoró el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos (*Glomus mosseae*) en la producción de trigo, para lo cual se establecieron seis tratamientos que se describen en el Cuadro 1. La inoculación se efectuó tres horas antes de la siembra. Se revolvió directamente en la semilla, con adherente, un inoculó que contenía 100 esporas g⁻¹ de suelo, y se aplicaron 3 kg ha⁻¹, con base en las recomendaciones que reportaron Grageda-Cabrera y González-Figueroa (2015), quienes sugieren aplicar un kg de inóculo por cada 50 kg de semilla. El segundo experimento consistió en evaluar el efecto de dos rotaciones de cultivo: gramínea-gramínea

one assessed the inoculation effect of mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*) in wheat production, for which six treatments were established as described in Table 1. Inocuousness was performed three hours previous to sowing. The seed was mixed directly with adherent, an inoculant that contained 100 spores g⁻¹ of soil, and 3 kg ha⁻¹ were applied based on that reported by Grageda-Cabrera and González-Figueroa (2015), who recommended applying one kg of inoculant for each 50 kg of seeds. The second experiment consisted of assessing the effect of two crop rotations: gramineae-gramineae (wheat-maize G-G) and gramineae-legume (wheat-bean G-L), which correspond to the continuity of this study previously explained in implementing conservation agriculture. In each rotation, four levels of nitrogen fertilization (NF) were studied: 0, 100, 150 and 200 units of N ha⁻¹ (Table 2). The experimental units, in both experiments, corresponded to four furrows 0.76 cm wide by 14 m long, randomly distributed in three blocks.

Statistical Analysis

The mycorrhizal fungus inoculation assay was analyzed by a statistically randomized block design with four replicates. Tukey's ($\alpha = 0.05$) multiple comparison of means was performed. The crop rotation assay was assessed by a randomized block design experiment with 2 × 4 factorial arrangement: two-crop rotation levels of NF. The grain yield of the second assay was also

Cuadro 1. Tratamientos en ensayo de evaluación de micorrización en la producción de trigo.
Table 1. Evaluation assay mycorrhizal treatments in wheat production.

Tratamientos / Treatments	Efecto / Effect	Dosis de fertilización N-P-K / N-P-K fertilization dosage
		kg ha ⁻¹
1	I	0
2	FN / NF (100%)	200-80-50
3	I + FN / I + NF (50%)	100-80-50
4	FN / NF (50%)	100-80-50
5	I + FN / I + NF (75%)	150-80-50
6	FN / NF (75%)	150-80-50

I = inoculación de la micorriza *Glomus mosseae*; FN = fertilización nitrogenada.
I = inoculation of mycorrhizal fungi *Glomus mosseae*; NF = nitrogen fertilization.

(trigo-maíz G-G) y gramínea-leguminosa (trigo-frijol G-L), que corresponde a la continuidad del estudio explicado anteriormente en el punto de implementación de prácticas de agricultura de conservación. En cada rotación se estudiaron cuatro niveles de fertilización nitrogenada: 0, 100, 150 y 200 unidades de N ha⁻¹ (Cuadro 2). Las unidades experimentales, en ambos experimentos correspondieron a 4 surcos de 0.76 cm de ancho por 14 m de longitud, distribuidos de manera aleatoria en tres bloques.

Análisis Estadístico

El ensayo de inoculación de hongos micorrízicos se analizó mediante un diseño estadístico en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se efectuó la prueba de comparación de medias de Tukey $\alpha = 0.05$. El ensayo de rotación de cultivos se evaluó mediante un experimento factorial 2×4 con arreglo en bloques al azar: dos niveles de rotación de cultivos y cuatro niveles de fertilización nitrogenada. El rendimiento de grano del segundo ensayo se analizó también mediante una regresión, para evidenciar las diferencias en pendiente e intercepto, por efecto de las dosis crecientes de fertilización nitrogenada. La fecha de siembra se efectuó el 28 de diciembre de 2011. Se aplicaron cuatro riegos: a los 0, 30, 57 y 88 días después de la siembra. Las fuentes de fertilización de N-P-K fueron

analyzed by regression to make differences evident in slope and intercept by effect of growing N fertilization doses. The date of sowing was 28 December 2011. Irrigation was performed four times: at 0, 30, 57, and 88 days after sowing. The N-P-K fertilization sources were $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ - KCl. N was applied in two fractions, half during sowing and the other half during the second irrigation.

Agronomic Parameters

The agronomic parameter assessment was performed starting from sample collection, one per experimental unit, 1 m in length per furrow width (0.76 m) where the following parameters were measured - number of plants and stems; final height of a 20-stem plant, measured from the base of the stem to the ear; grain weight, adjusted to 12% humidity; aerial biomass; 1000-grain weight, and harvest index.

RESULTS AND DISCUSSION

Meteorological Conditions

During cultivation development, starting the last week of February, temperatures higher than 30 °C at the shade were frequently recorded (Figure 1). March and

Cuadro 2. Ensayo de rotación de cultivos en la producción de trigo.
Table 2. Crop rotation assay of wheat production.

Tratamiento / Treatment	Rotación de cultivos / Cultivation rotation	Dosis de fertilización N-P-K / N-P-K fertilization dosage
		kg ha ⁻¹
1	Maíz-trigo (G-G) / Maize-wheat (G-G)	00-00-00
2	Maíz-trigo (G-G) / Maize-wheat (G-G)	100-80-50
3	Maíz-trigo (G-G) / Maize-wheat (G-G)	150-80-50
4	Maíz-trigo (G-G) / Maize-wheat (G-G)	200-80-50
5	Trigo-frijol (G-L) / Wheat-bean (G-L)	00-00-00
6	Trigo-frijol (G-L) / Wheat-bean (G-L)	100-80-50
7	Trigo-frijol (G-L) / Wheat-bean (G-L)	150-80-50
8	Trigo-frijol (G-L) / Wheat-bean (G-L)	200-80-50

G-G = rotación gramínea-gramínea; G-L = rotación gramínea-leguminosa.
G-G = gramineae-gramineae rotation; G-L = gramineae-legume rotation.

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ - KCl . El N se aplicó dos fracciones, la mitad durante la siembra y la otra mitad durante el primer riego.

Parámetros Agronómicos

La evaluación de los parámetros agronómicos se efectuó a partir de la recolección de muestras, una por unidad experimental, de 1 m de longitud por el ancho de surco (0.76 m), donde se midieron los siguientes parámetros: número de plantas y tallos; altura final de planta de 20 tallos, medidos a partir de la base del tallo hasta la base de la espiga; peso de grano, ajustado al 12% de humedad; biomasa aérea; peso de mil granos e índice de cosecha.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones Meteorológicas

Durante el desarrollo del cultivo, a partir de la última semana de febrero, se presentaron frecuentemente temperaturas superiores a 30 °C a la sombra, (Figura 1). Marzo y abril fueron muy calurosos y las temperaturas máximas alcanzaron 35 °C. Por encima de este nivel de calor, en etapa de floración del trigo, puede haber daño en el cultivo y afectar

April were very warm and the maximum temperatures reached 35 °C. Beyond this level of heat in the wheat flowering stage, it may cause crop damage and affect grain yield. According to Solís-Moya (2007), the incidence of high temperatures in El Bajío accelerated the bulking period in the phenological flowering stage, consequently, limiting grain yield, which is more likely in late sowing. On the other hand, precipitation was scarce during the cultivation period; rain added up scarcely 19 mm. Precipitation of more than 8 mm was recorded at the end of the cultivation stage.

Soil Analysis

The study was performed on vertisol-pelic soil according to the classification of the United States Department of Agriculture (USDA) (Grageda-Cabrera *et al.*, 2004). Its texture type is clay with more than 60% of the fraction $<2 \mu\text{m}$, predominant expandable smectite clay, proper of this type of soils. The pH showed a decrease from slightly alkaline to neutral after the three cultivation cycles previous to this assessment (Table 3). Likewise, an increase was observed in the organic soil reserves in the first 5 cm in depth, specially carbon. The N-NO_3 and N-NH_4 concentration was greater where the legume was cultivated in stratus from 0-5 to 5-15 cm in depth after the third cultivation cycle at the end of the

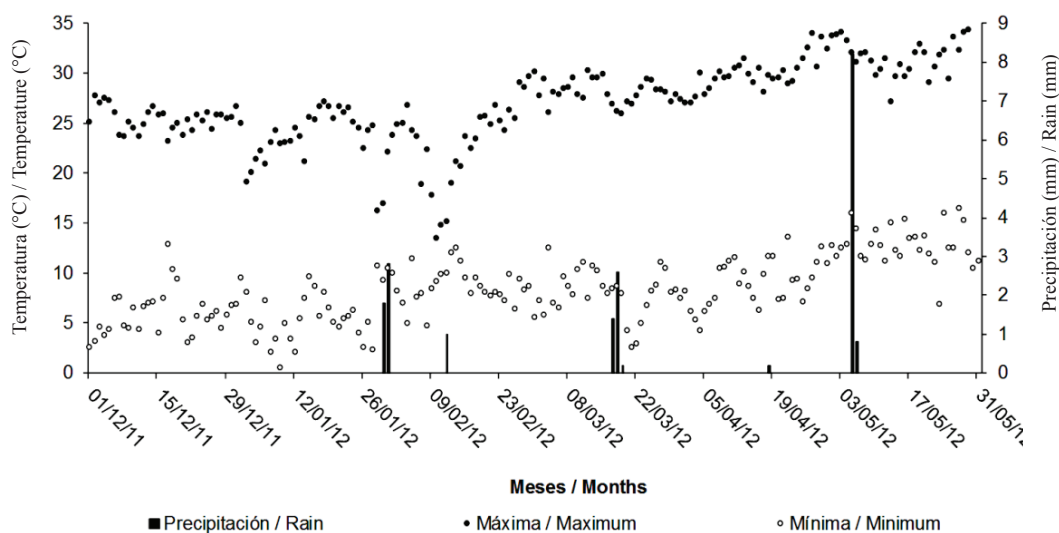


Figura 1. Distribución de las temperaturas máximas, mínimas y precipitación, durante el desarrollo de cultivo de los ensayos de trigo en el Bajío, Celaya, Guanajuato, México. Ciclo otoño-invierno 2011-2012. Figure 1. Distribution of maximum, minimum temperature and precipitation during cultivation development of wheat assays in El Bajío, Celaya, Guanajuato, Mexico. 2011-2012 autumn-winter cultivation cycle.

el rendimiento de grano. De acuerdo con Solís-Moya (2007) la incidencia de altas temperaturas en el Bajío en etapa fenológica de floración acelera el periodo de llenado, y por consecuencia, limita el rendimiento de grano. Lo anterior es más probable en siembras tardías. Por otra parte, la precipitación fue escasa durante el período de cultivo, las lluvias sumaron apenas 19 mm. Se registró una lluvia de más de 8 mm al final de la etapa del cultivo.

Análisis del Suelo

El suelo donde se llevó a cabo el estudio correspondió, de acuerdo con la clasificación de la USDA, a un vertisol pélico (Grageda-Cabrera *et al.*, 2004). Su clase textural es arcillosa, con más de 60% de la fracción <2 µm. Predominan arcillas expandibles del tipo esmectitas, propias de este tipo de suelos. El pH mostró una disminución de ligeramente alcalino a neutro, después de los tres ciclos de cultivo previos a la presente evaluación (Cuadro 3). Así mismo se observó un aumento de en las reservas orgánicas del suelo, en los primeros 5 cm de profundidad, especialmente de carbono. La concentración de N-NO₃ y N-NH₄ después del tercer ciclo de cultivo, al finalizar la prueba de

crop rotations gramineae-gramineae and gramineae-leguminosae; this result could have been attributed to the bacterial activity of the genus *Rhizobium*, which are associated symbiotically and naturally with legumes. The extractable P content was medium.

Arbuscular Mycorrhizal Fungus Inoculation Assay

The wheat yield components that evidenced significant differences ($P < 0.05$) by the effect of the mycorrhizal fungus inoculation in combination with the different N fertilization doses were: plant final height, grain yield, one-thousand grain weight, and aerial biomass. The lowest production level was observed in the treatment where only the mycorrhizal fungus strain was inoculated without applying chemical fertilizers (1) (Table 4). In contrast, the treatment with the application of 200 units of N ha⁻¹ without inoculation, which corresponded to the control group with only chemical fertilization (2), had a greater production of 64% compared to treatment 1. The previous result implied that the biofertilizer on its own did not promote the capacity of the necessary N supply in the radicle system, which the cultivation required for a greater production. Even though some studies in the State

Cuadro 3. Características químicas del suelo después de tres ciclos de cultivo continuo, bajo el sistema de labranza de conservación.
Table 3. Soil chemical characteristics after three continuous cultivation cycles under agricultural conservation practices.

Ciclo / Cycle	Cultivo / Cultivation	Prof. / Depth	pH agua / water	CE	MO	CO	N [†] total	P [‡]	- NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂ 1N pH 7 -				KCl 2N		DTPA [§]			
									K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	NO ₃	NH ₄	Fe	Cu	Mn	Zn
		cm	1:2	dS m ⁻¹	- -	% - -		ppm	- - - -	cmol kg ⁻¹	- - - -	- - - - - -	ppm	- - - - - -				
PV-2010	Maíz / Maize	0-5	7.8	0.34	1.80	0.85	0.12	23	2.0	10.2	7.2	1.0	10	5	15	1.8	68	0.2
PV-2010		5-15	7.5	0.28	1.62	0.85	0.12	23	2.0	10.2	7.2	1.0	10	5	15	1.8	68	0.2
PV-2010		15-30	7.5	0.25	1.47	0.85	0.12	23	2.0	10.2	7.2	1.0	10	5	15	1.8	68	0.2
OI-2011	Trigo / Wheat	0-5	7.4	0.28	2.3	1.6	0.08	14	2.5	31.0	7.8	1.4	27	12	15	1.8	68	0.2
OI-2011		5-15	7.2	0.32	2.0	1.2	0.13	16	2.3	31.9	7.4	1.3	13	11	15	1.8	68	0.2
OI-2011		15-30	7.7	0.29	2.2	1.2	0.09	17	2.3	31.2	6.5	1.5	10	14	15	1.8	68	0.2
PV-2011	Maíz / Maize	0-5	7.1	0.08	2.9	1.82	0.15	23	3.7	24.0	8.0	1.8	22	21	9	0.8	20	1.1
PV-2011		5-15	7.4	0.08	2.2	1.40	0.11	15	2.5	30.0	7.2	1.4	17	19	8	0.8	7	1.1
PV-2011		15-30	7.8	0.09	1.7	1.27	0.10	13	2.6	31.8	6.5	1.6	14	14	11	0.7	5	1.2
PV-2011	Frijol / Bean	0-5	6.9	0.08	3.2	1.75	0.15	24	3.5	26.7	7.2	1.3	42	34	7	1.0	33	1.2
PV-2011		5-15	7.1	0.08	2.5	1.39	0.11	15	2.4	29.3	7.3	1.4	33	31	7	0.8	9	1.1
PV-2011		15-30	7.7	0.09	1.6	1.22	0.08	18	2.6	29.4	6.9	1.6	22	20	8	0.8	5	0.8

PV = ciclo primavera-verano; OI = ciclo otoño-invierno; MO = materia orgánica; CO = carbono orgánico, [†] Método Kjeldahl; [‡] Método Olsen; [§] 0.005M, pH 7.3.
PV = cycle spring-summer; OI = cycle autumn-winter; MO = organic matter; CO = organic carbon. [†] Kjeldahl method; [‡] Olsen method; [§] 0.005M, pH 7.3.

rotación de cultivos gramínea-gramínea y gramínea-leguminosa, fue mayor donde se cultivó la leguminosa, en los estratos de 0-5 y 5-15 cm profundidad, lo cual se atribuye a la actividad de las bacterias del género *Rhizobium*, las cuales se asocian simbióticamente de manera natural con las leguminosas. El contenido de P-extractable fue mediano.

Ensayo de Inoculación de Hongos Micorrízicos Arbusculares

Los componentes de rendimiento de trigo, que evidenciaron diferencias significativas ($P < 0.05$) por efecto por la inoculación de hongos micorrízicos, en combinación con las distintas dosis de fertilización nitrogenada, fueron: altura final de planta, rendimiento de grano, peso de mil granos y biomasa aérea. El nivel más bajo de producción se observó en el tratamiento donde solo se inoculó la cepa del hongo micorrízico sin aplicar fertilizantes químicos (1) (Cuadro 4). En contraste, el tratamiento con aplicación de 200 unidades de N ha⁻¹ sin inoculación, que correspondió al testigo con sólo fertilización química, (2) tuvo una producción 64% mayor, respecto al tratamiento 1. Lo anterior implicó, que el biofertilizante por sí solo, no promueve en el sistema radicular la capacidad de abastecimiento necesario de nitrógeno, que el cultivo requiere para una mayor producción. Si bien, algunos

of Guanajuato have shown that mycorrhizal fungus inoculation in wheat cultivation has increased the use of N by plants (Báez-Pérez *et al.*, 2012; Grageda-Cabrera *et al.*, 2018), it only happens if it is combined with a supplementary chemical fertilizer.

The recommended NF dosage in El Bajío for wheat production, according to Solís-Moya *et al.* (2013) is 220 kg ha⁻¹. The combined application of the biofertilizer with the chemical fertilizer showed a greater response in wheat production, as observed in the following contrast: grain yield in the inoculation treatment with *G. mosseae* combined with the application of 100 kg of N ha⁻¹ (3) had 23% more production compared with the treatment where only this fertilization dosage was applied (4). The inoculation treatment with the mycorrhizal fungi and supplied with 150 units ha⁻¹ of N (5) obtained the highest wheat yield and heaviest grains, double with respect to the treatment with inoculation only (1) and 68% more with respect to the treatment with only the application of this chemical fertilizer (6). Grain production evidently had a nitrogen fertilization dosage response; however, the combination with the arbuscular mycorrhizal fungi made it possible to decrease NF dosage without affecting grain yield, which could constitute production cost savings. These results agree with those reported by Aguilar-Carpio *et al.* (2017) and Grageda-Cabrera *et al.* (2018) in a similar study.

Cuadro 4. Resultados de los componentes de rendimiento para la producción de trigo del ensayo de inoculación de hongos micorrízicos. Table 4. Results of the yield components for wheat production in mycorrhizal fungus inoculation.

Tratamiento y descripción / Treatment and description	Número / Number		IA / SP	Altura / Height	Peso / Weight		Biomasa aérea / Aerial biomass	Peso mil granos / Weight milligrams	IC / HI
	Plantas / Plants	Tallo / Stem			Grano / Grain	Paja / Straw			
	- - - -	m ² - - - -		cm	- - - - -	Mg ha ⁻¹	- - - - -	g	
1.- I	83.6a*	355.0c	4.3b	60.3d	2.64e	6.01e	8.65e	46.69e	0.30a
2.- FN (100%) / NF (100%)	84.8a	449.3ba	5.4a	80.5ba	4.10b	8.78b	12.88b	51.33b	0.32a
3.- I + FN (50%) / I + NF (50%)	82.8a	438.5ba	5.3a	74.1c	3.60c	7.91b	11.51c	54.83c	0.31a
4.- FN (50%) / NF (50%)	85.9a	435.3b	5.1a	79.4ba	2.96e	6.68d	9.64d	55.17c	0.31a
5.- I + FN (75%) / I + NF (75%)	90.3a	485.3a	5.4a	76.0bc	5.58a	11.73a	17.31a	59.69a	0.32a
6.- FN (75%) / NF (75%)	89.3a	474.6ba	5.3a	80.9a	3.79c	8.31cb	12.11c	53.31d	0.31a
Variación (%) / Variation (%)	8.8	8.9.9	9.6.9	5.1	5.7	5.9	5.2	4.8	2.3

I = inoculación; FN = fertilización nitrogenada; IA = índice de amacollamiento; IC = índice de cosecha. * Letras iguales son estadísticamente semejantes ($P < 0.05$).

I = inoculation; NF = nitrogen fertilization; SP = number of stems per plant; HI = harvest index. * Equal letters are statistically similar ($P < 0.05$).

estudios en el estado de Guanajuato, muestran que, la inoculación de hongos micorrízicos en el cultivo de trigo incrementa el aprovechamiento de N por las plantas (Báez-Pérez *et al.*, 2012; Grageda-Cabrera *et al.*, 2018), solamente si se combina con una dosis complementaria de fertilizante químico.

La dosis de fertilización recomendada de nitrógeno en el Bajío para la producción de trigo, de acuerdo con Solís-Moya *et al.* (2013), es de 220 kg ha⁻¹. La aplicación combinada del biofertilizante con el fertilizante químico mostró una mayor respuesta en la producción de trigo, como se observó en el siguiente contraste: el rendimiento de grano en el tratamiento con inoculación de *G. mosseae* combinado con aplicación de 100 kg de N ha⁻¹ (3), tuvo 23% más producción, respecto al tratamiento donde sólo la aplicó esta dosis de fertilizante (4). El tratamiento con inoculación del hongo micorrízico y suministro de 150 unidades ha⁻¹ de nitrógeno (5), fue donde se obtuvo el rendimiento más alto de trigo y los granos más pesados, el doble respecto al tratamiento con sólo inoculación (1) y 68% más, respecto al tratamiento con sólo aplicación de esa dosis de fertilizante químico (6). La producción de grano evidentemente tuvo una respuesta a las dosis de fertilización nitrogenada; sin embargo, la combinación con la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares posibilita disminuir la dosis de fertilización nitrogenada, sin afectar el rendimiento de grano, lo cual puede constituir un ahorro por el costo de producción. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Aguilar-Carpio *et al.* (2017) y Grageda-Cabrera *et al.* (2018) en un estudio de esta naturaleza.

Ensayo de Rotación de Cultivos

Hubo diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) por efecto de la rotación de cultivos y dosis de fertilización nitrogenada en los factores de primer orden, así como en la interacción de ambos factores de estudio. La producción de grano, en el ensayo de rotación de cultivos, tuvo diferente respuesta, en función de las dosis crecientes de fertilización nitrogenada (Cuadro 5). Se observó que la rotación G-G se ajustó a un modelo lineal ($R^2 = 0.90$) (Figura 2), con una producción máxima de 4 Mg ha⁻¹, al aplicar 200 unidades de N ha⁻¹. Mientras tanto, la rotación L-G tuvo un ajuste mediano ($R^2 = 0.72$); sin embargo, la máxima producción fue de 4.7 Mg ha⁻¹, con tan sólo 150 unidades de N ha⁻¹ y fue significativamente mayor

Crop Rotation Assay

Statistically significant differences ($P < 0.05$) were observed by the effect of crop rotation and NF dosage on the factors of prime importance, such as the interaction of both factors of study. Grain production in the rotation assay had different responses in function of the growing NF doses (Table 5). The G-G crop rotation was adjusted to a lineal model ($R^2 = 0.90$) (Figure 2), observing a maximum production of 4 Mg ha⁻¹, when 200 units of N ha⁻¹ were applied, while the L-G crop rotation had a medium adjustment ($R^2 = 0.72$). However, the maximum production was 4.7 Mg ha⁻¹ with only 150 units of N ha⁻¹, and it was significantly greater ($P < 0.05$) than G-G crop rotation (Figure 2). The previous results evidenced that the preceding bean cultivation provided nitrogen waste in the soil through the biological fixation that occurs naturally between bacteria of the genus *Rhizobium* and legumes, which could have been exploited by wheat cultivation. López-Alcocer *et al.* (2017) reported 20 strains of *Rhizobium* in El Bajío soils. The authors mentioned that symbiosis between bacteria of the genus *Rhizobium* and the legume, in this case bean, is considered a high efficiency process in atmospheric N biological fixation, that could provide up to 90% of nitrogen needs in plants. These results suggested that implementing crop rotation with legumes in production systems with agricultural conservation practices was feasible to decrease NF doses in cereal cultivation and reduce production cost. Furthermore, it was evident in the quantity of inorganic N ($N-NO_3 + NH_4$) assessed in soil after concluding the bean crop cycle (Table 3) where the N content was approximately 45% greater than that found in the soil where the G-G crop rotation system was located in the first 30 cm in depth.

Soil coverage with harvest waste –basic component of conservation agriculture practices– favors immobilization by the N applied with the chemical fertilizer (Grahmann *et al.*, 2013), specially during the second fertilization when it stays in direct contact with the organic material because tillage is not performed and N cannot stay underground. Thus, microbial biomass uses part of the N supplied for its metabolism during organic matter decomposition. El N waste left after being biologically fixed by bacteria of the genus *Rhizobium* in the legume rhizosphere is available for the next crop and out of the reach of the microorganisms that act on agricultural harvest found on soil surface.

Cuadro 5. Resultados de los componentes de rendimiento para la producción de trigo del ensayo de rotación de cultivos.
Table 5. Results of the yield components for wheat production in the crop rotation assay.

T	Rotación / Rotation	Unidades N / N units	Número / Number		IA / SP	Altura planta / Plant height	Peso / Weight		Biomasa aérea / Aerial biomass	Mil granos / One thousand grains	IC / HI
			Plantas / Plants	Tallo / Stem			Grano / Grain	Paja / Straw			
		kg ha ⁻¹	- - - m ² - - -			cm	- - - - - Mg ha ⁻¹ - - - - -			g	
1	G-G	0	83.6a*	355e	4.3b	60.31d	2.6f	6.0f	8.6f	46.7d	0.30a
2		100	85.9a	435b	5.1a	79.36c	3.0e	6.7e	9.6e	55.2b	0.31a
3		150	89.3a	475a	5.3a	80.85b	3.8c	8.3c	12.1c	53.3c	0.31a
4		200	84.8a	449c	5.4a	80.51b	4.1b	8.8a	12.9b	51.3bc	0.32a
Variación (%) / Variation (%)			10.1	12.8	12.3	12.9	18.5	16.4	16.8	11.8	4.6
5	L-G	0	77.3a	386d	5.1a	73.31c	3.2d	6.9d	10.1d	58.6a	0.32a
6		100	86.2a	480a	5.6a	83.96a	3.2d	7.0d	10.2d	52.5bc	0.31a
7		150	87.3a	447b	5.1a	83.96a	4.7a	10.2a	14.9a	54.6b	0.31a
8		200	85.8a	471a	5.5a	79.60c	3.8c	8.5b	12.3c	56.6ba	0.31a
Variación (%) / Variation (%)			9.0	10.7	12.5	8.4	17.9	17.8	17.7	5.9	3.5

T = tratamiento; G-G = maíz-trigo; L-G = frijol-trigo. IA = índice de amacollamiento; IC = índice de cosecha; N = nitrógeno. * Letras iguales son estadísticamente semejantes ($P < 0.05$).

T = treatment; G-G = maize-wheat; L-G = bean-wheat. SP = number of stems per plant; HI = harvest index; N = nitrogen. * Equal letters are statistically similar ($P < 0.05$).

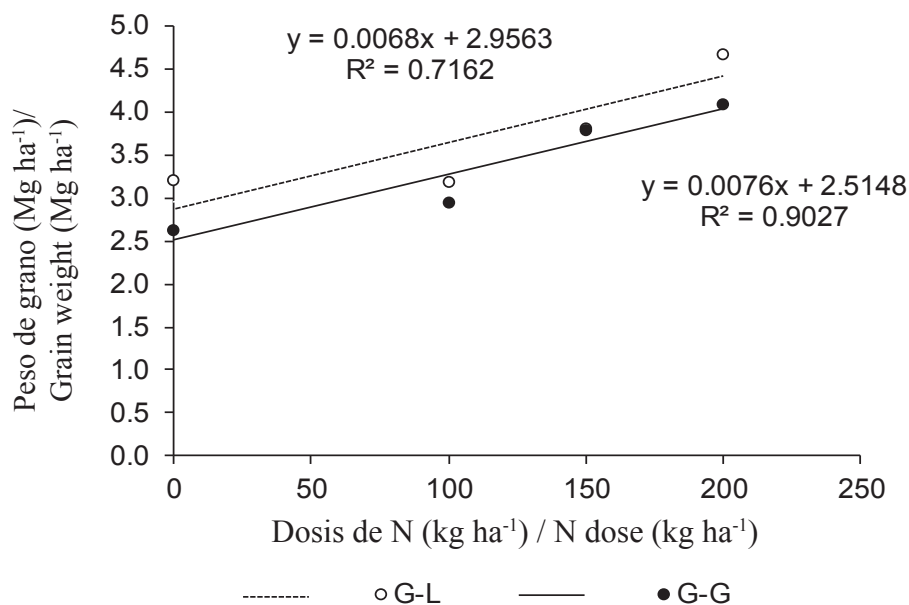


Figura 2. Relación entre rendimiento de grano en trigo y dosis de fertilización en ensayo de rotación de cultivo.

Figure 2. Relationship between wheat grain yield and fertilizer dosage in crop rotation assay.

($P < 0.05$) con respecto a la rotación G-G (Figura 2). Lo anterior evidenció, que el cultivo precedente de frijol proporcionó nitrógeno residual en el suelo, a través de la fijación biológica, que ocurre de manera natural entre las bacterias del género *Rhizobium* y las leguminosas, lo cual pudo ser aprovechado por el cultivo de trigo. Al respecto López-Alcocer *et al.* (2017), reportaron 20 cepas de *Rhizobium* en los suelos del Bajío. Los autores mencionan que la simbiosis entre las bacterias del género *Rhizobium* y la leguminosa, en este caso frijol, es considerada un proceso de alta eficiencia en fijación biológica del nitrógeno atmosférico, que puede proveer hasta 90% de las necesidades de nitrógeno de las plantas. Estos resultados sugieren que, la implementación de prácticas de rotación de cultivos con leguminosas, en sistemas producción con prácticas de agricultura de conservación es factible para disminuir la dosis de fertilización nitrogenada en el cultivo de cereales y abaratar el costo de producción. Lo anterior se evidenció en la cantidad de N inorgánico ($N-NO_3 + NH_4$) evaluado en el suelo, después de concluir con el ciclo de cultivo de frijol (Cuadro 3), previo al presenta en este estudio, se observó que éste fue alrededor de 45% mayor, comparado con el contenido de N encontrado en el suelo donde se ubicó el sistema de cultivo con rotación G-G, en los primeros 30 cm de profundidad.

La cobertura del suelo con residuos de cosecha, componente básico de las prácticas de agricultura de conservación, favorece la inmovilización de parte del nitrógeno que se aplica con el fertilizante químico (Grahmann *et al.*, 2013), especialmente durante la segunda fertilización, cuando éste queda en contacto directo con el material orgánico, porque no se efectúan labores de labranza y no puede quedar enterrado. Por lo tanto, la biomasa microbiana aprovecha parte de ese N suministrado para su metabolismo, durante la descomposición de la materia orgánica. El N residual que queda, después de ser fijado biológicamente por las bacterias del género *Rhizobium* en la rizosfera de las leguminosas, queda disponible para siguiente cultivo, y fuera del alcance de los microorganismos que actúan sobre los esquilmos agrícolas que se encuentran en la superficie del suelo.

CONCLUSIONES

- La inoculación del hongo micorrízico arbuscular *Glomus mosseae* en el cultivo de trigo, combinado con

CONCLUSIONS

- Innocuousness of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* in wheat cultivation combined with 75% of the recommended NF, produced a yield of 36%, greater than the control group with the application of 100% of the fertilization without inoculant. Wheat inoculation without NF was not sufficient for the N supply the crop requires for a profitable production in *Vertisol* soils.

- Wheat production had the greatest response with L-G crop rotation, combined with the application of only 75% of the recommended NF, with a grain yield of 15%, greater than with the G-G crop rotation with 100% fertilization. The availability of inorganic N waste was estimated in the soil stratus of 30 cm in depth by effect of the bean crop rotation approximately 45% greater than the one found with the G-G crop rotation.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) for funding this study through the Project: Mejoramiento de la fertilidad del suelo y aprovechamiento del agua por efecto de prácticas de manejo agronómico; to Diana Fischer for translation-editorial services.

-End of english version-

el 75% de la fertilización nitrogenada recomendada, produjo un rendimiento 36% mayor, respecto al testigo con aplicación del 100% de la fertilización sin inoculante. La inoculación de trigo, sin aplicación de fertilizante nitrogenado no es suficiente para el suministro de N que requiere el cultivo para una producción rentable en suelos *Vertisoles*.

- La producción de trigo tuvo mayor respuesta con la rotación L-G, combinado con la aplicación de sólo 75% de la fertilización nitrogenada recomienda, con un rendimiento de grano 15% mayor respecto con la rotación G-G cuando y 100% de la fertilización. Se estimó una disponibilidad de N inorgánico residual en el estrato de 30 cm de profundidad del suelo, por efecto del cultivo de frijol, alrededor de 45% mayor, respecto al encontrado con la rotación G-G.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el financiamiento otorgado para el presente estudio, a través del proyecto: Mejoramiento de la fertilidad del suelo y aprovechamiento del agua por efecto de prácticas de manejo agronómico; a Diana Fischer, por sus servicios editoriales en inglés.

-Fin de la versión en español-

REFERENCIAS / REFERENCES

- Aguilar-Carpio, C., J. A. Salvador Escalante-Estrada, I. Aguilar-Mariscal y A. Pérez-Ramírez. 2017. Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosist. Recur. Agropec.* 4: 475-483. doi: <http://dx.doi.org/10.19136/era.a4n12.1000>.
- Báez-Pérez, A., F. Bahena-Juárez, J. de J. Velázquez-García, A. Loza Peña y E. Huerta Martínez. 2012. Efecto de las micorrizas en la producción de trigo bajo labranza de conservación en El Bajío. Folleto técnico no. 12. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D. F. ISBN: 978-607-425-882-0.
- Bloembergen, G. V. and B. J. Lugtenberg. 2001. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. *Curr. Opin. Plant Biol.* 4: 343-350. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/s1369-5266\(00\)00183-7](http://dx.doi.org/10.1016/s1369-5266(00)00183-7).
- Bolaños González, M. A., F. Paz-Pellat, C. O. Cruz-Gaistardo, J. A. Argumedo Espinoza, V. M. Romero Benítez y J. C. de la Cruz-Cabrera. 2016. Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 271-288.
- Castellanos-Ramos, J. Z., S. H. Guzmán-Maldonado, J. A. Acosta-Gallegos, and J. D. Kelly. 2003. Registration of 'Flor de Junio Marcela' bean cultivar. *Crop Sci.* 43: 1121-1122. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1121>.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie de libros no. 6. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F.
- Grageda-Cabrera, O. A. y S. S. González-Figueroa. 2015. Micorriza INIFAP^{MR}. Todo lo que usted desea saber. Desplegable para productores no. 21. INIFAP. México, D. F.
- Grageda-Cabrera, O. A., T. Medina-Cázares, J. L. Aguilar-Acuña, M. Hernández-Martínez, E. Solís-Moya, G. A. Aguado-Santacruz y J. J. Peña-Cabriales. 2004. Pérdidas de nitrógeno por emisión de N₂ y N₂O en diferentes sistemas de manejo y con tres fuentes nitrogenadas. *Agrociencia* 38: 625-633.
- Grageda-Cabrera, O. A., S. Santamaría-González-Figueroa, J. A. Vera-Núñez, J. F. Aguirre-Medina y J. J. Peña-Cabriales. 2018. Efecto de los biofertilizantes sobre la asimilación de nitrógeno por el cultivo de trigo. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9: 281-289. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1071>.
- Grahmann, K., N. Verhulst, A. Buerkert, I. Ortiz-Monasterio, and B. Govaerts. 2013. Nitrogen use efficiency and optimization of nitrogen fertilization in conservation agriculture. *CAB Reviews* 8: 1-19. doi: <http://dx.doi.org/10.1079/pavsnr20138053>.
- Jackson, M. L. 1976. Análisis químico de suelos. Omega. Barcelona, España. ISBN10: 8428202613 / ISBN13: 9788428202619.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627. doi: [10.1126/science.1097396](https://doi.org/10.1126/science.1097396).
- López-Alcocer, J. J., R. Lépiz-Ildefonso, D. R. González-Eguarte, R. Rodríguez-Macias, E. López-Alcocer y V. Olalde-Portugal. 2017. Caracterización morfológica y bioquímica de cepas de *Rhizobium* colectadas en frijol común silvestre y domesticado. *Rev. Fitotec. Mex.* 40: 73-81. doi: <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.1.73-81>.
- Moncada-de la Fuente, J., M. Anaya-Garduño, C. A. Ortiz-Solorio, P. Sánchez-García y J. Chacón-Rodríguez. 2013. Suelo protejamos el suelo que nos da vida. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- Mora-Gutiérrez, M., V. M. Ordaz-Chaparro, J. Z. Castellanos, A. Aguilar-Satelises, F. Gavi-Reyes y V. Volke. 1999. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra* 19: 67-74.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2003. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000. Memoria nacional 2001-2002. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- Solís-Moya, E., A. Salazar-Zazueta y J. Narro-Sánchez. 1996. Cortaza S94 nueva variedad de trigo harinero para el Bajío. Folleto técnico no. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México.
- Solís-Moya, E., S. A. Ríos R., H. García N., A. Arévalo V., O. A. Grageda C., M. A. Vuelas C., J. G. Días de León T., J. L. Aguilar A., A. Ramírez R., J. Narro S., R. Bujanos M., A. Marín J. y R. Peña M. 2007. Producción de trigo de riego en el Bajío. Folleto Técnico Núm. 3. INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México.
- Solís-Moya, E., A. Ramírez-Ramírez, L. Ledesma-Ramírez y M. L. de la Cruz-González. 2013. Guía para la producción de trigo. pp: 113-119. *In: A. Mandujano-Bueno, R. Paredes-Melesio, M. P. Alamilla-Gómez y J. F. Buenrostro-Rodríguez (eds.). Guía para la producción de maíz, frijol, trigo y sorgo en Guanajuato. Libro técnico no. 4. INIFAP-Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México.*
- Verhulst, N., I. François y B. Govaerts. 2015. Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? CIMMYT-MasAgro. El Batán, Texcoco, Estado de México.