

Aplicación de Bocashi y Microorganismos de Montaña en el Cultivo de Maíz en Chenalhó, Chiapas Application of Bokashi and Mountain Microorganisms in Corn Cultivation in Chenalhó, Chiapas

Silvia Micaela Gómez-Núñez¹ , José David Álvarez-Solís^{1*} ,
Noe Samuel León-Martínez¹ y Yolanda del Carmen Pérez-Luna²

¹ El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Colonia María Auxiliadora. 29290 San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México; (S.M.G.N.), (J.D.A.S.), (N.S.L.M.).

* Autor para correspondencia: dalvarez@ecosur.mx

² Universidad Politécnica de Chiapas. Carretera Tuxtla-Villaflores km 1.5, Colonia Las Brisas. 29150 Suchiapa, Chiapas, México; (Y.C.P.L.).

RESUMEN

Los abonos orgánicos y biofertilizantes microbianos se han posicionado como alternativas agroecológicas con potencial para mejorar la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de la producción de alimentos, su uso reduce la dependencia de insumos externos y contribuye a la salud ambiental. El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de microorganismos de montaña (MM) y abono orgánico Bocashi (B) sobre la fertilidad del suelo, crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en siembra de tornamil (nov 2023-junio 2024) en la comunidad Campo Los Toros, Chenalhó, Chiapas. Cuatro tratamientos se evaluaron: T1 (testigo), T2 (MM), T3 (Bocashi) y T4 (MM+Bocashi) con un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones. El tratamiento MM consistió en un consorcio de bacterias, hongos y actinomicetos preparado con la técnica de reproducción y activación; se aplicó diluido al 50% con agua mediante aspersión al suelo cerca del tallo de la planta, con una dosis de 3 L 120 m⁻² cada 15 días hasta los 120 días después de la siembra. El Bocashi se elaboró con materiales orgánicos disponibles en la comunidad y se aplicó en la siembra con una dosis de 500 g mata⁻¹. El crecimiento del maíz en altura, diámetro de tallo y número de hojas durante el periodo vegetativo no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($P \geq 0.05$). El contenido de C-biomasa microbiana fue 172.8% más alto con MM que el testigo ($P \leq 0.05$). El fósforo disponible (Olsen) y el porcentaje de colonización micorrícica fueron 153.0 y 126.7% más altos con MM+B que el testigo. El rendimiento de grano fue 82.4% mayor con Bocashi que en los otros tratamientos. Por lo tanto, Bocashi mostró ser una práctica agrícola prometedora con potencial para incrementar el rendimiento del grano de maíz.

Palabras clave: biofertilizante, fertilidad del suelo, tornamil.

SUMMARY

Organic manures and microbial biofertilizers have been positioned as agroecological alternatives with potential to improve soil fertility and food production sustainability, whose use reduces dependence on external inputs and contributes to environmental health. The objective of the present work is to evaluate the effect of mountain microorganisms (MM) and Bokashi (B) organic manure on soil fertility, growth and yield of corn crop in tornamil sowing (Nov 2023-June 2024) in the community of Campo Los Toros, Chenalhó, Chiapas. Four treatments were evaluated: T1 (control), T2 (MM), T3 (Bokashi) and T4 (MM+Bokashi) with a randomized block design with five replications. The MM treatment consisted of a consortium of bacteria, fungi and actinomycetes prepared with the reproduction and activation techniques



Cita recomendada:

Gómez-Núñez, S. M., Álvarez-Solís, J. D., León-Martínez, N. S., & Pérez-Luna, Y. C. (2025). Aplicación de Bocashi y Microorganismos de Montaña en el Cultivo de Maíz en Chenalhó, Chiapas. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-10. e2140. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2140>

Recibido: 31 de octubre de 2024.

Aceptado: 6 de marzo de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Agosto de 2025.

Editor de Sección:

Dr. Virginia Mercedes Pesce

Editor Técnico:

Dr. Fermín Pascual Ramírez



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

and applied diluted to 50% with water by spraying soil near the plant stem, with a dose of 3 L 120 m⁻², every 15 days until 120 days after planting. Bokashi was made with organic materials available in the community and applied at planting with a dose of 500 g mata⁻¹. The corn growth in height, stem diameter and number of leaves during the vegetative period did not show significant differences among treatments ($P \geq 0.05$). The microbial C-biomass content was 172.8% higher with MM than the control ($P \leq 0.05$). Available phosphorus (Olsen) and mycorrhizal colonization percentage were 153.0 and 126.7% higher with MM+B treatment than the control. Grain yield was 82.4% higher with Bokashi than in the other treatments. Therefore, Bokashi proved to be a promising agricultural practice with potential to increase corn grain yield.

Index words: biofertilizer, soil fertility, tornamil.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la mayor parte de la producción agrícola depende del uso de fertilizantes sintéticos como urea y fosfato diamónico, lo que eleva los costos de producción (Bernardino *et al.*, 2022). La alta intensidad de uso y el manejo inadecuado de estos fertilizantes provocan acidificación, desequilibrios de la actividad microbiana y pérdida de la fertilidad del suelo, con efectos negativos en el ambiente y el rendimiento del cultivo (Sahu, Kumar, Mariappan, Mishra y Kumar, 2024). Además, el cambio climático ha modificado la periodicidad e intensidad de las lluvias, heladas y granizo, lo que provoca incremento del riesgo de incidencia de plagas y enfermedades, y la pérdida de la cosecha de los cultivos (Soares y García, 2014). Ante esta situación, es crucial identificar y evaluar alternativas de manejo agroecológico para mejorar la fertilidad y la productividad del suelo, de manera sostenible en las áreas de cultivo.

Entre las opciones agroecológicas que se han propuesto para incrementar la materia orgánica y la actividad microbiana del suelo, se encuentra la aplicación de abonos orgánicos, tales como composta, bocashi y humus de lombriz, que han mostrado un efecto positivo en el rendimiento del maíz (Álvarez-Solís, Gómez, León y Gutiérrez, 2010; Méndez-Moreno, León, Gutiérrez, Rincón y Álvarez, 2012). También se ha encontrado que el uso combinado de abono orgánico y biofertilizantes comerciales, tales como *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense*, tiene un efecto positivo en la producción de biomasa aérea seca y el rendimiento de grano del maíz (Pérez-Luna, Álvarez, Mendoza, Pat y Gómez, 2012). Estos hallazgos abren la posibilidad de buscar y evaluar las estrategias y métodos de reciclamiento de los residuos agropecuarios que se encuentran disponibles en las unidades de producción, que favorezcan su uso en la elaboración de abonos orgánicos para el mejoramiento de la producción de maíz en la región.

Por otra parte, en la hojarasca en descomposición del sotobosque en áreas arboladas con poca o nula actividad agrícola se encuentran microorganismos, tales como: bacterias, hongos y actinomicetos, que han sido llamados microorganismos de montaña (MM) (Suchini, 2012; Mora-López, López, Osorio y Botero, 2023). Los MM son fundamentales para la productividad de los agroecosistemas, ya que pueden contribuir a la descomposición de residuos orgánicos, la fijación de nitrógeno y el ciclado de nutrientes. Además, podrían ayudar a controlar plagas y enfermedades mediante la liberación de compuestos químicos (Pedraza *et al.*, 2010; Di Ciocco, Sandler, Falco y Coviella, 2014). La aplicación de MM ha mostrado efectos positivos en el crecimiento de acelga y la regulación de pH, contenido de materia orgánica, nitrógeno y potasio del suelo en Popayán, Colombia (Campo-Martínez, Acosta, Morales y Alonso, 2014), así como en el crecimiento y producción de biomasa de maíz en la Región Frailesca, Chiapas (Macías-Coutiño *et al.*, 2021). La elaboración de biofertilizantes a partir de MM ha cobrado interés, ya que pueden ser utilizados como inoculantes para mejorar la actividad microbiana del suelo y promover el crecimiento de los cultivos (Di Ciocco *et al.*, 2014); además, se pueden reproducir artesanalmente para propagar cepas microbianas nativas eficientes y adaptadas a las condiciones de parcelas locales, y es una tecnología de bajo costo, viable y sostenible para la producción agrícola (Callisaya y Fernández, 2017).

El abono orgánico tipo Bocashi y los microorganismos de montaña (MM) han mostrado ser prácticas agroecológicas prometedoras para mejorar la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. Sin embargo, es importante investigar si su aplicación, de manera individual o combinada, puede optimizar los resultados en cultivos básicos como el maíz. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación edáfica de MM y abono orgánico Bocashi sobre algunas características de la fertilidad del suelo, el crecimiento y rendimiento del maíz bajo condiciones de campo en la comunidad Campo Los Toros, Chenalhó, Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Estudio

El trabajo se llevó a cabo en la comunidad Campo Los Toros, municipio de Chenalhó, ubicado en la zona cafetalera de Los Altos de Chiapas (16° 56' 33" N, 92° 35' 49" O, con una altitud media de 1460 m). El clima es semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, con precipitación media anual de 1740 mm y temperatura media anual entre 18-22 °C (Ramírez-López, Ramírez, Cortina y Castillo, 2012). El suelo corresponde a un Luvisol crómico, desarrollado sobre lutitas y areniscas del Cenozoico, con vegetación circundante de bosque mesófilo de montaña y vegetación secundaria arbustiva y herbácea (Plascencia-Vargas, González, Ramírez, Álvarez y Musálem, 2014).

Elaboración del Biofertilizante de Microorganismos de Montaña (MM)

El biofertilizante MM se elaboró en dos fases, con base en la metodología descrita por Suchini (2012). En la primera fase se preparó el inóculo madre a partir de 10 kg de hojarasca en descomposición recolectada del mantillo de un bosque maduro con árboles de encinos (*Quercus polymorpha*, *Q. rugosa* y *Q. magnoliifolia*) y vegetación arbustiva y herbácea, ubicado a 650 m de la parcela experimental (16° 56' 12.41" N, 92° 35' 49.33" O y altitud de 1590 m). La hojarasca se mezcló con 5 kg de cascabillo seco de café humedecido de manera uniforme con una mezcla de 500 g de melaza diluido en 2 L de agua, se ajustó la humedad a un 80%. Una vez obtenida la mezcla se introdujo en un barril de plástico y el material se compactó con un mazo de madera para evitar la entrada de oxígeno dentro del contenedor, posteriormente el barril se cerró de manera hermética y se dejó en fermentación durante 30 días. La segunda fase consistió en la activación de MM, para ello se tomó 500 g de la mezcla fermentada con anterioridad y se depositó en una bolsa con malla fina, como si fuera un "sobre de té", el cual se sumergió en un medio líquido constituido por una mezcla de 12 L de agua, 300 g de melaza y 125 mL de leche comercial. Por último, se dejó 5 días en reposo para su aplicación al cultivo.

Elaboración del Abono Bocashi

El abono bocashi se elaboró con base en la metodología descrita por CENTA (2011). En un contenedor plástico se mezclaron 4 L de agua, 400 g de levadura y 4 kg de melaza. Por otro lado, sobre la superficie del suelo se mezclaron de manera homogénea, en costales, tres con tierra de monte, uno con hojarasca, uno con estiércol de vaca, ¼ con carbón triturado y ¼ con ceniza; posteriormente se agregó el líquido compuesto por levadura, agua y melaza, y se ajustó la humedad al 80% con agua. Se extendió la pila de abono a una altura de 50 cm y se cubrió con plástico de color negro. La pila de abono se mezcló dos veces al día, en la mañana y en la tarde, durante los primeros 5 días, después se mezcló una vez al día durante un mes.

Características Físico-Químicas del Suelo y Biofertilizantes

Previo a la siembra, se recolectaron 15 submuestras de suelo a una profundidad de 20 cm y se formó una muestra compuesta. La muestra de suelo y de los biofertilizantes elaborados (bocashi y MM) fueron analizadas en el laboratorio de ECOSUR, siguiendo la NOM-012-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Se emplearon los métodos de fósforo (Olsen), materia orgánica (Walkley y Black), pH (con potenciómetro en una suspensión de suelo y agua destilada en proporción 1:2), N total (micro-Kjeldahl), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y potasio intercambiable, con acetato de amonio 1N a pH 7. Al suelo también se le determinó la densidad aparente (método de la probeta) y textura con hidrómetro de Bouyoucos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físico-químicas del suelo, abono bocashi (B) y microorganismos de montaña (MM).
Table 1. Physical and chemical characteristics of soil, bocashi manure and mountain microorganism (MM).

Muestra	pH [†]	MO	N	P	K	CIC	Textura	DA
		%	%	mg kg ⁻¹	- - - cmol(+) kg ⁻¹ - - -			g mL ⁻¹
Suelo	6.88	5.45	0.10	12.31	0.44	34.58	Arcilloso	1.01
Bocashi	8.01	6.96	0.94	137.32	8.44	36.78	NA	NA
MM	4.56	NA	0.11	5.28	0.87	NA	NA	NA

[†] pH = potencial de hidrógeno; MO = materia orgánica; N = nitrógeno total, P = fósforo extraíble; K = potasio intercambiable; CIC = capacidad de intercambio catiónico; DA = densidad aparente; NA = no aplica; MM = microorganismos de montaña.

[†] pH = hydrogen potential; MO = organic matter; N = total nitrogen; P = extractable phosphorus; K = exchangeable potassium; CEC = cationic exchange capacity; DA = apparent density; NA = not applicable; MM = mountain microorganisms.

Adicionalmente, al abono bocashi y al biofertilizante MM se les determinó el número de unidades formadoras de colonias de bacterias, hongos y actinomicetos mediante la técnica de dilución seriada y vaciado en placa con los medios de cultivo Agar nutritivo, Papa-dextrosa-agar y Czapex-dox, respectivamente (García y Félix, 2014). Las diluciones seriadas se realizaron en campana de flujo laminar (VECO, México), con una muestra de 10 mL de MM y otra de 10 g de abono bocashi que se diluyeron en 90 mL de solución salina estéril, a partir de las cuales se tomaron alícuotas de 1 mL y se colocaron en tubos de ensaye con 9 mL de solución salina estéril y de manera sucesiva hasta llegar a la dilución de 10^9 . La siembra se realizó en cajas de Petri con los medios de cultivo indicados con anterioridad y se mantuvieron en incubadora (Imperial II, Lab-Line Instruments, USA), a temperatura de 30 °C. Las lecturas fueron realizadas a los 2 días para bacterias, hongos, y 5 días para actinomicetos. Los datos obtenidos se muestran en el Cuadro 2.

Diseño Experimental

El experimento se estableció en el ciclo productivo de maíz de humedad residual o siembra de tornamil (noviembre 2023-junio 2024). Se empleó como material vegetal semilla nativa de maíz amarillo (*Zea mays* L. raza Olotón) que el productor seleccionó especialmente para la temporada de tornamil. Se evaluaron 4 tratamientos: T1) testigo (T), T2) microorganismos de montaña (MM), T3) abono bocashi (B), y T4) la combinación de MM + abono bocashi (MM+B), bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con 5 repeticiones. El tamaño total de la parcela fue de 120 m², cada unidad experimental tuvo una superficie de 6.4 m², la siembra de maíz se realizó con un arreglo topológico de 0.80 m entre surcos y de 0.40 m entre puntos de siembra de tres semillas de maíz. A cada punto de siembra se le consideró una mata. La aplicación del biofertilizante MM se realizó cada 15 días a una concentración del 50% del producto directamente al suelo alrededor de las raíces, para el caso del abono bocashi se hizo una aplicación al momento de la siembra de 500 g mata⁻¹. La preparación del terreno y el manejo de arvenses se realizó de acuerdo con el manejo tradicional del productor, que incluyó labranza mínima y con azadón, respectivamente. No se aplicaron fertilizantes ni herbicidas de síntesis química en ninguno de los tratamientos. Después de la siembra hubo pérdida de semillas debido a la presencia de hormigas arrieras (*Atta* spp.), por lo que se realizó una resiembra para restituir las plantas que no emergieron. En la etapa de crecimiento vegetativo hubo la presencia de gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) y de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) que afectaron el crecimiento de la planta.

Variables Evaluadas

Se realizaron mediciones del crecimiento de las plantas durante la fase vegetativa, a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds), de las siguientes variables: número de hojas expuestas, diámetro del tallo (vernier) y altura de la planta (flexómetro). Para analizar el efecto de los tratamientos sobre la fertilidad del suelo se realizó un muestreo destructivo de suelo rizosférico y raíces de las plantas a los 120 dds; en el suelo se determinó el C de la biomasa microbiana mediante la técnica de Jenkinson y Powlson (1976), así como P extraíble, materia orgánica (MO), pH, N total, CIC y K intercambiable, con base en los métodos mencionados con anterioridad de la NOM-RECENAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Por medio de la técnica de clareo y tinción de raíces (Phillips y Hayman, 1970) se determinó el porcentaje de colonización de hongos micorrícicos arbusculares. Por último, se realizó la cosecha de mazorcas a los 180 dds y se cuantificó el rendimiento de grano de tres matas por unidad experimental, con un total de 15 matas por tratamiento.

Cuadro 2. Unidades formadoras de colonias (UFC g⁻¹) de microorganismos en Bocashi y microorganismos de montaña (MM).

Table 2. Colony-forming units (UFC g⁻¹) of microorganisms in Bocashi and mountain microorganisms (MM).

Bioinsumo	Hongos	Bacterias	Actinomicetos
Abono bocashi	24 × 10 ⁵	12 × 10 ⁸	12 × 10 ⁹
Biofertilizante MM†	29 × 10 ⁶	16 × 10 ⁸	2 × 10 ⁸

† MM = microorganismos de montaña.

† MM = mountain microorganisms.

Análisis Estadístico

Con los datos obtenidos de cada variable se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el software SPSS Versión 19 (IBM SPSS Statistics, 2010) y para comparar las medias de tratamientos se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de $P \leq 0.05$. Los datos del rendimiento de grano fueron transformados mediante el logaritmo natural de $(x+1)$ para garantizar el cumplimiento del supuesto de normalidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de Fertilidad del Suelo

El suelo del área de estudio presentó características de fertilidad favorables para el cultivo de maíz, con textura arcillosa, pH ligeramente ácido y contenidos altos de MO y N total (Cuadro 1). Bajo estas condiciones, la aplicación de B y MM, solos o en combinación, no tuvo un efecto significativo sobre la MO, N total y K intercambiable del suelo ($P \geq 0.05$). Los contenidos de MO y N total se ubicaron en niveles altos en los diferentes tratamientos, con valores promedio de 6.22 y 0.35%, respectivamente (Cuadro 3). En el caso de potasio intercambiable, su concentración se ubicó en un nivel alto en MM+B ($0.75 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$) y un nivel medio en los otros tratamientos ($0.46 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$). De manera interesante, tanto la concentración de fósforo extraíble como el C-biomasa microbiana variaron con significancia estadística entre tratamientos ($P \leq 0.05$). La concentración de fósforo extraíble se ubicó en niveles altos en MM+B y B, y en niveles medios en MM y T. Por el contrario, el contenido de C-biomasa microbiana fue significativamente más alto en MM que en B y T, mientras que MM+B tuvo un lugar intermedio (Cuadro 3).

El incremento de C-biomasa microbiana en el tratamiento con la adición de MM+B puede atribuirse a la presencia de materiales orgánicos fácilmente biodegradables que aportó este abono y que posiblemente fueron utilizados por los microorganismos de montaña introducidos para la construcción de biomasa microbiana, como lo señalan Bautista-Cruz, Cruz y Rodríguez (2015). No obstante, la concentración más alta de C-biomasa microbiana se encontró en el tratamiento con la aplicación exclusiva de MM. Este resultado que podría parecer contradictorio tiene su explicación en el alto contenido de materia orgánica nativa que presentó el suelo del área experimental (6.2%) y que no varió significativamente por efecto de la aplicación del abono. De esta manera, el alto número de UFC de bacterias, actinomicetos y hongos en Bocashi y MM (Cuadro 2), se ha relacionado con la presencia de grupos microbianos funcionales encargados de la descomposición de residuos orgánicos, la fijación biológica del nitrógeno y la solubilización de fósforo (Suchini, 2012; Aguilar-Paredes et al. 2023). El incremento de la concentración de fósforo observado en el tratamiento MM+B en relación con el testigo y el que solo tuvo aplicación de MM coincide con Bautista-Cruz et al. (2015), quienes al determinar el efecto de la aplicación de Bocashi sobre algunas propiedades de suelos de terraza y valle cultivados con maíz en la región Mixteca del estado de Oaxaca, encontraron que la aplicación del abono aumentó la concentración de P disponible del suelo.

Cuadro 3. Características de fertilidad del suelo a los 120 días después de la siembra.

Table 3. Soil fertility characteristics at 120 days after planting.

Tratamiento	MO	N total	P	K	C-Bio
	%	%	mg kg ⁻¹	cmol(+) kg ⁻¹	µg g ⁻¹
Testigo	6.00 a [†]	0.32 a	8.59 b	0.47 a	849.56 b
MM	6.08 a	0.32 a	7.99 b	0.38 a	2 318.00 a
Bocashi	6.47 a	0.38 a	17.43ab	0.49 a	1 305.43 b
MM+B	6.34 a	0.36 a	21.74 a	0.75 a	1 636.96 ab
Desviación estándar	1.68	0.06	9.48	0.25	781.12

[†] Valores seguidos por la misma letra dentro de cada columna no difieren con significancia estadística entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

[†] Values followed by the same letter within each column do not differ with statistical significance from each other (Tukey's, $P \leq 0.05$).

Asimismo, es de hacer notar que el Bocashi evaluado en este trabajo presentó una concentración muy alta de fósforo (Cuadro 1), por lo que su aplicación incrementó el P del suelo a los 120 dds (Cuadro 3); no obstante, cuando se combinó Bocashi con MM hubo un ligero aumento de P que con solo Bocashi, debido posiblemente al enriquecimiento de microorganismos solubilizadores de fósforo (Cariello, Castañeda, Riobo y González, 2007; Mora-López *et al.* 2023). Esto permite destacar la importancia de los bioinsumos evaluados en la construcción de biomasa microbiana, debido al rol fundamental que ésta tiene en el reservorio lábil de nutrientes que puede ser aprovechable por la planta y restituir la fertilidad del suelo (Aguilar-Paredes *et al.*, 2023).

Crecimiento, Biomasa y Rendimiento de Maíz

El número de hojas y la altura de la planta de maíz, evaluadas a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds), no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($P \geq 0.05$). El diámetro del tallo varió significativamente entre tratamientos a los 30 dds ($P \leq 0.05$), con valores más altos en B y la combinación B+MM en relación con T (Cuadro 4). Es de hacer notar que en las dos mediciones siguientes (60 y 90 dds), las plantas de B mantuvieron la tendencia hacia un mayor diámetro de tallo en relación con los otros tratamientos. La falta de respuesta en altura y número de hojas de la planta difiere con los resultados obtenidos por Mendoza-Sánchez, Zepeda, Campeche y Payán (2017) quienes observaron una respuesta positiva del maíz a la aplicación de caldos microbianos en condiciones de invernadero; asimismo, Torres-Pérez *et al.* (2022) encontraron un efecto positivo de MM en el crecimiento de la rosa (*Rosa sp.*) en invernaderos de Zinacantán, Chiapas. Por otra parte, Macías-Coutiño *et al.* (2021) en Villaflores, Chiapas, México, encontraron que el lugar de recolecta de MM influyó significativamente en el efecto de su aplicación sobre el crecimiento y biomasa del maíz. Por lo tanto, es importante profundizar sobre las características de los microorganismos nativos que se encuentran en la capa de fermentación de la hojarasca en los sitios de recolecta, así como de las interacciones que establecen con las características edafoclimáticas y poblaciones microbianas del suelo, para favorecer el éxito de su aplicación en la promoción del crecimiento de las plantas (Campos-Martínez *et al.*, 2014).

En relación con la producción de biomasa del maíz, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el peso seco del follaje y de la raíz ($P \geq 0.05$), con valores promedio de 39.5 y 4.3 g planta⁻¹, respectivamente. Por el contrario, el porcentaje de colonización micorrícica de la raíz presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$), con valores más bajos en T que en los otros tratamientos (Figura 1). Los valores de colonización micorrícica observados con la aplicación de B y MM son mayores a lo reportado por Álvarez-Solís *et al.* (2010), quienes observaron 43% de colonización micorrícica en maíz con aplicación de abono Bocashi. Mestre *et al.* (2024) también observaron un efecto positivo de la aplicación de MM en la colonización micorrícica de lechuga (*Lactuca sativa*) con fertilización orgánica, y no obtuvieron respuesta con fertilización química, lo que sugiere la importancia de profundizar el estudio de la micorriza arbuscular en el cultivo de maíz con prácticas de manejo orgánico.

Cuadro 4. Crecimiento de planta de maíz a los 30, 60 y 90 días después de la siembra.
Table 4. Corn plant growth at 30, 60 and 90 days after planting.

Tratamiento	Número de hojas			Diámetro de tallo			Altura de planta		
	30	60	90	30	60	90	30	60	90
				----- mm -----			----- cm -----		
T	3.11 a [†]	5.32 a	7.13 a	3.41 b	7.19 a	13.37 a	6.19 a	17.94 a	38.29 a
MM	3.67 a	4.99 a	7.14 a	3.85 ab	7.51 a	13.19 a	6.01 a	18.17 a	37.61 a
B	3.69 a	5.72 a	7.60 a	4.42 a	8.40 a	15.72 a	7.10 a	20.61 a	46.26 a
MM+B	3.20 a	4.88 a	7.12 a	4.50 a	7.18 a	13.14 a	6.32 a	17.33 a	37.22 a
Desviación estándar	0.86	1.53	1.54	1.01	3.30	4.99	2.37	8.06	18.96

[†] Valores seguidos por la misma letra dentro de cada columna no difieren con significancia estadística entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

[†] Values followed by the same letter within each column do not differ with statistical significance from each other (Tukey, $P \leq 0.05$).

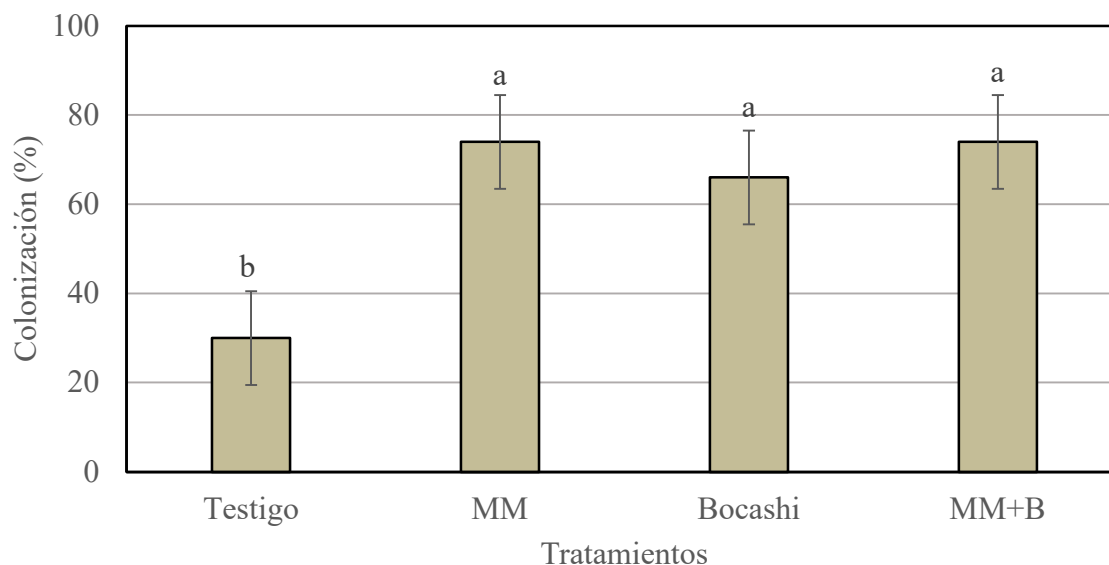


Figura 1. Porcentaje de colonización micorrízica de la raíz de maíz en los diferentes tratamientos a los 120 días después de la siembra. MM = microorganismos de montaña; MM+B = microorganismos de montaña y Bocashi. Barras seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

Figure 1. Percentage of mycorrhizal colonization of corn root in the different treatments 120 days after sowing. MM = mountain microorganisms; MM+B = mountain microorganisms and Bocashi. Bars followed by the same letter do not differ statistically from each other (Tukey's, $P \leq 0.05$).

A pesar del aumento de fósforo disponible, biomasa microbiana y colonización micorrízica observado en este trabajo, el crecimiento y producción de biomasa de la planta no respondió conforme a lo esperado. Mendoza-Sánchez *et al.* (2017) reportaron resultados similares y atribuyeron la falta de respuesta a la inmovilización de nutrientes por la biomasa microbiana y la pérdida de nutrientes por volatilización. En este estudio, las condiciones climáticas adversas pudieron haber influido, debido a la presencia de fuertes lluvias al inicio de la temporada de crecimiento, seguidas por periodos de sequía, que podrían haber provocado estrés hídrico y un efecto negativo en el desarrollo vegetativo del cultivo de maíz.

En cuanto al rendimiento de grano se encontró que el peso de grano por mata de maíz presentó diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$), con el valor más alto en el tratamiento con Bocashi (Figura 2). La conversión del peso del grano por mata a toneladas por hectárea mediante la densidad de siembra (31 250 matas ha^{-1}) mostró que B aumentó el rendimiento de grano de maíz, con un promedio de 2.70 Mg ha^{-1} , en comparación con los otros tratamientos con un promedio de 1.48 Mg ha^{-1} . Este resultado demuestra la importancia de la incorporación del abono orgánico Bocashi en la promoción del rendimiento de maíz.

La aplicación de abono orgánico tipo Bocashi, rico en materia orgánica, N, P y K (Cuadro 1), mejoró la calidad del suelo al enriquecerlo con nutrientes esenciales y contribuyó a la formación de semillas del maíz, como ha sido observado en otros trabajos (Álvarez-Solís *et al.*, 2010; Pérez-Luna *et al.*, 2012; Méndez-Moreno *et al.*, 2012). Los nutrientes aportados por el abono devienen de los materiales locales empleados en su elaboración: tierra de monte, estiércol de ganado, ceniza de fogón y hojarasca fresca y seca, que en conjunto son fuente de materia orgánica, minerales y microorganismos para restituir la fertilidad del suelo. Además, Bocashi ayudó a retener la humedad en el suelo, un factor clave en condiciones de estrés hídrico causado por sequía. Esta capacidad de retención de agua resultó beneficiosa para las plantas, mejorando el rendimiento en condiciones adversas. Sin embargo, cuando se combinó los tratamientos B y MM no hubo diferencia significativa con los tratamientos testigo y MM. Campo-Martínez *et al.* (2014) mencionan que los MM aceleran la degradación de la materia orgánica al optimizar el proceso de degradación de residuos sólidos orgánicos, por lo cual se esperaba que la combinación de estos dos tratamientos tuviera un efecto aditivo o sinérgico en el rendimiento de grano. Sin embargo, en este experimento no se manifestó dicho efecto, lo que podría atribuirse a las interacciones entre poblaciones microbianas de los tratamientos aplicados y las nativas del suelo, las condiciones específicas del sitio experimental y la presencia de plagas en el suelo (*Phillophaga* spp.) y la planta (*Spodoptera frugiperda*) que pudieron haber limitado los efectos esperados. Aunque la combinación de B y MM no produjo el resultado esperado, el uso de B por sí solo tuvo un impacto positivo en el rendimiento del cultivo de maíz, destacándose como una práctica agrícola prometedora (Pérez-Luna *et al.*, 2012; Álvarez-Solís *et al.*, 2010).

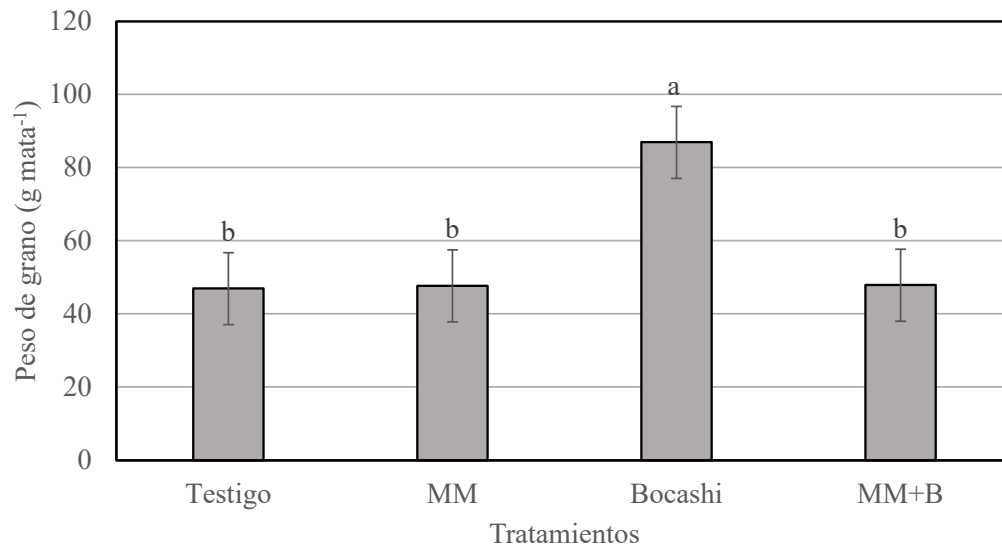


Figura 2. Peso seco de grano de maíz (g mata⁻¹) en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. MM = microorganismos de montaña, MM+B = microorganismos de montaña y Bocashi. Barras seguidas por la misma letra no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

Figure 2. Dry weight of corn grain (g mata⁻¹) in the different treatments at harvest time. MM = mountain microorganisms; MM+B = mountain microorganisms and Bocashi. Bars followed by the same letter do not differ statistically from each other (Tukey's, $P \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

La aplicación de Bocashi y microorganismos de montaña (MM) mostró efectos favorables sobre algunas características de la fertilidad del suelo, principalmente la concentración de fósforo disponible y el porcentaje de colonización micorrícica que fueron 153.0 y 126.7% más altos con MM+B, respectivamente, y el contenido de C-biomasa microbiana que fue 172.8% más alto con MM, en comparación con el testigo. Asimismo, la aplicación de Bocashi incrementó 82.4% el rendimiento de grano del maíz en relación con los otros tratamientos y el testigo. Por lo tanto, Bocashi mostró ser una práctica agrícola prometedora con potencial para incrementar el rendimiento de grano del maíz, y su aplicación combinada con MM contribuyó a mejorar la fertilidad del suelo.

Estudios adicionales son necesarios para optimizar la formulación y frecuencia de aplicación de MM para maximizar sus beneficios en el cultivo de maíz y en la salud suelo; así como para evaluar el efecto residual de Bocashi en suelo y productividad del maíz para ajustar la cantidad de abono en el siguiente ciclo de cultivo, lo que podría ayudar a fomentar su adopción y contribución a la sostenibilidad de la producción agrícola en la región.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

El trabajo contó con financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) al Proyecto PRONAH Sistemas Socio-ecológicos Sustentables en Territorios Cafetaleros del Sureste de México. Segunda Fase, PRONAH 319068.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: S.M.G.N. Metodología: J.D.A.S., N.S.L.M. y Y.C.P.L. Establecimiento del experimento y trabajo de campo: S.M.G.N. y N.S.L.M. Análisis formal: S.M.G.N. y J.D.A.S. Preparación del borrador, S.M.G.N.; revisión y edición, J.D.A.S., N.S.L.M. y Y.C.P.L.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo financiero recibido a través del proyecto PRONAH 319068 y la beca otorgada a S. M. G. N. Dos revisores(as) aportaron sugerencias valiosas que contribuyeron a mejorar el manuscrito. Al Sr. Pedro López Pérez por el apoyo otorgado para la realización del trabajo en su parcela.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Aráneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., & Nuti, M. (2023). Microbial community in the composting process and its positive impact on the soil biota in sustainable agriculture. *Agronomy*, 13(2), 542. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020542>
- 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.
- Bautista-Cruz, A., Cruz, G., & Rodríguez-Mendoza, M. N. (2015). Efecto de bocashi y fertilizantes de liberación lenta en algunas propiedades de suelos con maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 217-222.
- Bernardino, H. U., Mariaca, M. R., Nazar, B. A., Álvarez-Solís, J. D., Torres, D. A., & Herrera, P. C. (2016). Factores socioeconómicos y tecnológicos en el uso de agroquímicos en tres sistemas agrícolas en los Altos de Chiapas, México. *Interciencia*, 41(6), 382-392.
- Callisaya, Y., & Fernández, C. M. (2017). Evaluación del efecto que tienen los microorganismos eficientes (EM), en el cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus* L.), municipio de Achocalla. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica - UMSA*, 3(3), 652-666.
- Campo-Martínez, A. D. P., Acosta-Sánchez, R. L., Morales-Velasco, S., & Alonso, F. A. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (MM) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 79-87.
- Cariello, M. E., Castañeda, L., Riobo, I., & González, J. (2007). Inoculantes de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 7(3), 26-37.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). (2011). *Elaboración y uso del bocashi*. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA), San Salvador, El Salvador: FAO.
- Di Ciocco, C. A., Sandler, R. V., Falco, L. B., & Coviella, C. E. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(1), 73-85.
- García, C., & Félix, J. A. (2014). *Técnicas de caracterización de suelos y abonos orgánicos* (Primera edición). Sinaloa, México: Fundación Produce Sinaloa, A.C.
- IBM SPSS Statistics (2010). *Statistical Package for the Social Sciences User's Guide. version 19*. Armonk, NY, USA: IBM Corp.
- Jenkinson, D. S., & Powlson, D. S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 8, 209-213.
- Macías-Coutiño, P., Guevara-Hernández, F., Ruiz-Valdiviezo, V. M., Reyes-Sosa, M. B., La O- Arias, M. A., & Pinto-Ruiz, R. (2021). Efecto de tres consorcios microbianos en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 7(13), 1576-1586. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i13.11424>
- Mendoza-Sánchez, S., Zepeda-Hernández, A., Campeche-Calixto, E. G., & Payán-Zelaya, F. A. (2017). Aplicación de inóculos líquidos de microorganismos nativos en el suelo: efecto en el crecimiento de plántulas de maíz. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 161-168.
- Méndez-Moreno, O., León-Martínez, N. S., Gutiérrez-Miceli, F. A., Rincón-Rosales, R., & Álvarez-Solís, J. D. (2012). Efecto de la aplicación de humus de lombriz en el crecimiento y rendimiento de grano del cultivo de maíz. *Gayana Botánica*, 69, 49-54.
- Mestre, M. C., Fioroni, F., Heinze, L. Y., Sisón-Cáceres, L., Cardozo, A., Chillo, V., ... & Fernández, N. (2024). Efecto de biofertilizantes a base de microorganismos de montaña sobre la colonización micorrízica y el rendimiento de lechuga y zanahoria, en la Patagonia argentina. *Siembra*, 11(2), e6815.
- Mora-López, M., López-Restrepo, D. A., Osorio-Echeverri, V. M., & Botero-Botero, L. R. (2023). Levaduras aisladas de biofermentos de microorganismos de montaña, una opción para la nutrición vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3), 525-527.
- Pedraza, R. O., Teixeira, K. R., Scavino, A. F., de Salamone, I. G., Baca, B. E., Azcón, R., ... & Bonilla, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(2), 155-164.
- Pérez-Luna, Y. D. C., Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., Patt-Fernández, M., & Gómez-Álvarez, R. (2011). Influencia del humus de lombriz y biofertilizantes en el crecimiento y rendimiento de maíz. *Gayana Botánica*, 68(1), 15-22.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 22(1), 159-160.

- Plascencia-Vargas, J. H., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Álvarez-Solís, J. D., & Musálem-Castillejos, K. (2014). Características físico-bióticas de la cuenca del río Grijalva. En M. González-Espinosa & M. C. Brunel-Manse (Coords.). *Montañas, pueblos y agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva* (pp. 29-79). D. F., México: El Colegio de la Frontera Sur & Juan Pablos Editor. ISBN: 978-607-8429-01-1.
- Ramírez-López, J. M., Ramírez-Marcial, N., Cortina-Villar, H. S., & Castillo-Santiago, M. A. (2012). Déficit de leña en comunidades cafetaleras de Chenalhó, Chiapas. *Ra Ximhai*, 8(3), 27-39.
- Sahu, H., Kumar, U., Mariappan, S., Mishra, A. P., & Kumar, S. (2024). Impact of organic and inorganic farming on soil quality and crop productivity for agricultural fields: A comparative assessment. *Environmental Challenges*, 15, 100903. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100903>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021 SEMARNAT-2000 antes NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. D. F., México: SEGOB.
- Soares, D., & García, A. (2014). Percepciones campesinas indígenas acerca del cambio climático en la cuenca de Jovel, Chiapas, México. *Cuadernos de Antropología Social*, 39, 63-89.
- Suchini-Ramírez, J. G. (2012). *Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio* (1.ª ed.). Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). ISBN: 978-9977-57-559-9.
- Torres-Pérez, J. C., Aguilar-Jiménez, C. E., Vázquez-Solís, H., Solís-López, M., Gómez-Padilla, E., & Aguilar-Jiménez, J. R. (2022). Evaluación del uso de microorganismos de montaña activados en el cultivo de rosas, Zinacantán, Chiapas, México. *Siembra*, 9(1). e3500.