

# Forage yield and quality of three rainfed crops in four-row and six-row seedbeds using different fertilization methods

## Rendimiento y calidad de forraje de tres cultivos de secano en camas a cuatro y seis hileras con diferentes métodos de fertilización

Esteban Salvador Osuna-Ceja<sup>1</sup>; José Pimentel-López<sup>2\*</sup>;  
Miguel Ángel Martínez-Gamiño<sup>3</sup>; Benjamín Figueroa-Sandoval<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Pabellón. Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, C. P. 20660, MÉXICO.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide núm. 73, Salinas, San Luis Potosí, C. P. 78620, MÉXICO.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental San Luis. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, C. P. 78431, MÉXICO.

\*Corresponding author: josep@colpos.mx, tel. 496 96 30 240.

### Abstract

**Introduction:** In the temperate-semiarid region of Aguascalientes, Mexico, most of the rural population depends on rainfed agriculture related to the family milk production system.

**Objective:** To evaluate the effect of different fertilization practices on forage yield and quality of three rainfed crops in four- and six-row seedbeds.

**Methodology:** Five fertilization treatments were evaluated: T1 control (no fertilization), T2 chemical fertilization (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> of N-P-K), T3 mixture (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> and 26 kg of zeolite), T4 organic fertilizer (5 t·ha<sup>-1</sup> of bovine manure) and T5 mycorrhiza (inoculation with 350 g·ha<sup>-1</sup> of mycorrhizal substrate). Maize and sunflowers were planted in four rows, and sorghum in six rows. A randomized complete block design with four replicates was used.

**Results:** Dry matter yield in relation to the control, in T2, T3 and T4 was 100, 84 and 26 % for maize, 123, 177 and 67 % for sunflowers, and 52, 49 and 91 % for sorghum, respectively. T5 was higher compared to T1, but without statistical difference. Forage quality of the three crops showed no increase, except for crude protein in T2 and T3.

**Limitations of the study:** Results correspond to a single cycle (spring-summer).

**Originality:** Good agronomic practices for forage production were established

**Conclusions:** Agronomic practices (minimum tillage, *in situ* rainwater harvesting, sowing methods and fertilization) generate a positive effect on yield and forage quality in rainfed crops.

**Keywords:** biomimetic integral subsoiler, Aqueel, pile tillage, zeolite, dry matter distribution.

### Resumen

**Introducción:** En la región templada-semiárida de Aguascalientes, México, la mayoría de la población rural subsiste de la agricultura de secano vinculada al sistema de producción familiar de leche.

**Objetivo:** Evaluar el efecto de diferentes prácticas de fertilización sobre el rendimiento y la calidad de forraje de tres cultivos de secano en camas a cuatro y seis hileras.

**Metodología:** Se evaluaron cinco tratamientos de fertilización: T1 testigo (sin fertilización), T2 fertilización química (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> de N-P-K), T3 mezcla (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> más 26 kg de zeolita), T4 abono orgánico (5 t·ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino) y T5 micorriza (inoculación con 350 g·ha<sup>-1</sup> de sustrato micorrízico). El maíz y el girasol se sembraron a cuatro hileras, y el sorgo, a seis hileras. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

**Resultados:** El rendimiento de materia seca obtenido, con respecto al testigo, en el T2, T3 y T4 fue de 100, 84 y 26 % en maíz, 123, 177 y 67 % en girasol, y 52, 49 y 91 % en sorgo, respectivamente. El T5 fue superior al T1, aunque sin diferencia estadística. La calidad forrajera de los tres cultivos no incrementó, excepto la proteína cruda en el T2 y T3.

**Limitaciones del estudio:** Los resultados corresponden a un solo ciclo (primavera-verano).

**Originalidad:** Se establecieron buenas prácticas agronómicas para la producción de forraje.

**Conclusiones:** Las prácticas agronómicas (labranza mínima, captación *in situ* de agua de lluvia, métodos de siembra y fertilización) generan un efecto positivo en el rendimiento y la calidad de forraje en los cultivos de temporal.

**Palabras clave:** subsolador integral biomimético, Aqueel, pileteo, zeolita, distribución de materia seca.

## Introduction

In the temperate-semiarid region of Aguascalientes, Mexico, most rural population depends on rainfed agriculture related to the family milk production system. However, increasing soil degradation and few crop options in that region, with greater adaptation to climate change manifested by increasingly longer dry periods (Núñez-López et al., 2007), reduce yield and profitability of forage-milk production systems. Moreover, sowing traditional forage crops, such as maize and sorghum, in conventional furrows (76 to 80 cm) decreases dry matter accumulation due to the number of plants per m<sup>2</sup> (Bolaños-Aguilar & Emile, 2013; Reta-Sánchez et al., 2007). This forces us to look for other forage production options, using innovative agronomic practices; that is, to implement technical and cultural changes in current processes to make water and soil resources more efficient, and to take advantage of solar energy to maintain or increase yield and quality of the forage produced (Cuevas-Reyes et al., 2013; Häubi-Segura & Gutiérrez-Lozano, 2015; Johannessen et al., 2001; Osuna-Ceja et al., 2015).

Sustainable development of agriculture in the rainfed area of Aguascalientes refers to the need to minimize agricultural land degradation and decrease climate change effects, while maximizing forage production. This considers a set of agronomic practices, such as soil, water, nutrition, crop management and biodiversity conservation (Altieri & Nicholls, 2013). Therefore, this system seeks sustainable production of rainfed forage for dairy cattle feeding (Häubi-Segura & Gutiérrez-Lozano, 2015).

Forage crop production systems are based on intensive tillage, conventional furrow planting (76 or 80 cm) in favor of the slope, supply of external products as a strategy to increase soil and crop yields. However, intensive tillage practices generate soil degradation and compaction, loss of biodiversity, and increased runoff and erosion (Navarro-Bravo et al., 2008). On the contrary, agricultural practices that conserve soil, water and nutrients, such as conservation tillage, topological arrangement of plants, rainwater harvesting, organic soil conservation and management, nutrient supply boosters in seed (biofertilizers) and those natural minerals such as zeolite with high attraction for ammonium ion, help to improve soil structure and fertility, which can enhance forage and grain production of rainfed crops (Osuna-Ceja et al., 2012). These technologies can contribute to the solution of agroecological and environmental problems, and crop yield (Bolaños-Aguilar & Emile, 2013; Figueroa-Sandoval & Talavera-Magaña, 2012; Obregón-Portocarrero et al., 2016).

Improved management practices in rainfed forage crops, such as sowing in seedbeds at 160 cm with four

## Introducción

En la región templada-semiárida de Aguascalientes, México, la mayoría de la población rural subsiste de la agricultura de secano vinculada al sistema de producción familiar de leche. No obstante, la creciente degradación del suelo y las pocas opciones de cultivos en dicha región, con mayor adaptación al cambio climático que se manifiesta con períodos secos cada vez más largos (Núñez-López et al., 2007), reducen la productividad y la rentabilidad de los sistemas de producción forraje-leche. Además, la siembra de cultivos forrajeros tradicionales, como maíz y sorgo, en surcos convencionales (76 a 80 cm) disminuye la acumulación de materia seca debido al número de plantas por m<sup>2</sup> (Bolaños-Aguilar & Emile, 2013; Reta-Sánchez et al., 2007). Lo anterior obliga a buscar otras opciones de producción de forraje, con prácticas agronómicas innovadoras; es decir, implementar cambios (técnicos y culturales) en los procesos actuales que permitan eficientar los recursos hídricos y edáficos, así como aprovechar la energía solar para mantener o incrementar el rendimiento y la calidad del forraje producido (Cuevas-Reyes et al., 2013; Häubi-Segura & Gutiérrez-Lozano, 2015; Johannessen et al., 2001; Osuna-Ceja et al., 2015).

El desarrollo sostenible de la agricultura en la zona de secano de Aguascalientes se refiere a la necesidad de minimizar la degradación de la tierra agrícola y disminuir los efectos del cambio climático, maximizando a su vez la producción de forraje. Esto considera un conjunto de prácticas agronómicas, como el manejo de suelo, agua, nutrición, cultivos y la conservación de la biodiversidad (Altieri & Nicholls, 2013). Por tanto, este sistema busca la producción sostenible de forrajes de temporal para la alimentación del ganado lechero de traspatio (Häubi-Segura & Gutiérrez-Lozano, 2015).

Los sistemas de producción de cultivos forrajeros se basan en la labranza intensiva, la siembra de surcos convencionales (de 76 u 80 cm) en favor de la pendiente, el suministro de productos externos como estrategia para aumentar la productividad del suelo y el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, la práctica intensiva de laboreo genera la degradación y compactación del suelo, la pérdida de la biodiversidad, y el incremento de los escurrimientos y la erosión (Navarro-Bravo et al., 2008). Por el contrario, las prácticas agrícolas que conservan el suelo, el agua y los nutrientes, como la labranza de conservación, el arreglo topológico de plantas, la cosecha de agua de lluvia, la conservación y manejo orgánico de suelos, los impulsores de suministro nutrimental en la semilla (biofertilizantes) y aquellos minerales naturales como la zeolita con gran atracción por el ion amonio, ayudan a mejorar la estructura y la fertilidad del suelo, lo cual permite potencializar la producción de forraje y de grano de los cultivos de secano (Osuna-Ceja et al., 2012).

or six rows, contribute significantly to forage and grain yields (Osuna-Ceja et al., 2015; Osuna-Ceja & Martínez-Gamiño, 2017). In this case, topological arrangement explores a better spacing between rows and plants, which supports better crop development and adequate management of competition for nutrients and solar radiation. Moreover, land surface is efficiently used with this system, and plant density per unit area is increased (Osuna-Ceja & Martínez-Gamiño, 2017; Reta-Sánchez et al., 2007). Soil conservation practices, and rainwater harvesting and fertilization, are crucial for growth and development of rainfed crops, especially in degraded soils with low nutrient and organic matter content, limiting factors for crop growth and production efficiency (Arellano-Arciniega et al., 2015).

The combined application of these agronomic practices improves rainwater use and increases biomass and some quality parameters of rainfed forages (Osuna-Ceja et al., 2015). However, in the case of maize, as plant density increases, net lactation energy per kilogram of dry matter decreases, due to the reduction in digestibility as a result of lower grain content and higher fiber content of plants (Peña-Ramos et al., 2010). Therefore, it is necessary to evaluate yield potential of maize forage and other alternative rainfed forage crops using integrated agronomic practices. Regarding the above, the objective of this study was to evaluate chemical, organic and biological fertilization practices, as well as their relationship with yield and forage quality of rainfed maize, sunflower and sorghum planted in four- and six-row seedbeds with minimum tillage and *in situ* water harvesting.

## Materials and methods

Three experiments with maize, sunflower and sorghum for rainfed forage were established in 2018 in San Luís de Letras, municipality of Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, Mexico (22° 13' 82" N and 103° 30' 75" W, 1960 m a. s. l.). The varieties sown were V-209 maize from the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* (INIFAP), Victoria sunflower (also from INIFAP) and Triunfo brown rib forage sorghum, all with good yield potential. V-209 and Victoria are early-cycle and intermediate-height, while sorghum is intermediate-cycle. During the 120-day growing cycle (July to mid-October), an average of 210 mm of precipitation and an average temperature of 16.7 °C are recorded (Osuna-Ceja et al., 2015). The soil in the area has a sandy loam texture with a pH of 7.9 and less than 1 % organic matter.

The experiment was established in 160 cm wide seedbeds, four rows with 30 cm spacing for maize and sunflower, and six rows with 20 cm spacing for sorghum. A density of 11 plants·m<sup>-2</sup> was used for maize and sunflower, and 25.2 plants·m<sup>-2</sup> for sorghum.

Dichas tecnologías pueden contribuir a la solución de los problemas agroecológicos y ambientales, así como a la productividad del cultivo (Bolaños-Aguilar & Emile, 2013; Figueroa-Sandoval & Talavera-Magaña, 2012; Obregón-Portocarrero et al., 2016).

La innovación de prácticas de manejo en los cultivos forrajeros de secano, como la siembra en camas a 160 cm con cuatro o seis hileras, contribuye significativamente en el rendimiento de forraje y de grano (Osuna-Ceja et al., 2015; Osuna-Ceja & Martínez-Gamiño, 2017). En este caso, el arreglo topológico explora un mejor espaciamiento entre hileras y plantas, el cual admite un mejor desarrollo del cultivo y un manejo adecuado de la competencia por nutrientes y radiación solar. Además, con este sistema se aprovecha de manera eficiente la superficie del terreno y se incrementa la densidad de plantas por unidad de superficie (Osuna-Ceja & Martínez-Gamiño, 2017; Reta-Sánchez et al., 2007). Las prácticas de conservación del suelo, y la cosecha de agua de lluvia y de fertilización, son fundamentales para el crecimiento y el desarrollo de los cultivos de secano, especialmente en suelos degradados con bajo contenido de nutrientes y materia orgánica, factores limitantes para el crecimiento y la eficiencia productiva del cultivo (Arellano-Arciniega et al., 2015).

La aplicación conjunta de dichas prácticas agronómicas mejora el aprovechamiento del agua de lluvia e incrementa la biomasa y algunos parámetros de calidad de los forrajes de secano (Osuna-Ceja et al., 2015). No obstante, en maíz, a medida que incrementa la densidad de plantas disminuye la energía neta de lactancia por kilogramo de materia seca, esto debido a la reducción en la digestibilidad como resultado del menor contenido de grano y mayor contenido de fibra de las plantas (Peña-Ramos et al., 2010). Por ello, es necesario evaluar el potencial de rendimiento del forraje de maíz y otros cultivos forrajeros alternativos para secano mediante el uso de prácticas agronómicas integrales. Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar prácticas de fertilización química, orgánica y biológica, así como su relación con el rendimiento y la calidad de forraje del maíz, el girasol y el sorgo de secano sembrados en camas a cuatro y seis hileras con labranza mínima y captación de agua *in situ*.

## Materiales y métodos

En 2018 se establecieron tres experimentos con maíz, girasol y sorgo para forraje de secano en San Luís de Letras, municipio de Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México (22° 13' 82" latitud norte y 103° 30' 75" longitud oeste, a 1960 m s. n. m.). Las variedades sembradas fueron: maíz V-209 del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

The experimental unit consisted of three 10 m long seedbeds, and the same bed width was considered for all three crops. Within each experimental unit, a central bed of 8 m length was used as a useful plot for soil and plant data collection.

Five fertilization treatments were evaluated in each crop: T1 absolute control (no fertilizer), T2 chemical fertilization (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> of N-P-K), T3 nitrogen, phosphorus and zeolite mixture (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> of N-P-K and 26 kg·ha<sup>-1</sup> of zeolite), T4 organic fertilizer (5 t·ha<sup>-1</sup> of composted bovine manure) and T5 mycorrhiza (seed inoculation with 350 g·ha<sup>-1</sup> of mycorrhizal substrate). As a source of N and P, urea and triple calcium superphosphate were used, respectively. Fertilization doses were defined based on INIFAP recommendations for this region, which were applied in the three experiments. The experimental design used was a randomized complete block design with four replicates.

The field was tilled with vertical tillage using a biomimetic integral subsoiler at a depth of 0.20 m before sowing (Osuna-Ceja et al., 2019). Sowing was performed under rainfed conditions and in moist soil on July 3, 2018. To establish seedbeds, a machine designed for sowing in 160 cm wide seedbeds with integrated pile-driving system was used (Garibaldi-Márquez et al., 2020). Crop sowing was done by hand, as well as the application of fertilization treatments. After sowing, spaces were established for *in situ* rainwater harvesting by means of a corrugation system on soil surface with "Aqueel" (a method creating microreservoirs on the surface of the seedbed in a homogeneous manner for water harvesting) and "pileteo" (a practice that consists of raising 20 cm high mounds of soil on the sides of seedbeds at regular distances to store water and reduce soil erosion).

Agronomic management was intended to achieve high yield. All crops, at the time of sowing, received 100 % of N and 100 % of P for the two fertilization treatments. The dose of cow manure was applied over the entire surface of the experimental unit before tillage of the soil. For T5, seeds were inoculated with mycorrhizal substrate one day before sowing. Mechanical weeding was carried out in maize and sunflower crops 25 days after sowing (das) and hand-weeding 40 days after sowing. Three hand-weeding operations were carried out for sorghum. To control fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in maize and sorghum, the insecticide Palgus™ (active ingredient: Spinetoram J + Spinetoram L) was applied at a dose of 0.075 L·ha<sup>-1</sup>. No insecticides were applied in sunflower.

Forage harvesting was performed when grain had a doughy stage in all three crops. To determine

(INIFAP), girasol Victoria (también del INIFAP) y sorgo forrajero Triunfo de nevadura café, todas con buen potencial de rendimiento. V-209 y Victoria son de ciclo precoz y altura intermedia, mientras que el sorgo es de ciclo intermedio. Durante el ciclo de cultivo de 120 días (de julio a mediados de octubre) se registran, en promedio, 210 mm de precipitación y una temperatura media de 16.7 °C (Osuna-Ceja et al., 2015). El suelo del área tenía textura franco-arenosa, con pH de 7.9 y menos de 1 % de materia orgánica.

El experimento se estableció en camas de 160 cm de ancho a cuatro hileras con 30 cm de separación en el caso del maíz y el girasol, y a seis hileras con 20 cm de separación en el sorgo. Se utilizó una densidad de 11 plantas·m<sup>-2</sup> en el maíz y el girasol, y de 25.2 plantas·m<sup>-2</sup> en el sorgo. La unidad experimental constó de tres camas de 10 m de longitud, y se consideró el mismo ancho de cama para los tres cultivos. Dentro de cada unidad experimental se utilizó la cama central de 8 m de longitud como parcela útil para la toma de datos de suelo y de plantas.

En cada cultivo se evaluaron cinco tratamientos de fertilización: T1 testigo absoluto (sin fertilizante), T2 fertilización química (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> de N-P-K), T3 mezcla de nitrógeno, fósforo y zeolita (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> de N-P-K más 26 kg·ha<sup>-1</sup> de zeolita), T4 abono orgánico (5 t·ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino composteado) y T5 micorriza (inoculación de semillas con 350 g·ha<sup>-1</sup> de sustrato micorrízico). Como fuente de N y P, se utilizó urea y superfosfato de calcio triple, respectivamente. Las dosis de fertilización se definieron con base en la recomendación del INIFAP para esta región, las cuales se aplicaron en los tres experimentos. El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

El terreno se laboreó con labranza vertical mediante un paso con el subsolador integral biomimético a una profundidad de 0.20 m antes de la siembra (Osuna-Ceja et al., 2019). La siembra se realizó en condiciones de seco y en suelo húmedo el día 3 de julio de 2018. Para el trazado de las camas, se utilizó una máquina diseñada para siembras en cama de 160 cm de ancho con sistema de pileteo integrado (Garibaldi-Márquez et al., 2020). La siembra de los cultivos se hizo en forma manual, así como la aplicación de los tratamientos de fertilización. Después de la siembra, se establecieron espacios para la captación de agua de lluvia *in situ* mediante un sistema de corrugación en la superficie del suelo con "Aqueel" (método que crea microreservorios en la superficie de la cama de siembra de manera homogénea para la captación de agua) y "pileteo" (práctica que consiste en levantar montículos de tierra de 20 cm de alto en los costados de la cama de siembra a distancias regulares para almacenar agua y disminuir la erosión del suelo).

plant height (PH) and green matter yield, for each experimental unit the final height was measured in five plants, the central bed (8 m long) was harvested and the total harvested plants were weighed to estimate green forage yield. Moreover, aboveground biomass (AGB) and root biomass (RB) of three randomly selected plants from each plot were evaluated and sectioned into leaves, stems, fruits and roots, and each fraction was dried in a forced air oven at 60 °C until constant weight. Dry matter (DM) weight was determined from AGB, and total weight of roots from 0 to 15 cm depth was calculated from the root system. Total biomass was the sum of the mass of leaves, stems and fruits. At the end, the ratio between RB and total biomass (AGB + RB) was determined, and a root index (RI):  $RB/(AGB + RB)$  was generated, which represented the relative weight of RB in relation to total biomass.

After drying, samples of 0.5 kg of AGB were taken from each crop and each fertilization treatment and were ground in a mill (model TE-650/1, Tecnal®, Brazil) with a 1 mm diameter sieve. Subsequently, samples were sent to the laboratory for bromatological and nutritional analysis to determine forage quality in terms of crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and net energy for lactation (NEL).

Roots to determine RB of maize, sunflower and sorghum were obtained by extracting 20 x 20 x 15 cm soil cubes at the plant line. Samples were taken to the work area in closed bags, placed in buckets and left to soak for 24 h according to the methodology described by Barrios et al. (2014). Subsequently, the material was washed over a 500 µm mesh sieve, and with the help of a very fine brush and tweezers roots were separated from the soil. Roots were placed in an aluminum tray and dried in a forced air oven at 60 °C until constant weight. The results were expressed in kg of roots per m<sup>2</sup>, and root density in kg per m<sup>3</sup>.

Soil penetration resistance ( $P_r$ , kg·cm<sup>-2</sup>) was determined with an impact texture analyzer at each selected root sampling point. The number of impacts required to reach each depth indicated was quantified for this variable, and subsequently the following formula was used:

$$P_r = \frac{(N \times M \times g \times SD)}{(A \times PD)} \quad (1)$$

where  $N$  is the number of impacts,  $M$  is the mass weight (kg),  $g$  is the acceleration of gravity (9.81 m·s<sup>-2</sup>),  $SD$  is the sliding distance (m),  $PD$  is the penetration distance (m) and  $A$  is the surface area of the cone (m<sup>2</sup>). The latter was calculated with the following formula:

$$A = \pi r \times s + \pi r^2 \quad (2)$$

where  $r$  is the cone radius (m) and  $s$  is the cone length (m).

El manejo agronómico se hizo con el fin de alcanzar una alta productividad. En todos los cultivos, al momento de la siembra, se aplicó el 100 % del N y 100 % del P en los dos tratamientos de fertilización. La dosis de estiércol vacuno se aplicó en toda la superficie de la unidad experimental antes del laboreo del suelo. Para el T5, las semillas se inocularon con sustrato micorrícico un día antes de la siembra. A los 25 días después de la siembra (dds), se realizó una escarda mecánica en los cultivos de maíz y girasol, y a los 40 dds se realizó un deshierbe manual. En el caso del sorgo, se hicieron tres deshierbes manuales. Para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en maíz y sorgo, se aplicó el insecticida Palgus™ (ingrediente activo: Spinetoram J + Spinetoram L) en dosis de 0.075 L·ha<sup>-1</sup>. En el girasol no se aplicaron insecticidas.

La cosecha de forraje se realizó cuando el grano mostró un estado masoso en los tres cultivos. Para determinar la altura de planta (AP) y el rendimiento de materia verde, en cada unidad experimental se midió la altura final en cinco plantas, se cosechó la cama central de 8 m de longitud y se pesó el total de plantas cosechadas para estimar el rendimiento de forraje verde. Adicionalmente, se evaluó la biomasa aérea (Ba) y de raíces (Br) de tres plantas de cada parcela tomadas al azar, las cuales se seccionaron en hojas, tallos, frutos y raíces, y cada fracción se secó en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta peso constante. De la Ba se determinó el peso de materia seca (MS), y del sistema radical se obtuvo el peso total de raíces de 0 a 15 cm de profundidad. La biomasa total fue la suma de la masa de hojas, tallos y frutos. Al final se determinó la relación entre la Br y la biomasa total (Ba + Br), y se generó un índice de raíz (Ir):  $Br/(Ba + Br)$ , el cual representó el peso relativo de la Br con respecto a la biomasa total.

Después del secado, se tomaron muestras de 0.5 kg de Ba de cada cultivo y cada tratamiento de fertilización, y se molieron en un molino (modelo TE-650/1, Tecnal®, Brasil) con criba de 1 mm de diámetro. Posteriormente, las muestras se enviaron al laboratorio para su análisis bromatológico y nutricional para determinar la calidad del forraje en términos de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y energía neta para lactancia (ENL).

Las raíces para determinar la Br del maíz, el girasol y el sorgo se obtuvieron mediante la extracción de cubos de suelo de 20 x 20 x 15 cm en la línea de plantas. Las muestras se llevaron al área de trabajo en bolsas cerradas, se colocaron en cubetas y se dejaron remojando durante 24 h de acuerdo con la metodología descrita por Barrios et al. (2014). Posteriormente, se lavó el material sobre un tamiz con malla de 500 µm, y con la ayuda de un pincel muy fino y una pinza se separaron las raíces del suelo. Las raíces se colocaron

Moisture content ( $\theta_s$ ) was measured during growing cycle and at the end of the test with a time domain reflectometer (TDR) *in situ* per treatment and from 0 to 15 cm depth. This equipment is used to measure soil water content quickly, accurately and in a non-destructive manner.

With the information recorded, some ANOVA's and comparison of means were carried out using the least significant difference test (LSD,  $P \leq 0.05$ ). For this, the statistical package SAS version 9.1.3 (SAS Institute Inc., 2013) was used.

## Results and discussion

### Precipitation analysis

During the first 31 days of crop development, rainfall was somewhat irregular, accumulating 24 % (56 mm from the first day of sowing to 31 days after sowing) of the rainfall recorded during the entire vegetative cycle in this pre-flowering stage. After August 13, rainfall increased significantly, and its distribution was more uniform (Figure 1). Due to regular rainfall, availability of water was higher in the final stage of the reproductive stage or grain filling of the three crops. Therefore, DM yield and forage quality were not affected. During crop development, temperature ranged from 21 to 31 °C for  $T_{max}$ , and from 8 to 15 °C for  $T_{min}$ .

### Analysis of dry matter yield and plant height.

Significant differences ( $P < 0.05$ ) were observed between fertilization treatments for the two variables analyzed (DM and PH) of the three crops evaluated (Table 1). This means that variation in weather patterns (precipitation, temperature, etc.) recorded during the crop cycle may affected the variables analyzed (Peña-Ramos et al., 2010), especially T5, because this treatment was not significantly superior to T1 for the three crops.

It is important to note that in all three crops evaluated, DM yield increased significantly ( $P < 0.05$ ) because of fertilization. The highest yield was for treatments T2, T3 and T4 in maize and sunflower, and for sorghum T4 surpassed the rest of the treatments. The positive effect of fertilization on DM yield can be related to the supply of N, P and organic fertilizer (Table 1). In T2, chemical fertilizers can be considered as a direct source of nutrients that meet the requirements of plants and biota. In T3, zeolite, as an additive to urea, improved the use of nitrogen fertilizer, which allows reducing the amount of N applied. The above indicates that zeolite has qualities to retain water, absorb ammonium, ameliorate nitrification and slowly release N use (Osuna-Ceja et al., 2012; Soca & Daza, 2015). In the case of T4, the most important contribution of N

en una bandeja de aluminio y secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta peso constante. Los resultados se expresaron en kg de raíces por m<sup>2</sup>, y la densidad de raíces en kg por m<sup>3</sup>.

La resistencia a la penetración del suelo ( $R_p$ , kg·cm<sup>-2</sup>) se determinó con un texturómetro de impacto en cada punto de muestreo de raíz seleccionado. Para esta variable se cuantificó el número de impactos que se requirieron para alcanzar cada profundidad señalada, y posteriormente se utilizó la siguiente fórmula:

$$R_p = \frac{(N \times M \times g \times SD)}{(A \times PD)} \quad (1)$$

donde  $N$  es el número de impactos,  $M$  es el peso de la masa (kg),  $g$  es la aceleración de la gravedad (9.81 m·s<sup>-2</sup>),  $SD$  es la distancia que se desliza (m),  $PD$  es la distancia de penetración (m) y  $A$  es el área de la superficie del cono (m<sup>2</sup>). Esta última se calculó con la siguiente fórmula:

$$A = \pi r \times s + \pi r^2 \quad (2)$$

donde  $r$  es el radio del cono (m) y  $s$  es el largo del cono (m).

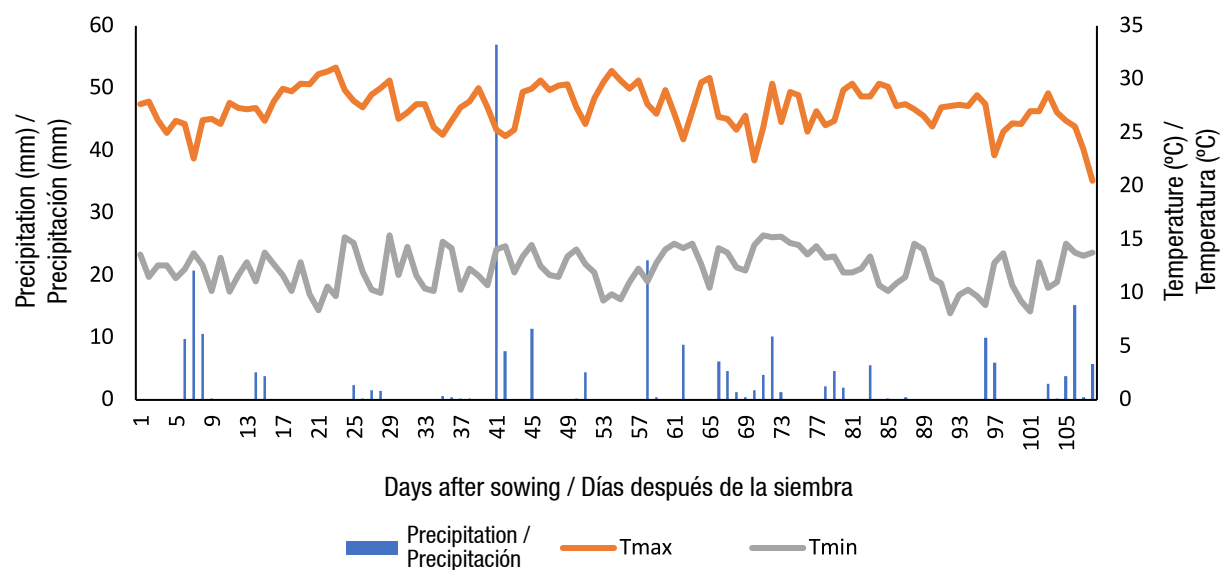
El contenido de humedad ( $\theta_s$ ) se midió durante el ciclo de cultivo y al final de la prueba con un reflectómetro en el dominio del tiempo (TDR) *in situ* por tratamiento y de 0 a 15 cm de profundidad. Dicho equipo permite medir en campo, de manera rápida, exacta y no destructiva el contenido de agua del suelo.

Con la información obtenida se hicieron algunos análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de diferencia mínima significativa (DMS,  $P \leq 0.05$ ). Para ello, se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS Institute Inc., 2013).

## Resultados y discusión

### Análisis de precipitación

Durante los primeros 31 días del desarrollo de los cultivos, las lluvias se presentaron con cierta irregularidad, acumulándose en esta etapa de prefloración el 24 % (56 mm desde el primer día de la siembra hasta 31 días después de ella) de la lluvia registrada durante todo el ciclo vegetativo. A partir del 13 de agosto, incrementaron notablemente las lluvias y su distribución fue más uniforme (Figura 1). Por la precipitación regular, existió mayor disponibilidad de agua en la fase final de la etapa reproductiva o llenado de grano de los tres cultivos. Por ello, el rendimiento de MS y la calidad de los forrajes no se vieron afectados. En relación con la temperatura, se observa que durante el desarrollo de los cultivos ésta fluctuó de 21 a 31 °C para  $T_{max}$ , y de 8 a 15 °C para  $T_{min}$ .



**Figure 1. Precipitation and daily maximum (Tmax) and minimum (Tmin) temperature recorded in the growing cycle of rainfed maize, sunflower, and sorghum (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, Mexico, 2018).**  
**Figura 1. Precipitación, y temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin) diarias registradas en el ciclo de cultivo del maíz, el girasol y el sorgo de temporal (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México, 2018).**

**Table 1. Dry matter (DM) yield and plant height (PH) of maize, sunflower and sorghum sown in beds at four and six rows with different fertilization sources (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, Mexico, 2018).**

**Cuadro 1. Rendimiento de materia seca (MS) y altura de planta (AP) de maíz, girasol y sorgo sembrados en camas a cuatro y seis hileras con diferentes fuentes de fertilización (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México, 2018).**

Fertilization treatment / Tratamiento de fertilización	Maize / Maíz		Sunflower / Girasol		Sorghum / Sorgo	
	MS (t·ha <sup>-1</sup> )	PH (cm) / AP (cm)	MS (t·ha <sup>-1</sup> )	PH (cm) / AP (cm)	MS (t·ha <sup>-1</sup> )	PH (cm) / AP (cm)
T1	12.2 b <sup>2</sup>	2.03 c	10.4 c	1.35 c	8.5 e	1.18 c
T2	24.4 a	2.33 ab	23.2 <sup>a</sup> b	1.59 a	12.9 b	1.29 b
T3	22.4 a	2.57 a	28.8 a	1.58 ab	12.7 b	1.32 ab
T4	15.3 ab	2.27 bc	17.4 bc	1.43 bc	16.2 a	1.37 a
T5	13.3 b	2.15 bc	12.6 c	1.39 c	12.3 c	1.28 b

T1 = control; T2 = chemical fertilization (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> of N-P-K); T3 = mixture (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> and 26 kg zeolite); T4 = organic fertilizer (5 t·ha<sup>-1</sup> of bovine manure); T5 = mycorrhiza (inoculated with 350 g·ha<sup>-1</sup> of mycorrhizal substrate). <sup>2</sup>Means with the same letter within each column are not statistically different (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

T1 = testigo; T2 = fertilización química (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> de N-P-K); T3 = mezcla (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> más 26 kg de zeolita); T4 = abono orgánico (5 t·ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino); T5 = micorriza (inoculación con 350 g·ha<sup>-1</sup> de sustrato micorr fico). <sup>2</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

and P from manure occurs over time by mineralization, a process that prevents an immediate consumption of the organic fraction, which sustains its permanence in the substrate ( lvarez-Solís et al., 2010; Velázquez-Rodríguez et al., 2008).

The effective fertilization response could be due, in part, to the combination of stocking density, crops sown (maize, sunflower and sorghum), agronomic practices and *in situ* water harvesting. The above was

### **Análisis de rendimiento de materia seca y altura de planta**

Se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos de fertilización en las dos variables analizadas (MS y AP) de los tres cultivos evaluados (Cuadro 1). Esto significa que la variación de los patrones climáticos (lluvia, temperatura, etc.) registrados durante el ciclo de cultivo quizás afectó a las variables analizadas (Peña-Ramos et al., 2010),

observed with high yield obtained under limited moisture conditions (239 mm) (Osuna-Ceja et al., 2015). DM yield in all fertilization treatments was higher than that obtained with the control (Table 1).

### Analysis of dry matter distribution

Table 2 shows DM distribution in aboveground organs of maize, sunflower and sorghum, and it can be seen that fertilization treatments significantly affected this distribution. In addition, higher DM accumulation in stem, leaf and fruit was observed in T2 and T3 for corn and sunflower, and in T4 for sorghum (Table 2). DM accumulation in stem, leaf and fruit by fertilization effect was due, in part, to the contribution of N and P, both by direct application of fertilizer and mineralization of manure. The latter replaced the deficiency of these nutrients in the soil and helped to satisfy nutritional needs of aboveground organs for the three crops evaluated. In the case of mycorrhiza, its effect was not significant.

Usually, it is complicated to establish precise correlations between RB and AGB, but it is acknowledged that there must be a weighting between activities of both systems, as reported by Barrios et al. (2014). AGB showed significant differences ( $P < 0.05$ ) between fertilization treatments, with higher values in T2 and T3 for maize and sunflower, and in T4 for sorghum (Table 2).

RB in maize and sunflower had no significant differences ( $P > 0.05$ ) between treatments (Table 2); however, the values reported indicate no edaphic limitations or competition for nutrients and water, even when crops were exposed to periods of water deficit (Barrios, 2011). On the contrary, sorghum showed statistical differences ( $P < 0.05$ ) between treatments for this variable. This indicates that root growth depends on soil nutrient supply (Barrios et al., 2014). Aboveground growth depends on nutrients and water absorbed by roots, which, in turn, need carbohydrates produced in the aboveground part by photosynthesis (Barrios et al., 2014).

RB, Dr, Ir and Pr only showed significant differences ( $P < 0.05$ ) among treatments for sorghum, with higher values in T2 and T3 (Table 3). There was higher Pr in treatments T2 and T3 for the three crops evaluated. However, it is clearly observed that the number of roots produced by the three crops do not correspond to the Pr pattern of the soil, because the minimum weight was reported in treatments T1 and T2, although these were only significant in sorghum.

Treatments T3 and T4 showed higher moisture in the three crops during the whole cycle (Table 4) in terms of

sobre todo al T5, ya que este tratamiento no superó de manera significativa al T1 en los tres cultivos.

Es importante señalar que en los tres cultivos evaluados el rendimiento de MS incrementó significativamente ( $P < 0.05$ ) por efecto de la fertilización. El rendimiento más alto se obtuvo con los tratamientos T2, T3 y T4 en maíz y girasol, y en sorgo el T4 superó al resto de los tratamientos. El efecto positivo de la fertilización en el rendimiento de MS se puede vincular con el suministro de N, P y abono orgánico (Cuadro 1). En el T2 se puede considerar que los fertilizantes químicos son una fuente directa de nutrimentos que satisfacen los requerimientos de las plantas y la biota. En el T3 la zeolita, como aditivo de la urea, mejoró el uso del fertilizante nitrogenado, lo cual permite reducir la cantidad de N aplicada. Lo anterior sostiene que la zeolita tiene cualidades para retener agua, absorber amonio, aminorar la nitrificación y liberar de manera lenta el uso del N (Osuna-Ceja et al., 2012; Soca & Daza, 2015). En el caso del T4, el aporte más importante de N y P del estiércol se da a través del tiempo por la mineralización, proceso que evita el consumo inmediato de la fracción orgánica, lo que sostiene su permanencia en el sustrato (Álvarez-Solís et al., 2010; Velázquez-Rodríguez et al., 2008).

La respuesta efectiva de la fertilización se pudo deber, en parte, a la combinación de la densidad de población, los cultivos sembrados (maíz, girasol y sorgo), las prácticas agronómicas y la cosecha de agua *in situ*. Lo anterior se observó con la alta productividad obtenida en condiciones de humedad limitada (239 mm) (Osuna-Ceja et al., 2015). En general, el rendimiento de MS en todos los tratamientos de fertilización fue superior al obtenido con el testigo (Cuadro 1).

### Análisis de la distribución de materia seca

En el Cuadro 2 se presenta la distribución de MS en los órganos de la parte aérea del maíz, el girasol y el sorgo, y se puede apreciar que los tratamientos de fertilización afectaron significativamente dicha distribución. Además, se observó mayor acumulación de MS en tallo, hoja y fruto en el T2 y el T3 del maíz y el girasol, y en el T4 en sorgo (Cuadro 2). La acumulación de MS en tallo, hoja y fruto por efecto de la fertilización se debió, en parte, al aporte de N y P, tanto por la aplicación directa de fertilizante como por la mineralización del estiércol. Esto último suplió la deficiencia de dichos nutrimentos en el suelo y ayudó a satisfacer las necesidades nutrimentales de los órganos de la parte aérea en los tres cultivos evaluados. En el caso de la micorriza, su efecto no fue significativo.

Regularmente, es complicado establecer correlaciones precisas entre la Br y la Ba, pero se admite que debe haber



**Table 2. Distribution of dry matter in plant organs of maize, sunflower and sorghum crops sown in four-row and six-row beds with different fertilizer sources (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, Mexico, 2018).****Cuadro 2. Distribución de materia seca en los órganos de las plantas de los cultivos de maíz, girasol y sorgo sembrados en camas a cuatro y seis hileras con diferentes fuentes de fertilización (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México, 2018).**

Treatment / Tratamiento	Stem / Tallo	Leaves / Hoja	Fruits / Fruto	Aboveground biomass / Biomasa aérea	Root biomass / Biomasa de raíces
	(g·m <sup>-2</sup> )				
Maize / Maíz					
T1	388.6 b <sup>2</sup>	308.8 c	524.0 b	1221.4 b	70.1
T2	702.1 a	494.2 a	1244.9 a	2441.2 a	121.8
T3	658.4 a	468.4 a	1117.9 a	2244.7 a	149.9
T4	429.0 b	388.3 b	711.4 b	1528.7 b	96.0
T5	408.8 b	348.6 bc	618.2 b	1375.6 b	70.1
Sunflower / Girasol					
T1	403.9 c	274.7 b	361.4 c	1040.0 b	51.7
T2	852.6 a	628.5 a	839.1 a	2320.2 a	115.2
T3	1085.1 ab	733.7 a	1061.3 ab	2880.1 a	151.2
T4	642.1 bc	430.3 b	667.6 bc	1740.0 b	107.8
T5	475.7 c	321.0 b	463.3 c	1260.0 b	130.6
Sorghum / Sorgo					
T1	383.8 c	290.7 c	375.4 c	1050.0 c	109.1 c
T2	516.8 ab	331.8 ab	442.5 b	1291.2 b	219.7 a
T3	496.8 ab	279.4 bc	496.2 b	1272.5 b	183.8 ab
T4	601.2 a	347.5 a	666.9 a	1615.6 a	125.0 bc
T5	456.6 b	291.9 b	486.0 b	1234.5 b	125.0 bc

T1 = control; T2 = chemical fertilization (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> of N-P-K); T3 = mixture (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> and 26 kg zeolite); T4 = organic fertilizer (5 t·ha<sup>-1</sup> of bovine manure); T5 = mycorrhiza (inoculated with 350 g·ha<sup>-1</sup> of mycorrhizal substrate). <sup>2</sup>Means with the same letter within each column are not statistically different (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

T1 = testigo; T2 = fertilización química (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> de N-P-K); T3 = mezcla (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> más 26 kg de zeolita); T4 = abono orgánico (5 t·ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino); T5 = micorriza (inoculación con 350 g·ha<sup>-1</sup> de sustrato micorrízico). <sup>2</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

**Table 3. Biomass, root density and index, and soil mechanical resistance in maize, sunflower and sorghum sown in four-row and six-row beds with different fertilization sources (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, Mexico, 2018).****Cuadro 3. Biomasa, densidad e índice de raíz, y resistencia mecánica del suelo en maíz, girasol y sorgo sembrados en camas a cuatro y seis hileras con diferentes fuentes de fertilización (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México, 2018).**

Treatment / Tratamiento	Maize / Maíz				Sunflower / Girasol				Sorghum / Sorgo			
	RB/BR (kg·m <sup>-2</sup> )	Rd/Dr (kg·m <sup>-3</sup> )	RI/Ir	Pr /Rp (kg·m <sup>-2</sup> )	RB/BR (kg·m <sup>-2</sup> )	Rd/Dr (kg·m <sup>-3</sup> )	RI/Ir	Pr /Rp (kg·m <sup>-2</sup> )	RB/BR (kg·m <sup>-2</sup> )	Rd/Dr (kg·m <sup>-3</sup> )	RI/Ir	Pr /Rp (kg·m <sup>-2</sup> )
T1	0.0701	1.06	0.055	1.64	0.0517	0.79	0.051	3.28	0.1091 c <sup>2</sup>	0.73 c	0.089 b	1.97 c
T2	0.1218	1.85	0.049	3.28	0.1306	1.75	0.136	3.61	0.2197 a	1.46 a	0.152 a	5.91 a
T3	0.1499	2.27	0.060	3.94	0.1512	2.54	0.136	4.27	0.1838 ab	1.23 ab	0.154 a	5.58 a
T4	0.0960	1.46	0.057	2.29	0.1078	1.98	0.149	2.95	0.1250 bc	0.84 bc	0.073 b	4.59 ab
T5	0.0701	1.26	0.048	2.64	0.1152	1.39	0.139	3.28	0.1250 bc	0.79 c	0.086 b	2.95 bc

RB = root biomass; Rd = root density; RI = root index; Pr = soil penetration resistance; T1 = control; T2 = chemical fertilization (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> of N-P-K); T3 = mixture (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> and 26 kg zeolite); T4 = organic fertilizer (5 t·ha<sup>-1</sup> of bovine manure); T5 = mycorrhiza (inoculated with 350 g·ha<sup>-1</sup> of mycorrhizal substrate). <sup>2</sup>Means with the same letter within each column are not statistically different (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

Br = biomasa de raíz; Dr = densidad de raíz; Ir = índice de raíz; Rp = resistencia a la penetración del suelo; T1 = testigo; T2 = fertilización química (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> de N-P-K); T3 = mezcla (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> más 26 kg de zeolita); T4 = abono orgánico (5 t·ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino); T5 = micorriza (inoculación con 350 g·ha<sup>-1</sup> de sustrato micorrízico). <sup>2</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

**Table 4. Average surface soil moisture (0 to 15 cm) during growing cycle of maize, sunflower and sorghum sown in four-row and six-row beds with different fertilizer sources (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, Mexico, 2018).**

**Cuadro 4. Humedad promedio del suelo superficial (0 a 15 cm) durante el ciclo de cultivo de maíz, girasol y sorgo sembrados en camas a cuatro y seis hileras con diferentes fuentes de fertilización (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México, 2018).**

Treatments/ Tratamientos	Maize/ Maíz	Sunflower/ Girasol	Sorghum/ Sorgo
	(%)		
T1	12.25 d <sup>2</sup>	8.65	12.98 b
T2	13.85 cd	9.95	12.85 b
T3	16.50 ab	11.05	16.55 a
T4	17.33 a	10.68	14.68 ab
T5	14.83 bc	10.90	13.83 b

T1 = control; T2 = chemical fertilization (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> of N-P-K); T3 = mixture (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> and 26 kg zeolite); T4 = organic fertilizer (5 t·ha<sup>-1</sup> of bovine manure); T5 = mycorrhiza (inoculated with 350 g·ha<sup>-1</sup> of mycorrhizal substrate). <sup>2</sup>Means with the same letter within each column are not statistically different (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

T1 = testigo; T2 = fertilización química (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> de N-P-K); T3 = mezcla (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> más 26 kg de zeolita); T4 = abono orgánico (5 t·ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino); T5 = micorriza (inoculación con 350 g·ha<sup>-1</sup> de sustrato micorrícico). <sup>2</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

soil moisture. Under the conditions of this experiment, the effect of adding zeolite and bovine manure was positive, although in depth of 0 to 15 cm more moisture is lost due to aeration, incidence of solar rays on soil surface and crop transpiration. This may be one of the most important advantages of adding small amounts of zeolite and organic manure to the soil, because it increases its moisture retention capacity.

### Forage quality

Results of the statistical analysis of forage quality reported a significant difference between treatments ( $P < 0.05$ ) in one of the four variables analyzed for maize, and two for sunflower and sorghum (Table 5). CP, NDF, FDA and ENL analyses indicated that sunflower and sorghum have the necessary attributes to be considered as forage in Aguascalientes. Bromatological analyses indicated that treatments T2 and T3 were significantly higher ( $P < 0.05$ ) in CP, with values of 16.6 and 16.1 % in sunflower, 13.4 and 14.4 % in sorghum, and 11 and 10 % in maize, respectively (Table 5).

Quality results agree with those reported by Peña-Ramos et al. (2010), who report there are no changes in forage quality, except for crude protein with the application of high doses of nitrogen fertilization. A hybrid or variety, even with high yield, if it does not meet the forage quality standards demanded by livestock, it will not be accepted by small dairy farmers in this semiarid region. The bovine manure treatment did not affect quality, but increased DM yield in the three crops evaluated, which represents an increase in the producer's economy.

una ponderación entre las actividades de ambos sistemas, como lo reportan Barrios et al. (2014). La Ba mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos de fertilización, con valores superiores en el T2 y el T3 en maíz y girasol, y en el T4 en sorgo (Cuadro 2).

La Br en el maíz y el girasol no presentó diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 2); sin embargo, los valores obtenidos indican que no hubo limitaciones edáficas ni competencia por nutrientes y agua, aun cuando los cultivos estuvieron expuestos a períodos con déficit hídrico (Barrios, 2011). Por el contrario, el sorgo presentó diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos en dicha variable. Lo anterior indica que el crecimiento de las raíces depende del suministro de nutrientes del suelo (Barrios et al., 2014). El crecimiento de la parte aérea depende de los nutrientes y el agua absorbidos por las raíces, las cuales, a su vez, requieren los carbohidratos producidos en la parte aérea por la fotosíntesis (Barrios et al., 2014).

La Br, la Dr, el Ir y la Rp únicamente mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos en el cultivo de sorgo, con valores superiores en el T2 y el T3 (Cuadro 3). En forma general, hubo mayor Rp en los tratamientos T2 y T3 en los tres cultivos evaluados. Sin embargo, se observa claramente que la cantidad de raíces producidas por los tres cultivos no obedece al patrón de Rp del suelo, ya que el peso mínimo se obtuvo en los tratamientos T1 y T2, aunque estos sólo fueron significativos en el sorgo.

Referente a la humedad en el suelo, los tratamientos T3 y T4 son los que presentaron mayor humedad en los

**Table 5. Forage quality of maize, sunflower and sorghum sown in four-row and six-row beds with different fertilization sources (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, Mexico, 2018).**

**Cuadro 5. Calidad de forraje de maíz, girasol y sorgo sembrados en camas a cuatro hileras y seis con diferentes fuentes de fertilización (San Luís de Letras, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México, 2018).**

Treatment/ Tratamiento	Maize/Maíz				Sunflower/Girasol				Sorghum/Sorgo			
	CP/PC (%)	NDF/FDN (%)	ADF/FDA (%)	NEL/ENL (Mcal·kg <sup>-1</sup> )	CP/PC (%)	NDF/FDN (%)	ADF/FDA (%)	NEL/ENL (Mcal·kg <sup>-1</sup> )	CP/PC (%)	NDF/FDN (%)	ADF/FDA (%)	NEL/ENL (Mcal·kg <sup>-1</sup> )
T1	7.7 b <sup>2</sup>	57.4 a	32.3 a	1.14 a	12.9 c	41.2 a	36.3 a	1.31 b	12.0 c	51.8 a	30.9 a	1.26 c
T2	11.0 a	56.0 a	31.9 a	1.17 a	16.6 a	40.4 a	35.4 a	1.38 a	13.4 ab	55.0 a	31.7 a	1.39 a
T3	10.0 a	58.2 a	31.9 a	1.16 a	16.1 a	41.5 a	35.5 a	1.38 a	14.4 a	54.8 a	31.7 a	1.40 a
T4	8.6 b	58.4 a	34.8 a	1.17 a	14.7 b	41.6 a	37.2 a	1.39 a	12.5 bc	51.8 a	31.6 a	1.37 ab
T5	8.2 b	57.9 a	33.6 a	1.16 a	12.5 c	41.3 a	36.3 a	1.36 a	12.2 bc	51.8 a	31.4 a	1.29 bc

CP = crude protein; NDF = neutral detergent fiber; ADF = acid detergent fiber; NEL = net energy for lactation; T1 = control; T2 = chemical fertilization (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> of N-P-K); T3 = mixture (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> and 26 kg zeolite); T4 = organic fertilizer (5 t·ha<sup>-1</sup> of bovine manure); T5 = mycorrhiza (inoculated with 350 g·ha<sup>-1</sup> of mycorrhizal substrate). <sup>2</sup>Means with the same letter within each column are not statistically different (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutra; FDA = fibra detergente ácida; ENL = energía neta para lactancia; T1 = testigo; T2 = fertilización química (40-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> de N-P-K); T3 = mezcla (28-40-00 kg·ha<sup>-1</sup> más 26 kg de zeolita); T4 = abono orgánico (5 t·ha<sup>-1</sup> de estiércol bovino); T5 = micorriza (inoculación con 350 g·ha<sup>-1</sup> de sustrato micorrízico). <sup>2</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

In general, sunflower had the lowest NDF concentration (40 to 41 %) and the highest FDA content (35 to 37 %), which is the least digestible fibrous fraction of maize and sorghum silage. NEL of sunflower is similar to that of sorghum silage, but higher than that of maize, main forage grown regionally (Flores-Calvete et al., 2016). Sunflower and sorghum surpassed maize in quality (7.7 and 4.0 %, respectively) and protein content (5.5 and 3.8 %, respectively).

Increase in biomass production in the three crops evaluated is because fertilization in T2 has an immediate action on the plant and biota, and in T3 zeolite not only retains moisture longer, but also captures ammonium and releases nitrogen slowly throughout the physiological cycle (Osuna-Ceja et al., 2012). On the other hand, manure generated a constant enzymatic activity during the cycle in T4, which biodegraded and released ions available for plants and microorganisms (Salazar-Sosa et al., 2007).

## Conclusions

Adding fertilizers, mixing fertilizer with zeolite and bovine manure increased dry matter yield and did not affect forage quality obtained by sowing maize and sunflower in a four-row bed, and sorghum in a six-row bed with vertical tillage and *in situ* rainwater harvesting. Seed inoculated with mycorrhiza did not significantly increase DM yield or forage quality compared to the other treatments.

The results obtained support the idea that there are no soil limitations or competition for nutrients and water, which can be observed by the positive effects on yield and components of the three crops evaluated.

tres cultivos durante todo el ciclo (Cuadro 4). Bajo las condiciones de este experimento, el efecto de la adición de zeolita y el estiércol bovino fue positivo, aunque en la profundidad de 0 a 15 cm se pierde mayor humedad debido a la aireación, a la incidencia de los rayos solares sobre la superficie del suelo y a la transpiración del cultivo. Quizás, esta es una de las ventajas más importantes de la adición de cantidades pequeñas de zeolita y abono orgánico al suelo, ya que incrementa su capacidad de retención de humedad.

## Calidad de forraje

Los resultados del análisis estadístico de la calidad de forraje indicaron que hubo diferencia significativa entre tratamientos ( $P < 0.05$ ) en una de las cuatro variables analizadas en el caso del maíz, y en dos para girasol y sorgo (Cuadro 5). Los análisis de PC, FDN, FDA y ENL indicaron que el girasol y el sorgo cuentan con los atributos necesarios para ser considerados como forraje en Aguascalientes. Los análisis bromatológicos indicaron que los tratamientos T2 y T3 fueron significativamente mayores ( $P < 0.05$ ) en la PC, con valores de 16.6 y 16.1 % en girasol, 13.4 y 14.4 % en sorgo, y 11 y 10 % en maíz, respectivamente (Cuadro 5).

Los resultados de calidad coinciden con los reportados por Peña-Ramos et al. (2010), quienes refieren que no hay cambios en la calidad de forraje, excepto para proteína cruda con la aplicación de altas dosis de fertilización nitrogenada. Un híbrido o variedad, aunque presente alta productividad, si no cumple con los estándares de calidad del forraje que demanda el ganado, no será aceptado por los pequeños productores de leche en esta región semiárida. El tratamiento de estiércol bovino no afectó la calidad,

Furthermore, vertical tillage has no effect on the functional balance between root biomass and total biomass for the three crops evaluated.

#### End of English version

#### References / Referencias

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7-20. <https://revistas.um.es/agroecologia/articulo/view/182921>
- Álvarez-Solís, J. D., Gómez-Velasco, D. A., León-Martínez, N. S., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2010). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44(5), 575-586. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952010000500007](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000500007)
- Arellano-Arciniega, S., Osuna-Ceja, E. S., Martínez-Gamiño, M. A., & Reyes-Muro, L. (2015). Rendimiento de frijol fertilizado con estiércol bovino en condiciones de secano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 313-318. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61040691010>
- Barrios, M. B. (2011). *Efecto del laboreo sobre el desarrollo de raíces y productividad*. Editorial Academia Española. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_nlinks&pid=S0187-5779201400030022100003&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0187-5779201400030022100003&lng=es)
- Barrios, M. B., Bujan, A., Debelis, S. P., Sokolowsky, A. C., Blason, A. D., Rodríguez, H. A., López, S. C., de Grazia, J., Mazo, C. R., & Gagey, M. C. (2014). Relación biomasa de raíz/biomasa total de soya (*Glycine max*) en dos sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 221-230. <http://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/26/27>
- Bolaños-Aguilar, E. D., & Emile, J. C. (2013). Efecto de la distancia entre surcos y densidad de siembra en el rendimiento y calidad de forraje de sorgo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(2), 161-176. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/articulo/view/2835>
- Cuevas-Reyes, V., Baca-del Moral, J., Cervantes-Escoto, F., Espinosa-García, J. A., Aguilar-Ávila, J., & Loaiza-Meza, A. (2013). Factores que determinan el uso de innovaciones tecnológicas en la ganadería de doble propósito en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(1), 31-46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265625754005>
- Figueroa-Sandoval, B., & Talavera-Magaña, D. (2012). Programa de reconversión productiva en el Altiplano Potosino-Zacatecano de México. *Agroproductividad*, 5(2), 22-33. <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/articulo/view/401>
- Flores-Calvete, G., Botana-Fernández, A., Pereira-Crespo, S., Valladares-Alonso, J., Pacio-Rivas, B., Aguión-Sandá, Á., & Resch-Zafra, C. (2016). Efecto del momento de corte sobre el rendimiento y valor nutricional de dos variedades de girasol (*Helianthus Annuus* L.) cultivadas para ensilar a finales de verano en Galicia. *AFRIGA*, 121, 184-200. [https://issuu.com/transmediacomunicacion/docs/afriga\\_121\\_castelan\\_lr](https://issuu.com/transmediacomunicacion/docs/afriga_121_castelan_lr)
- Garibaldi-Márquez, F., Martínez-Reyes, E., García-Hernández, R. V., & Galindo-Reyes, M. A. (2020). Sembradora para distribuir semilla a cuatro hileras en camas y captar agua de lluvia. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 12(1), 20-40. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.07.015>
- pero sí incrementó el rendimiento de MS en los tres cultivos evaluados, lo cual representa un aumento en la economía del productor.
- En general, el girasol presentó la menor concentración de FDN (40 a 41 %) y el mayor contenido de FDA (35 a 37 %), que es la fracción fibrosa menos digerible del ensilado de maíz y sorgo. La ENL del girasol es similar a la del ensilado de sorgo, pero mayor a la del maíz, principal forraje cultivado a nivel regional (Flores-Calvete et al., 2016). En la media general, el girasol y el sorgo superaron en calidad (7.7 y 4.0 %, respectivamente) y en contenido proteico (5.5 y 3.8 %, respectivamente) al maíz.
- El incremento en la producción de biomasa en los tres cultivos evaluados se debe a que la fertilización en el T2 tiene una acción inmediata sobre la planta y la biota, y en el T3 la zeolita no sólo retiene humedad por más tiempo, sino que además captura el amonio y libera el nitrógeno de manera lenta a través de todo el ciclo fisiológico (Osuna-Ceja et al., 2012). Por su parte, en el T4 el estiércol generó una actividad enzimática constante durante el ciclo, la cual biodegradó y liberó iones disponibles para plantas y microorganismos (Salazar-Sosa et al., 2007).

#### Conclusiones

La adición de fertilizantes, el mezclado de fertilizante con zeolita y el estiércol bovino incrementaron el rendimiento de materia seca y no afectaron la calidad de forraje que se obtiene con la siembra de maíz y girasol en camas a cuatro hileras, y sorgo a seis hileras con labranza vertical y captación *in situ* de agua de lluvia. La inoculación de semilla con micorriza no incrementó significativamente el rendimiento de MS ni la calidad de forraje respecto a los demás tratamientos.

Los resultados obtenidos sustentan la idea de que no hay limitaciones edáficas ni de competencia por nutrientes y agua, lo cual se puede observar por los efectos positivos en el rendimiento y sus componentes en los tres cultivos evaluados. Además, la labranza vertical no afecta el equilibrio funcional entre la biomasa de raíces y la biomasa total en los tres cultivos evaluados.

#### Fin de la versión en español

- 184-200. [https://issuu.com/transmediacomunicacion/docs/afriga\\_121\\_castelan\\_lr](https://issuu.com/transmediacomunicacion/docs/afriga_121_castelan_lr)
- Garibaldi-Márquez, F., Martínez-Reyes, E., García-Hernández, R. V., & Galindo-Reyes, M. A. (2020). Sembradora para distribuir semilla a cuatro hileras en camas y captar agua de lluvia. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 12(1), 20-40. <http://dx.doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.07.015>

- Häubi-Segura, C. U., & Gutiérrez-Lozano, J. L. (2015). Evaluación de unidades familiares de producción lechera en Aguascalientes: estrategias para incrementar su producción y rentabilidad. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 19(2), 7-34. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/837/83742619002/html/index.html>
- Johannessen, J., Olsen, B., & Lumpkin, G. T. (2001). Innovation as newness: What is news, how new, and new to Whom?. *European Journal of Innovation Management*, 4(1), 20-31. <https://doi.org/10.1108/14601060110365547>
- Navarro-Bravo, A., Figueroa-Sandoval, B., Sangerman-Jarquín, D. M., & Osuna-Ceja, E. S. (2008). Propiedades físicas y químicas del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 690-697. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000900011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000900011)
- Núñez-López, D., Muñoz-Robles, C. A., Reyes-Gómez, V. M., Velasco-Velasco, I., & Gadsden-Esparza, H. (2007). Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en Chihuahua, México. *Agrociencia*, 41(3), 253-262. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30241301>
- Obregón-Portocarrero, N., Díaz-Ortiz, J. E., Daza-Torres, M. C., & Aristizabal-Rodríguez, H. F. (2016). Efecto de la aplicación de zeolita en la recuperación de nitrógeno y el rendimiento de maíz. *Acta Agronómica*, 65(1), 24-30. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122016000100004&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122016000100004&script=sci_abstract&tlng=es)
- Osuna-Ceja, E. S., Arias-Chávez, L. E., Núñez-Hernández, G., & González-Castañeda, F. (2015). Producción de forrajes de temporal con estiércol bovino y captación de agua en siembra a triple hilera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1743-1756. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263142750004>
- Osuna-Ceja, E. S., Garibaldi-Márquez, F., & García-Hernández, R. V. (2019). Desempeño de un subsolador integral biomimético para laboreo sustentable de suelos agrícolas. *Acta Universitaria*, 29, 1-14. <http://doi.org/10.15174.au.2019.1968>
- Osuna-Ceja, E. S., María-Ramírez, A., Paredes-Melesio, R., Padilla-Ramírez, J. S., & Báez-González, A. D. (2012). Eficiencia de la zeolita como aditivo de la urea e inoculación micorrizica en el cultivo de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1101-1113. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123222004>
- Osuna-Ceja, E. S., & Martínez-Gamiño, M. A. (2017). Rendimiento y calidad de forraje de maíz y sorgo de temporal a cuatro y seis hileras en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1259-1272. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263153306003.pdf>
- Peña-Ramos, A., González-Castañeda, F., & Robles-Escobedo, F. J. (2010). Manejo Agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 27-35. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263120585003>
- Reta-Sánchez, D. G., Cueto-Wong, J. A., Gaytán-Mascorro, A., & Santamaría-Cesar, J. (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura Técnica en México*, 33(2), 145-151. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60833204>
- Salazar-Sosa, E., Trejo-Escareño, H. I., Vázquez-Vázquez, C., & López-Martínez, J. D. (2007). Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Revista Internacional de Botánica Experimental PHYTON*, 76, 169-185. <http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol76/salazar-sosa.pdf>
- SAS Institute Inc. (2013). *SAS/STAT software, version 9.1.3*. SAS Institute Inc. [https://www.sas.com/en\\_us/software/stat.html#](https://www.sas.com/en_us/software/stat.html#)
- Soca, M., & Daza, M. C. (2015). La zeolita y su efecto en la eficiencia del nitrógeno en arroz y maíz. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 46-55. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.153202.12>
- Velázquez-Rodríguez, A. S., Flores-Román, D., Etchevers-Barra, J. D., & García-Calderón, N. E. (2008). Materia orgánica en tepetate bajo cultivo de higuera y pasto, acondicionado con estiércol y fertilizante. *Agrociencia*, 42(1), 11-19. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30213263002>