

Evaluación de una enmienda orgánica sobre variables agronómicas y rendimiento de *Sorghum bicolor* en La Frailesca, Chiapas, México

Aguilar Jiménez, C. E., Zapata Hernández, I., Martínez Aguilar, F. B., Aguilar Jiménez, J. R. y Guevara Hernández, F.

DOI: 10.31047/1668.298x.v41.n2.42951

RESUMEN

En la región Frailesca de Chiapas, México, la producción de tipo convencional de sorgo (*Sorghum bicolor*) ha ocasionado la disminución de la fertilidad del suelo, al reducir su contenido de materia orgánica. Esto obliga a buscar alternativas para incrementar su rendimiento ya que es un cereal de importancia para la alimentación animal. El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta agronómica y productiva del sorgo a la aplicación de tres dosis de composta. Se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano 2018, bajo condiciones de temporal en el municipio de Villaflores, Chiapas, México. Los tratamientos fueron un testigo y tres dosis de composta (10, 20 y 30 t/ha⁻¹), incorporados al suelo antes de siembra. Se establecieron cuatro parcelas experimentales por tratamiento con diseño experimental completamente al azar. Las variables de respuesta fueron agronómicas y de rendimiento del cultivo, se evaluaron por análisis de varianza y prueba de comparación de medias. Tanto los parámetros agronómicos (altura de planta, grosor de tallo y peso de biomasa fresca) como los productivos (peso y rendimiento del grano, longitud y peso de panoja) fueron superiores estadísticamente en los tratamientos de 20 y 30 t/ha⁻¹ de composta con respecto al tratamiento de 10 t/ha⁻¹ y al testigo.

Palabras clave: composta, abono, producción de cereales, sorgo

Aguilar Jiménez, C. E., Zapata Hernández, I., Martínez Aguilar, F. B., Aguilar Jiménez, J. R., and Guevara Hernández, F. Evaluation of an organic amendment on agronomic variables and yield of *Sorghum bicolor* in La Frailesca, Chiapas, Mexico. *Agriscientia*, 41(2), 113-122

ABSTRACT

In the Frailesca region of Chiapas, Mexico, conventional sorghum (*Sorghum bicolor*) production has decreased soil fertility, primarily by reducing its organic matter. This makes it necessary to look for alternatives to increase its yield, since it is an important cereal for animal feed. This study aimed to evaluate the agronomic and productive response of sorghum to the application of three doses of compost. It was conducted during the spring-summer 2018 agricultural cycle, under rainfed conditions in the municipality of Villaflores, Chiapas, Mexico. The treatments were a control and three doses of compost (10, 20 and, 30 t/ha⁻¹), incorporated into the soil before planting. Four experimental plots per treatment were established using a completely randomized design. The response variables were agronomic and productive, and they were evaluated using analysis of variance and a mean comparison test. Both the agronomic parameters (plant height, stem thickness and biomass fresh weight) and the productive parameters (grain weight and yield, panicle length and weight) were statistically superior in the 20 and 30 t/ha⁻¹ compost treatments compared to the 10 t/ha⁻¹ treatment and the control.

Keywords: compost, manure, cereal production, sorghum

Aguilar Jiménez, C. E. (ORCID: 0000-0002-6332-1771), Zapata Hernández, I. (ORCID: 0000-0003-1732-7993), Martínez Aguilar, F. B. (ORCID: 0000-0003-2666-5863), Guevara Hernández, F. (ORCID: 0000-0002-1444-6324): Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V. Villaflores, Chiapas, México. Aguilar Jiménez, J. R. (ORCID: 0000-0003-3826-9331): Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Campus II. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Correspondence to: chilo0602@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En las zonas tropicales del sur de México, la degradación de los suelos agrícolas constituye un fenómeno alarmante que se ha incrementado en las últimas cinco décadas como producto de la tecnología utilizada (Aguilar Jiménez et al., 2019). La Comisión Nacional Forestal y la Universidad Autónoma Chapingo (2013) indican que el 90,7 % de la superficie en México presenta algún tipo de degradación (177 642 millones de hectáreas) originado por causas naturales y antrópicas. En el Estado de Chiapas, la degradación de los suelos agrícolas es un fenómeno importante, sobre todo en aquellas regiones en donde se ha utilizado la agricultura convencional tecnificada.

La región Frailesca de Chiapas se ha considerado como la de mayor productividad por unidad de superficie de cultivos básicos, sustentando los procesos productivos con el

uso de la tecnología moderna. Los impactos de este modelo tuvieron efectos positivos en el incremento de la producción a corto plazo, pero negativos a largo plazo debido a los impactos socioambientales (Aguilar Jiménez et al., 2017). Las propiedades físicas, químicas y biológicas presentan diferentes grados de afectación debido principalmente a la compactación, a la acidez y a los bajos contenidos de materia orgánica (López et al., 2018; López et al., 2019). La baja productividad actual de los suelos agrícolas de este territorio está directamente relacionada con la degradación de las características físicas y químicas (Martínez Aguilar et al., 2020a). Los volúmenes cosechados por unidad de superficie están también relacionados con un complejo de interacciones del área ambiental, socioeconómica y tecnológica. A partir de este escenario, surgen distintas formas de manejo, convencional, agroecológico y mixto que representan estrategias locales de adaptación

de los agricultores de la región. (Martínez Aguilar et al., 2020b).

Ante la problemática de la pérdida de fertilidad de los suelos agrícolas en las regiones tropicales, se ha desarrollado una serie de tecnologías agroecológicas cuyo propósito es contribuir con la conservación y mejoramiento de los recursos naturales que fundamentan la producción sostenible (Nicholls y Altieri, 2020). Se destaca, por su rápido efecto, el uso de los abonos orgánicos, los que constituyen una práctica de manejo fundamental en la recuperación de la capacidad productiva de suelos degradados (Fortis-Hernández et al., 2009). Las enmiendas orgánicas representan una importante fuente de nutrientes como N, P, K, Ca y Mg, que son liberados lentamente y están disponibles para las plantas por mayor tiempo. Esto promueve tanto la nutrición de las plantas, como el reciclaje de nutrientes en el suelo, además de proporcionar beneficios en las propiedades físicas y biológicas del suelo (Carter et al., 2004; Tlelo-Cuautle et al., 2020).

Los abonos orgánicos son un producto obtenido a partir de la estabilización de residuos animales, vegetales o residuos sólidos urbanos que contienen porcentajes importantes de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable, humedad, capacidad de intercambio catiónico, cenizas, relación C/N y elementos disponibles, como los productos del proceso de fermentación o de la acción de microorganismos aerobios, entre otros (García et al., 2009). El compostaje es un proceso biológico que ocurre en condiciones aeróbicas, con la adecuada humedad y temperatura, durante el que se asegura una

transformación benéfica de los residuos orgánicos en un material homogéneo y estable (Camacho et al., 2018). Es posible interpretar el compostaje como la suma de varios procesos metabólicos complejos realizados por diferentes grupos de microorganismos, que, en presencia de O₂, aprovechan el N y el C para producir su propia biomasa. En este proceso, los microorganismos promueven la generación de la energía almacenada en los compuestos orgánicos, que aprovechan y transforman en un sustrato con menos C y N, pero más estable (Román et al., 2013).

A escala mundial, EE. UU., Nigeria, India, México y Sudán, son los cinco principales productores de sorgo (Food and Agriculture Organization [FAO], 2021). En México se cosechan aproximadamente 1,35 millones de hectáreas con un volumen de producción de 4,81 millones de toneladas anuales (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023). En Chiapas se cosechan 9 729 hectáreas con un volumen de producción de 24 546 toneladas, mientras que en La Fraileasca se siembran 626 hectáreas con un volumen de producción de 1 507 toneladas y los bajos rendimientos del cultivo se asocian a la degradación de los suelos agrícolas (Sandoval y López, 2011). El uso de las enmiendas orgánicas ha demostrado incrementar los rendimientos del cultivo de sorgo (Díaz-Fanco et al., 2016). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta productiva del cultivo de sorgo con la incorporación al suelo de tres dosis de composta (10, 20 y 30 t/ha⁻¹) en comparación a un tratamiento testigo sin uso de abono orgánico.

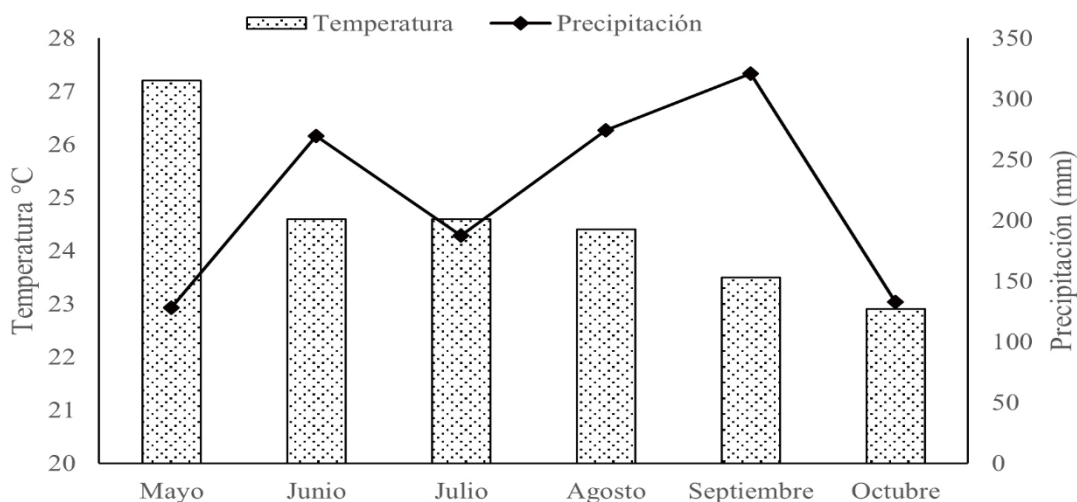


Figura 1. Temperatura (°C) y Precipitación (mm) del ciclo de evaluación

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El experimento se realizó en el Centro Universitario de Transferencia de Tecnología (CUTT) San Ramón de la Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V, perteneciente a la Universidad Autónoma de Chiapas, municipio de Villaflores, Chiapas, México, localizado en el paralelo 16° 15' 13.9" N y meridiano 93° 15' 14.2" O. La altitud es de 610 m s.n.m., el clima que prevalece es el cálido-subhúmedo con lluvias en Verano AW₁ (W") (i) g, con una temperatura media anual de 22 °C y una precipitación pluvial media anual de 1,200 mm (García, 2004). La temperatura y precipitación del ciclo de evaluación se muestran en la Figura 1. El suelo es de tipo luvisol crómico, con topografía ligeramente escarpada, espacios de cultivos más típicos del territorio denominados terrenos intermedios.

Evaluación de la fertilidad del suelo del sitio experimental

Al inicio del ciclo de cultivo del año 2018, se realizó un muestreo compuesto de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, se utilizó el método de zig-zag de acuerdo con lo propuesto por Mallavia y Martínez, (2007), para caracterizar en laboratorio las propiedades físicas y químicas de interés agronómico. Los métodos y la interpretación se realizaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002). Las determinaciones se realizaron con los siguientes métodos: pH medido en agua, MO (Materia Orgánica) por Walkley y Black, N total por Kjeldahl, P Olsen, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables (K, Ca, Mg y Na) por medio de saturación con acetato de amonio, textura por hidrómetro de bouyoucos, N-NO₃, N-NH₄ y B por arrastre de vapor, Fe y Zn por medio del ácido dietilén triamino pentaacético.

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, donde los tratamientos de incorporación de la composta al suelo fueron 10, 20 y 30 t/ha⁻¹, además de un testigo sin uso de composta. Se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento para completar un total de dieciséis parcelas experimentales. Cada una de ellas tuvo una superficie de 50 m² (10 m × 5 m)

con una separación de 1 m entre tratamientos y repeticiones.

Variables evaluadas

Durante el desarrollo del experimento se midieron las variables en diez plantas seleccionadas al azar de las filas medias de cada repetición. Estas variables fueron: días de floración, altura de planta sin y con panoja, madurez fisiológica, grosor de tallo, longitud de panoja, peso de panoja con grano, peso de grano, peso de mil granos, peso de biomasa fresca aérea, plantas por hectárea, rendimiento de grano por hectárea. Las variables se midieron tomando como fundamento lo señalado por Carrasco et al. (2011).

Manejo del experimento

El experimento se manejó en forma convencional, en consonancia con el manejo regional para el cultivo de sorgo. La preparación del suelo se realizó de manera mecánica, realizando dos pasadas de rastra para remover el suelo con el fin de que las plantas tuvieran un buen desarrollo de raíces. Para el control de malezas diez días antes de la siembra se aplicó 10 ml/L de Ácido de N- (fosfometil) glicina - isopropilamina (1:1) con aspersora de mochila de 20 L de capacidad.

La composta se elaboró en pilas utilizando estiércol bovino y paja seca molida en proporción de 3:1, se hicieron capas y se removieron, agregando agua hasta alcanzar una humedad aproximada del 70 %. Se removió el abono cada ocho días agregando agua en casos necesarios, hasta llegar a su madurez aproximadamente a los setenta días. Al momento de su utilización, se retiró la parte superficial de la composta y se tomaron diez submuestras de 200 g cada una a una profundidad entre 20 y 30 cm; posteriormente las submuestras colectadas se homogenizaron para formar una muestra compuesta. La caracterización se realizó por triplicado de acuerdo al Manual Técnicas de caracterización de suelos y abonos orgánicos (García y Félix, 2014) y se muestra en la Tabla 1. La enmienda se esparció homogéneamente y se incorporó al suelo en forma manual de acuerdo a los tratamientos correspondientes. Para el tratamiento de 10 t/ha⁻¹ se utilizaron 50 kg de composta por parcela experimental, con un total de 200 kg para las cuatro repeticiones; el tratamiento de 20 t/ha⁻¹ utilizó 100 kg de composta por parcela experimental, con un total de 400 kg para las cuatro repeticiones; y para el tratamiento de 30 t/ha⁻¹ se requirieron de 600 kg de composta

en total, utilizando 150 kg por parcela experimental. En total se aplicaron 1 200 kg de composta en el área de estudio.

Tabla 1. Parámetros químicos y físicos de la composta

Determinación	Método	Resultado
pH (1:2)	Medido en agua	6,84
Conductividad eléctrica (dS.m ⁻¹)	Conductímetro	4,77
Materia orgánica (%)	Walkley y Black	64,75
Humedad (%)	Gravimétrico	29,1
Cenizas (%)	Secado Estufa de Vacío	35,25
Carbono orgánico (%)	Walkley y Black	37,56
Relación C/N	Combustión seca	18,93
Nitrógeno (%)	Kjeldahl	1,984
Fosforo (%)	Olsen	1,04
Potasio (%)	Acetato de amonio	2,53
Sodio (%)	Acetato de amonio	0,75
Calcio (%)	Acetato de amonio	3,18
Magnesio (%)	Acetato de amonio	0,97
Cobre (mg/kg ⁻¹)	Absorción Atómica	24
Manganeso (mg/kg ⁻¹)	Absorción Atómica	237
Fierro (mg/kg ⁻¹)	Absorción Atómica	7,329
Zinc (mg/kg ⁻¹)	Absorción Atómica	53

El material genético utilizado fue *S. bicolor* (variedad Fortuna® Semillas Híbridas Zarco S. P. R de R. L.) con características de porte erecto; se adapta bien a la región, es una variedad doble propósito granos/forraje, ciclo biológico intermedio, tipo de panoja semiabierto, sus semillas son pequeñas de color blanco cremoso. La altura de planta es de 1,80 a 2,30 m y la madurez fisiológica ocurre a los 120 días.

La siembra se realizó de forma manual colocando en promedio cinco semillas por punto a una distancia de 20 cm entre puntos, y 60 cm entre hileras obteniendo nueve filas por tratamiento, con un total de 450 puntos por parcela. La densidad de siembra fue de aproximadamente 416 000 plantas/ha⁻¹.

Se utilizó la fórmula de fertilización convencional para el cultivo de sorgo en la región que consiste en 120-60-00 (N-P-K), como fuentes de nutrientes se usaron la urea y el fosfato diamónico (DAP). La aplicación de nutrientes se realizó en una sola oportunidad a los cincuenta días después de la siembra; se utilizó 130 kg/ha⁻¹ de fosfato diamónico (DAP) y 210 kg/ha⁻¹ de urea, colocando tres gramos por punto de siembra. Se realizó una aplicación de biofertilizante foliar (lixiviado de lombriz) 0,250 ml/L de agua, producido en el módulo de lombricomposta del CUTT San Ramón.

La aplicación se realizó a los treinta días con mochila aspersora de 20 L de capacidad.

A los quince días se controlaron las malezas en forma manual y a los 34 días se aplicó 12,5 ml/L de herbicida Paraquat (Dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo) con mochila aspersora de 20 L para el control de las especies coquillo (*Cyperus rotundus* L.), zacate estrella (*Cynodon plectostachyus* K. Schum.), zacate borrego [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.], zacate johnson [*Johnson halepense* (L.) Pers.], flor amarilla (*Melampodium divaricatum* L. C. Rich. DC) y puyu [*Ipomoea tiliacea* (L.) Roth.].

Durante el desarrollo del cultivo se presentaron las plagas: gallina ciega (*Phyllophaga spp coleoptera: scarabaeoidea*), gusano alambre (*Agriotes spp Agriotes obscurus* L.A.), gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith.), gusano barrenador de la caña de azúcar (*Diatraea considerata* Heinrich.) y diabroticas (*Diabrotica balteata* Le Conte), por lo que se realizó la aplicación de insecticidas para su manejo. Se utilizó Semevin® (Dimetil N, N-[tio bis(metil imino) carbonilo] bis (etanimidotioato)) para tratar las semillas utilizando 0,25 L/ha⁻¹. Se aplicó cipermetrina a los diez días, con una dosis de 0,5 ml/L con mochila aspersora de 20 L para combatir plagas del suelo. A los 34 días se aplicó Palgus® (Spinetoram: mezcla de Spinosyn J y Spinosyn L) a una dosis de 0,375 ml/L con mochila aspersora de 20 L.

Para la realización de la cosecha se consideraron diferentes características: cuando el grano presentó un rango de 14 a 16 % de humedad aproximadamente, cuando los granos del tercio inferior de la panoja truenan al morderse y cuando al apretar la panoja de abajo hacia arriba los granos se sueltan con facilidad. Después de la evaluación de los puntos anteriores se efectuó la cosecha manualmente a los 112 días y se cortó planta completa (tallos, hojas, panoja).

Análisis estadístico

Los valores de las variables colectadas se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de acuerdo al modelo utilizado (completamente al azar), con el fin de determinar diferencias estadísticas por efecto de tratamientos. Además, se corrió la prueba de rango múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) para determinar los mejores tratamientos. Para el análisis de datos se utilizó el programa estadístico Statistical Package for Social Sciences (SPSS) Versión 19 (Bryman y Cramer, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fertilidad del suelo

Los resultados del análisis químico del suelo se muestran en el Tabla 2. El pH indica un suelo fuertemente ácido, que determina la baja disponibilidad de nutrientes como el fósforo, potasio, zinc, calcio y magnesio intercambiables. Esto afecta la fertilidad del suelo, la nutrición de los cultivos y la salud del ser humano. López et al. (2019) caracterizaron los suelos cultivados con maíz del municipio de Villaflores, Chiapas, y reportan valores promedios de pH de 5,2, lo que indica una acidez generalizada de los suelos. La degradación del suelo en el área experimental, sitio representativo del marco de referencia, justifica la introducción de prácticas para su manejo sostenible, como es el uso de abonos orgánicos que contribuyen a mitigarlo. El contenido de materia orgánica resultó ser bajo, y en conjunto con el porcentaje de arcillas encontradas, ocasiona que el suelo tenga baja capacidad de retención de humedad y de nutrientes, por lo que la CIC es baja. También la cantidad de organismos puede ser mínima ante la falta de nutrientes y energía que la materia orgánica aporta. Incorporar materia orgánica a los suelos agrícolas es fundamental, ya que esto contribuye a incrementar los rendimientos de los cultivos y favorecer la sostenibilidad de los agroecosistemas (García de Salamone, 2011). Los niveles de N y K son bajos, lo que sugiere cierto grado de degradación en el suelo del sitio experimental. De manera similar, los contenidos de las bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) también presentan valores bajos; en este último caso, al ser menor de 15 meq/100 g, es indicativo de baja fertilidad del suelo (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2002; Molina y Meléndez, 2002).

Los bajos contenidos de nutrientes en los suelos agrícolas de la región de estudio son producto del manejo al que han estado sometidos durante más de cuatro décadas, en donde la mecanización, el monocultivo, el uso sistemático de insumos de síntesis artificial y las semillas mejoradas han fundamentado el crecimiento y desarrollo de los cultivos básicos, principalmente para maíz (Aguilar Jiménez et al., 2017). Además de la degradación química determinada (Tabla 2), los suelos presentan una capa de arado en los primeros 10 a 15 cm. López et al. (2018) señalan que la compactación de los suelos en la región de la Frailesca Chiapas se debe principalmente al laboreo intensivo con maquinaria agrícola y al bajo contenido de materia orgánica.

Tabla 2. Caracterización física y química del suelo del área experimental en el CUTT San Ramón, Villaflores Chiapas

Determinación	Método	Resultado
pH (relación agua suelo 1:2,5)	(CaCO ₂)	4,02
Materia orgánica (Walkley y Black) (%)	Walkley y Black	1,41
N total (%)	Kjeldahl	0,07
P (Olsen ppm)	Olsen	11,0
K (meq/100 g)	Acetato de amonio	0,3
Ca (meq/100 g)	Acetato de amonio	2,0
Mg (meq/100 g)	Acetato de amonio	0,5
Na (meq/100 g)	Acetato de amonio	1,0
CIC (meq/100 g)	Acetato de amonio	8,3
N-NO ₃ (ppm)	Arrastre de vapor	28
N-NO ₄ (ppm)	Arrastre de vapor	20
Fe (ppm)	ácido dietilén triamino pentaacético	104
Zn (ppm)	ácido dietilén triamino pentaacético	1,0
B (ppm)	Arrastre de vapor	0,05
Arena (%)	Hidrómetro de Bouyoucos	55
Limo (%)	Hidrómetro de Bouyoucos	19
Arcilla (%)	Hidrómetro de Bouyoucos	26
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos	Franco arcilloso-arenoso

Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002).

Variables agronómicas

La altura de planta con y sin panoja presentó diferencias significativas en los tratamientos con composta en comparación con el testigo (Tabla 3), las dosis de 20 y 30 t/ha⁻¹ mostraron mayores alturas, lo que señala un efecto positivo de las dosis más altas de enmienda orgánica sobre el crecimiento del cultivo de sorgo e indicaría una mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La altura de la planta es un parámetro importante que está determinado por la elongación del tallo al acumular en su interior los nutrientes producidos durante la fotosíntesis bajo condiciones ecológicas adecuadas, y constituye un indicador determinante en el volumen total de producción de forraje para la ganadería tropical (Maya et al., 2005). Williams-Alanís y Arcos-Cavazos (2015) reportan una correlación positiva entre altura de planta y rendimiento; sin embargo, se debe tener en cuenta que alturas muy elongadas pueden predisponer a las plantas al acame por los

fuerentes vientos que típicamente azotan en el sur de México. Por ello, es también importante tener un grosor de tallo robusto, para vigorizar a las plantas y contribuir con el volumen total de producción de forraje. Así se verificó en esta investigación, que evidenció que los tratamientos con dosis altas de la composta mostraron los mayores grosores de tallo y fueron estadísticamente superiores (Tabla 3).

La longitud y el peso de panoja resultaron estadísticamente superiores en las tres dosis de composta en comparación con el testigo; resultados similares son reportados por Díaz Fanco et al. (2016) al evaluar el efecto de la gallinaza sobre la producción de sorgo variedad "Candy". Lo anterior señala los efectos positivos del uso de las enmiendas orgánicas en el incremento de la producción de forraje de sorgo, en coincidencia con lo señalado por Fortis-Hernández et al. (2009).

La floración y madurez fisiológica del cultivo se presentó con menor número de días en los tratamientos con el uso de las tres dosis de composta y se observó una más rápida floración con las dosis de 20 y 30 t/ha⁻¹, reduciéndose aproximadamente en un 6 y 8 % respectivamente en comparación con el testigo (Tabla 3). Espinosa-Paz et al. (2016), al evaluar la misma variedad de sorgo (fortuna) en la Depresión Central de Chiapas (que abarca la región donde se realizó la presente investigación), reportan la floración a los 77 días. Esto indica que con el uso de enmiendas orgánicas se puede adelantar hasta en diez días la floración del cultivo. La madurez determina la duración del período del llenado de grano y su acumulación de biomasa, que finalmente se traduce en el rendimiento de grano del sorgo (Montes et al., 2013). Por lo tanto, la respuesta fisiológica del cultivo a la incorporación de la composta en suelos agrícolas degradados fue positiva, resultados similares son reportados por Osuna-Ceja et al. (2015).

En la Tabla 4 se muestran los componentes del rendimiento del sorgo. Para las variables de granos por planta y el peso de mil granos, los tratamientos de incorporación de 20 y 30 t/ha⁻¹ de composta fueron superiores estadísticamente en comparación con el testigo y contribuyeron con el incremento del volumen total de rendimiento de biomasa y de grano (Ezeaku y Mohammed, 2006). El peso de biomasa fresca por m² resultó 17 % superior al aplicar 20 y 30 t/ha⁻¹ de composta con relación al control y a la dosis de 10 t/ha⁻¹, lo que nos indica que el uso de la composta a una dosis superior a 20 t/ha⁻¹ contribuye con una mayor cosecha de biomasa total.

Desde el punto de vista de producción de forraje, el tallo es el componente más importante porque representa hasta el 70 % de la biomasa total de la planta (Montes et al., 2013). Los resultados de biomasa fresca obtenidos en las dosis de 10, 20 y 30 t/ha⁻¹ de composta fueron 46,3, 51,7 y 53,2 t/ha⁻¹ respectivamente. Díaz-Fanco et al. (2016) reportan volúmenes de hasta 57 t/ha⁻¹ de biomasa verde en sistemas manejados con abonos orgánicos y micorriza arbusculares bajo condiciones de riego en Tamaulipas, México (25° 57' 54" N, 98° 01' 05" O, 25 m s. n. m.). Osuna-Ceja et al. (2015), al evaluar el efecto de la incorporación de 10 y 20 t/ha⁻¹ de estiércol bovino, encontraron rendimientos de 30 t/ha⁻¹ y 33,91 t/ha⁻¹ de biomasa verde respectivamente en cultivos forrajeros de maíz, garbanzo y sorgo, los cuales fueron superiores al tratamiento testigo (20,62 t/ha⁻¹).

Finalmente, el rendimiento de grano de sorgo fue superior estadísticamente en los tratamientos con incorporación de 20 y 30 t/ha⁻¹ de composta, con lo anterior se demuestra que, para incrementar la producción de grano de este cereal, en aproximadamente 16 % en las condiciones de estudio de la región Frailesca, se requiere utilizar

Tabla 3. Efecto de la incorporación de la composta en las variables vegetativas del cultivo de sorgo

t/ha ⁻¹	Altura de planta sin panoja (m)	Altura de planta con panoja (m)	Grosor de tallo (cm)	Longitud de panoja (cm)	Peso de panoja (g)	Días a floración	Madurez fisiológica (Días)
0	1,83 ± 0,05 b	2,05 ± 0,07 b	1,25 ± 0,02 b	22,50 ± 1,29 c	47,06 ± 0,17 c	75,25 ± 1,25 a	94,75 ± 0,95 a
10	1,90 ± 0,04 ab	2,14 ± 0,04 ab	1,27 ± 0,01 ab	23,75 ± 1,50 b	47,51 ± 0,20 b	71,50 ± 1,00 b	91,50 ± 0,57 b
20	1,95 ± 0,05 a	2,22 ± 0,05 a	1,29 ± 0,01 a	26,00 ± 0,00 a	48,01 ± 0,40 a	70,50 ± 1,29 bc	89,25 ± 1,70 bc
30	1,96 ± 0,04 a	2,23 ± 0,04 a	1,30 ± 0,01 a	26,50 ± 1,29 a	48,12 ± 0,25 a	68,75 ± 0,95 c	88,00 ± 0,81 c
<i>P-Valor</i>	0,002*	0,001**	0,013*	0,001**	0,005*	0,000**	0,000**
<i>C.V. (%)</i>	3,52	3,71	1,95	8,06	1,04	3,70	3,10

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa, según la prueba de Tukey ($p < 0,05$). * Diferencias significativas, ** Diferencias altamente significativas.

Tabla 4. Efecto de las diferentes dosis de composta en los componentes de rendimiento de sorgo

t/ha ⁻¹	Peso de granos por planta (g)	Peso de mil granos (g)	Peso de biomasa fresca (kg/m ²)	Rendimiento de grano (t/ha ⁻¹)
0	29,74 ± 0,26 b	32,97 ± 0,27 b	4,45 ± 0,25 b	5,79 ± 0,10 b
10	30,09 ± 0,17 ab	33,06 ± 0,25 ab	4,63 ± 0,23 b	6,05 ± 0,15 b
20	30,70 ± 0,58 a	33,44 ± 0,23 ab	5,17 ± 0,32 a	6,43 ± 0,26 a
30	30,77 ± 0,33 a	33,51 ± 0,16 a	5,32 ± 0,05 a	6,43 ± 0,05 a
<i>P-Valor</i>	0,005*	0,015*	0,000**	0,000**
C. V. (%)	1,81	0,96	8,79	5,1

Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa, según la prueba de Tukey ($p < 0,05$). * Diferencias significativas, ** Diferencias altamente significativas.

las dosis altas de abono orgánico. Debido a que la elaboración de la composta y su incorporación requieren de recursos y tiempo de los agricultores, la dosis de 20 t/ha⁻¹ es la más recomendable para esta región ya que demostró un rendimiento de grano estadísticamente similar a la de 30 t/ha⁻¹ en la presente investigación.

López-Martínez et al. (2001) concluyen que las dosis de 20 y 30 t/ha⁻¹ de composta constituyen una alternativa para sustituir la fertilización inorgánica en el cultivo de maíz. Grageda-Cabrera et al. (2012) señalan que uno de los beneficios de los biofertilizantes es el incremento del rendimiento de los cultivos y, como se ha demostrado, la mayoría de los cultivos de cereales tropicales manifiesta una respuesta positiva a la aplicación de abonos orgánicos. Esta respuesta se evidencia particularmente en suelos sometidos a cultivo intenso, en donde este recurso aporta casi todos los nutrientes que las plantas necesitan, en contraste con la fertilización sintética de reacción inmediata que no favorece al suelo. Aunque los abonos orgánicos contienen menos nutrientes, la disponibilidad de estos es constante (de liberación lenta) para las plantas por la mineralización gradual a la que están sometidos (Carvajal y Mera, 2010). El efecto positivo de la composta en el rendimiento de grano de cereales puede relacionarse con la estimulación de la actividad fosfatasa ácida y alcalina del suelo y la colonización de micorrizas nativas (Cerrato et al., 2007).

Un aspecto fundamental que debe analizarse cuando se incorporan abonos orgánicos a los suelos agrícolas pobres en materia orgánica son los beneficios que las enmiendas orgánicas aportan sobre el sistema en el corto plazo, evidenciándose este efecto de forma rápida en el incremento de la productividad de los cultivos. A mediano y largo plazo contribuirán a restaurar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos en los siguientes ciclos agrícolas,

contribuyendo de manera determinante con su rehabilitación y manejo ecológico (Carter et al., 2004). Se destacan como beneficios agronómicos de la incorporación de la materia orgánica a través de los abonos orgánicos, la mejora de la velocidad de infiltración y la retención de agua en el suelo (Oldfield et al., 2018), se beneficia el pH, se incrementa la CIC y se liberan de forma gradual nutrientes a través de los procesos de descomposición y mineralización (Román, Martínez y Pantoja, 2013). Además, la materia orgánica incrementa la actividad y cantidad de biomasa microbiana del suelo (Zapata-Hernández et al., 2020), reduciendo el riesgo de desarrollo de enfermedades en las plantas (Eghball et al., 2004).

CONCLUSIONES

Las variables agronómicas del cultivo, altura de planta con y sin panoja, grosor de tallo, longitud de panoja, peso de panoja, peso de grano por planta y peso de mil granos, se incrementaron por efecto de la incorporación de la composta a las mayores dosis. La mayor producción de grano y forraje de sorgo se cuantificó con la dosis de 20 y 30 t/ha⁻¹ y la menor producción con el tratamiento testigo. La dosis de 20 t/ha⁻¹ reportó rendimientos similares a los observados con la incorporación de 30 t/ha⁻¹ y resultó la dosis más pertinente para las condiciones de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Jiménez, C. E., Galdámez, G. J., Martínez Aguilar, F. B., Guevara Hernández, F., Vázquez Solís, H. y Llaven Martínez, J. (2019). Eficiencia del policultivo maíz-frijol-calabaza bajo manejo orgánico en la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 64-72.

- Aguilar Jiménez, C. E., Morales Cabrera, J. A., Galdámez, J., Gutiérrez Martínez, A. y Martínez Aguilar, F. B. (2017). *Prácticas agroecológicas para la agricultura sostenible en la Depresión Central de Chiapas*. Universidad Autónoma de Chiapas. <https://isbnmexico.indautor.cerlalc.org/catalogo.php?mode=detalle&nt=240598>
- Bryman, A. y Cramer, D. (2011). *Quantitative Data Analysis with IBM SPSS 17, 18 & 19: A Guide for Social Scientists* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203180990>
- Camacho, F., Uribe Lorío, L., Newcomer, Q., Masters, K. y Kinyua, M. (2018). Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 330-341. <http://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2163>
- Carrasco, N., Zamora, M. y Melin, A. (Eds.) (2011). *Manual de Sorgo*. Ediciones INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_sorgo_renglon_191.pdf
- Carter, M. R., Sanderson, J. B. y MacLeod, J. A. (2004). Influence of compost on the physical properties and organic matter fractions of a fine sandy loam throughout the cycle of a potato rotation. *Canadian journal of soil science*, 84(2), 211-218. <http://doi.org/10.4141/S03-058>
- Carvajal, M. J. y Mera, A. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción limpia*, 5(2), 77-96. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v5n2/v5n2a07.pdf>
- Cerrato, M. E., Leblanc, H. A. y Kameko, C. (2007). Potencial de mineralización de nitrógeno de Bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Tierra Tropical*, 3(2), 183-197.
- Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo (CONAFOR-UACH). (2013). *Línea base nacional de degradación de tierras y desertificación*. Comisión Nacional Forestal y Universidad Autónoma Chapingo.
- Díaz Fanco, A., Espinosa Ramírez, M. y Ortiz Cháirez, F. E. (2016). Promoción de biomasa y contenido de azúcares en sorgo dulce mediante abonos orgánicos y micorriza arbuscular. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 353-360. <http://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.09>
- Eghball, B., Ginting, D. y Gilley, J. E. (2004). Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy journal*, 96(2), 442-447. <https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/14>
- Espinosa-Paz, N., Montes-García, N., Espinosa, H. y Martínez, S. (2016). *Tecnología de producción de sorgo dulce (Sorghum bicolor L. Moench) para la producción de bioetanol en la Depresión Central de Chiapas*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. https://isbnmexico.indautor.cerlalc.org/catalogo.php?mode=busqueda_menu&id_autor=133007
- Ezeaku, I. E. y Mohammed, S. G. (2006). Character association and path analysis in grain sorghum. *African Journal of Biotechnology*, 5(14), 1337-1340. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/43104>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). Datos sobre alimentación y agricultura. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J. A., Preciado-Rangel, P., Orón-Castillo, I., García-Salazar, J. A., García-Hernández, J. L. y Orozco-Vidal, J. A. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 329-336. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57313040007.pdf>
- García de Salamone, I. E. (2011). Microorganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. *Revista Argentina de Microbiología*, 43(1), 1-3. <https://www.redalyc.org/pdf/2130/213019226001.pdf>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5.ª ed.) Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, F., Gil, P. y Carrillo, A. (2009). Caracterización y calidad de un abono orgánico fermentado aof preparado con residuos del proceso de industrialización de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 1(1), 67-81. <https://doi.org/10.22335/rlct.v1i1.35>
- García, C. y Félix, H. J. A. (2014). *Técnicas de caracterización de suelos y abonos orgánicos*. Fundación Produce Sinaloa A. C.
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J. y Vera-Núñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i6.1376>
- López, W., Reynoso, R., López, J., Camas, R. y Tasistro, A. (2018). Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 65-79. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.848>
- López, W., Reynoso, R., López, J., Villar, B., Camas, R. y García, J. O. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 897-910. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- López-Martínez, J. D., Díaz-Estrada, A., Martínez-Rubín, E. y Valdez-Cepeda, R. D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*,

- 19(4), 293-299. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319401>
- Mallavia, A. H. y Martínez, B. P. (2007). *Toma de muestras de suelos. Manual práctico*. Centro de Investigación y Formación Agrarias (CIFA), Gobierno de Cantabria, España.
- Martínez Aguilar, F. B., Guevara Hernández, F., Aguilar Jiménez, C. E., Rodríguez Larramendi, L. A., Reyes Sosa, M. B. y La O Arias, M. A. (2020a). Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en La Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 871-881. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.793>
- Martínez Aguilar, F. B., Guevara Hernández, F., La O Arias, A. M., Rodríguez Larramendi, L. A., Pinto Ruiz, R. y Aguilar Jiménez, C. E. (2020b). Caracterización de productores de maíz e indicadores de sustentabilidad en Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(5), 1031-1042. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2189>
- Maya, G. E., Durán, C. V. y Ararat, J. E. (2005). Altura, disponibilidad de forraje y relación hoja-tallo del pasto estrella solo y asociado con leucaena. *Acta Agronómica*, 54(2), 37-42. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/111/243
- Molina, E. y Meléndez, G. (2002). *Tabla de interpretación de análisis de suelos*. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.
- Montes, N., Vargas, E., Salinas, J., Espinosa, M. y Loredó, R. (2013). *Tecnología de producción de sorgo dulce para la elaboración de bioetanol en Tamaulipas*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Tamaulipas, México.
- Nicholls, C. y Altieri, M. A. (2020). Caminos para la amplificación de la agroecología. *Agroecología*, 14(1), 41-54. <http://revista.agroecologia.net/index.php/revista-agroecologia/issue/view/2>
- Oldfield, E. E., Wood, S. A. y Bradford, M. A. (2018). Direct effects of soil organic matter on productivity mirror those observed with organic amendments. *Plant and Soil*, 423, 363-373. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3513-5>
- Osuna-Ceja, E. S., Arias-Chávez, L. E., Núñez-Hernández, G. y 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 Agrícola*, 6(8), 1743-1756. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.492>
- Román, P., Martínez, M. M. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Sandoval, M. C. y López, M. J. (2011). *Producción sustentable de sorgo de temporal con el uso de prácticas conservacionistas*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM 021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, México. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). *Anuario Estadístico de Producción Agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Tlelo-Cuautle, A. M., Taboada-Gaytán, O. R., Cruz-Hernández, J., López-Sánchez, H. y López, P. A. (2020). Efecto de la fertilización orgánica y química en el rendimiento de fruto de chile poblano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3), 283-289. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.3.238>
- Williams-Alanís, H. y Arcos-Cavazos, G. (2015). Comportamiento agronómico de híbridos y progenitores de sorgo para grano en las Huastecas. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 87-97. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16926>
- Zapata Hernández, I., Zamora-Natera, J. F., Trujillo-Tapia, M. y Ramírez-Fuentes, E. (2020). ¿La incorporación de residuos de diferentes especies de *Lupinus*, como abono verde, afecta la actividad microbiana del suelo? *Terra Latinoamericana*, 38(1), 45-56. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.501>