

Enmiendas orgánicas en las características edáficas y el rendimiento de melón

Jonás Alan Luna-Fletes^{1,§}

Oscar Raúl Mancilla-Villa¹

Elia Cruz-Crespo²

Álvaro Can-Chulím²

Oscar Germán Martínez-Rodríguez³

Rubén Darío Guevara-Gutiérrez⁴

1 Departamento de Producción Agrícola-Centro Universitario de la Costa Sur-Universidad de Guadalajara. Av. Independencia 151, Autlán de Navarro, Jalisco, México. CP. 48900. (oscar.mancilla@academicos.udg.mx).

2 Unidad Académica de Agricultura-Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, México. CP. 63780. (ccruz2006@yahoo.com.mx; canchulim@yahoo.com.mx).

3 Campo Experimental Santiago Ixcuintla-INIFAP. Carretera Internacional México-Nogales km 6, Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. CP. 63300. (ogmartinez.r@gmail.com).

4 Departamento de Ecología y Recursos Naturales-Centro Universitario de la Costa Sur-Universidad de Guadalajara. Av. Independencia 151, Autlán de Navarro, Jalisco, México. CP. 48900. (ruben.guevara@academicos.udg.mx).

Autor para correspondencia: jonas.luna@academicos.udg.mx

Resumen

Los suelos agrícolas con manejos agronómicos ineficientes pierden su capacidad para sustentar a las plantas, se considera que una estrategia es el uso de enmiendas orgánicas para mejorar las características de los suelos y la productividad de cultivos como el melón. El objetivo fue evaluar la composta (CMT) y estiércol de cabra (EDC) mezclados con *Trichoderma* sp. (Tsp) y *Bacillus subtilis* (Bs) en las propiedades fisicoquímicas y contenidos macronutrientales del suelo, y la calidad y rendimiento de melón. El experimento se realizó de diciembre del año 2023 a abril de 2024 en Tonaya, Jalisco, México. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con seis tratamientos: CMT + Tsp, CMT + Bs, EDC + Tsp, EDC + Bs, CMT y EDC y un testigo (sin enmienda). Se observó que todos los tratamientos en comparación con el testigo aumentaron los niveles de materia orgánica, capacidad de campo, porosidad, capacidad de intercambio catiónico, N, P, K, S, Ca y Mg del suelo. Los tratamientos CMT, EDC + Tsp y CMT + Tsp incrementaron la masa y tamaño de frutos con respecto al testigo, mientras que para °Brix solo el tratamiento CMT + Tsp superó al testigo. El rendimiento estimado se redujo hasta en 21% con el tratamiento EDC y en 30% con el testigo en comparación con el resto de los tratamientos. El uso de estas enmiendas es viable para mejorar la calidad de los suelos agrícolas e incrementar la calidad de frutos y rendimiento de melón.

Palabras clave:

Bacillus subtilis, *Cucumis melo* L., *Trichoderma* sp., propiedades fisicoquímicas del suelo.

[License \(open-access\)](#): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons

Introducción

Con los residuos de origen orgánico se producen abonos con altas cantidades de nutrientes y materia orgánica que se utilizan como enmiendas para mejorar los suelos agrícolas (Murillo-Montoya *et al.*, 2020). Las enmiendas orgánicas que más se estudiaron en las últimas dos décadas son las compostas, por los beneficios que le proporcionan al suelo, tales como mejorar el contenido nutrimental, reducir la erosión, incrementar la población microbiana, y mejorar la retención de agua de este, lo que favorece la producción de los cultivos (Trinidad y Velazco, 2016; Cervantes-Vázquez *et al.*, 2022).

Al respecto, Macías-Duarte *et al.* (2020) reportaron un incremento de materia orgánica de 68%, nitrógeno (NO_3) de 42% y fósforo de 26% al aplicar al suelo con cultivo de *Olea europaea* composta más paja de trigo en comparación con el testigo (sin enmienda). Otro material que puede ser una alternativa es el estiércol de cabra debido a su costo accesible, disponibilidad regional y que implica menor proceso para su aplicación.

Sin embargo, en cuanto al efecto que causa este tipo de estiércol en el suelo, y en la producción y calidad de los cultivos la información es limitada, como referencia se tienen los estudios de Cervantes-Vázquez *et al.* (2022) quienes demostraron que con la aplicación de estiércol bovino mejoraron las propiedades y contenidos nutrimentales del suelo, e incrementó la producción de *Citrullus lanatus*. Cavalcante-Ferreira *et al.* (2024), en suelo cultivado con *Aniba rosaeodora* y enmendado con biocarbón más gallinaza encontraron niveles más altos de fósforo, calcio, magnesio, zinc y manganeso con respecto al suelo sin enmienda.

Aunado a lo anterior, *Trichoderma* sp. no solo tienen la capacidad de controlar hongos fitopatógenos, sino también la de promover el crecimiento vegetal y aumentar la calidad de los suelos (Candelero *et al.*, 2015), ya que mejora la asimilación de nutrientes por los cultivos, incrementa la oferta de nutrientes en el suelo, y tienen la capacidad de liberar hormonas, estas características hacen a este microorganismo una excelente enmienda biológica (González-León *et al.*, 2023).

Los hallazgos de Romero-Cún y Loayza-Agurto (2023) en cultivo de *Musa paradisiaca* encontraron que al aplicar al suelo *Trichoderma spirale* más raquis de la misma planta picado se incrementó la altura de planta y área foliar con respecto al testigo (sin aplicación), así como el contenido de materia orgánica en suelo. Asimismo, *Bacillus subtilis* es una bacteria biocontroladora de hongos patógenos de las plantas, que se asocia endofíticamente con las raíces y tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fosfatos y producir sideróforos, lo que incrementa la producción de cultivos y mejora las características del suelo (González-León *et al.*, 2023).

El melón (*Cucumis melo* L.) por su alta producción se considera un cultivo de importancia económica en México, siendo en 2023 el principal estado productor Michoacán con 144 824 t, Jalisco posee un incremento de producción del 10% anual debido a la oportunidad de negocio que representa este cultivo en el estado (SIAP, 2023). Con base en lo mencionado anteriormente, el objetivo del estudio fue evaluar las enmiendas orgánicas composta y estiércol de cabra mezcladas con los microorganismos *Trichoderma* sp. y *Bacillus subtilis* en las características fisicoquímicas, concentraciones macronutrientales del suelo y en la calidad de frutos y rendimiento de melón.



Materiales y métodos

Características del sitio experimental

El experimento se realizó en una parcela ubicada en el Municipio de Tonaya, Jalisco, México (coordenadas geográficas 19° 52' 0" latitud norte y 103° 55' 5" longitud oeste y altitud de 778 m). El municipio presenta un clima cálido semiseco, con temperatura y precipitación anual promedio de 16.6 °C y 617.7 mm, respectivamente (IIEG, 2022). El suelo presentó textura arcillosa, 1.26 g cm⁻³ de densidad aparente, 2.65% de materia orgánica, 7.1 de pH, 0.96 dS m⁻¹ de conductividad eléctrica, 26 mg kg⁻¹ de N, 22.25 mg kg⁻¹ de P, 193.63 mg kg⁻¹ de K, 6 582.35 mg kg⁻¹ de Ca y 759.65 mg kg⁻¹ de Mg, estas determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara.

Diseño experimental y tratamientos

Se usó un diseño experimental completamente aleatorizado con seis tratamientos (composta (CMT) + *Trichoderma* sp. (Tsp), CMT + *Bacillus subtilis* (Bs), estiércol de cabra (EDC) + Tsp, EDC + Bs, CMT y EDC) y un testigo (sin enmienda). Para cada tratamiento se emplearon cuatro repeticiones, y la unidad experimental consistió en tres surcos de 20 m lineales con 50 plantas cada surco.

Características y suministro de las enmiendas orgánicas y los microorganismos promotores del crecimiento de plantas

La composta se formó a base de residuos vegetales y estiércol de bovino y caprino en proporción 2:1 v/v y el estiércol de cabra seco se recolectó directamente de un establo caprino de Autlán de Navarro, Jalisco, México. *Trichoderma* sp. (*harzianum*, *viride* y *asperellum*) se suministró con el producto comercial Trichodef[®], el cual presentó una concentración de 1 x 10¹² unidades formadoras de colonias por g y para *Bacillus subtilis* se empleó el producto Baci-Soil[®] con una concentración de ingrediente activo del 10%, ambos productos en presentación sólida.

El mismo día de la aplicación de las enmiendas se realizaron las mezclas de la composta o estiércol de cabra con *Trichoderma* sp. o *Bacillus subtilis* en función del tratamiento a razón 1000:1 v/v. Después, al suelo se le suministró una dosis 10 t ha⁻¹ de cada tratamiento, la cual se incorporó directamente en cada surco (área efectiva) con una rastra desterronadora invertida (Swissmex[®], Rotostone RSH-M105, México). Algunas propiedades químicas y los contenidos macronutrientales de las enmiendas se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades químicas y contenido macronutricional de las enmiendas orgánicas (EOR) aplicadas al suelo para la producción de melón.

EOR	pH	CE (dS m ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)					
			N	P	K	Ca	Mg	Na
CMT	7.89	2.64	980.14	169.13	3 961.9	5 826.42	1 667.9	276.2
EDC	8.84	5.24	52.48	150.61	6 750.79	5 872.44	1 698.34	2 852.05

CMT= composta; EDC= estiércol de cabra; CE= conductividad eléctrica.

Material genético y manejo del cultivo

Se utilizó semilla (con 90% de germinación) de melón híbrido súper vida de Sakata Seed[®] (tipo cantaloupe), esta se sembró en charolas de unicel de 200 cavidades (una semilla por cavidad) en invernadero, donde la temperatura mínima y máxima promedio fue de 20 y 30 °C, respectivamente, con humedad relativa promedio de 77%. Las charolas estuvieron rellenas con sustrato peat moss al 40% de humedad, este contenido de humedad se mantuvo hasta la germinación de las semillas;

posteriormente se regó a diario cada charola con 1.5 L de agua combinada con 1 g L⁻¹ de triple 17 NPK hasta el trasplante a campo (20 días después de la siembra).

Se trasplantó a una hilera una plántula por orificio del acolchado plástico blanco (calibre 90 µm) con distancia entre plantas de 0.4 m y entre surcos de 1.6 m, para una densidad de plantación de 15 625 plantas ha⁻¹. Después del trasplante se inició con la aplicación del riego y la fertilización, para esto se utilizó un sistema de fertirriego por goteo, el volumen de riego máximo fue de 40 m³ ha⁻¹ al día (en etapa de producción) y la dosis de fertilización que se empleó fue 180N, 100P, 200K, 60Ca y 20Mg, la cual se suministró con los fertilizantes nitrato de calcio, fosfato monopotásico, nitrato de potasio y sulfato de magnesio; las plantas se fertirrigaron cada dos días durante todo el ciclo del cultivo.

Variables evaluadas

Propiedades fisicoquímicas y concentraciones macronutrientales del suelo

A los 100 días después del trasplante (ddt) se colectó una muestra compuesta de suelo por repetición y tratamiento, a estas se les analizaron por triplicado las propiedades fisicoquímicas y concentraciones macronutrientales en el Laboratorio de Análisis de Suelo, Agua y Planta del Centro Universitario de la Costa Sur de la Universidad de Guadalajara empleando las metodologías de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002), los parámetros evaluados fueron: capacidad de campo (CC) (método AS-06); densidad aparente (DAP) (método AS-03); pH (método AS-02); conductividad eléctrica (CE) (método AS-18); capacidad de intercambio catiónico (CIC) (método AS-12); materia orgánica (MO) (método AS-07).

Porcentaje de sodio intercambiable (PSI) (método AS-21); N-inorgánico (N) (método AS-08); fósforo Olsen (P) (método AS-10); potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) (método AS-19); azufre (S) (método AS-20). También, se determinó la porosidad total (PT), mediante la ecuación $PT = (DRE - DAP / DRE) * 100$. Donde: DRE es la densidad real de referencia (2.65 g cm⁻³), esto de acuerdo con McPhee *et al.* (2015).

Calidad de fruto y rendimiento de melón

A los 90 ddt se recolectó una muestra al azar de 40 frutos maduros por tratamiento, a estos se les evaluó su masa de fruto (MF) con una báscula digital (Tanita®, KW-002, Japón), °Brix con un refractómetro (Hanna®, HI96801, USA), firmeza de la pulpa (FMZ) con un penetrómetro análogo (Wagner®, FT30, USA), y diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP) con una cinta métrica (Truper, México). Para obtener el rendimiento estimado, se contó el número de frutos comerciales producidos por planta, este dato se multiplicó entre sí por la masa de fruto y la cantidad de plantas ha⁻¹, el resultado se extrapola a t ha⁻¹.

Análisis estadístico

Para el análisis de todos los datos se utilizó el software estadístico Sas® (Versión 9.0 para Windows) empleando un Anova (análisis de varianza) y comparación de medias por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Propiedades fisicoquímicas del suelo

El testigo obtuvo el valor menor de CC (57.06%) y MO (2.76%) en comparación con todos los tratamientos. La PT se incrementó en mayor medida con los tratamientos CMT + Bs (57.36%), EDC + Tsp (58.49%), CMT (58.87%) y EDC (57.74%) en relación con el testigo (53.21%). La salinidad del suelo expresada en CE y PSI aumentó con la aplicación de los tratamientos EDC + Tsp, EDC + Bs y EDC con valores de 3.07 dS m⁻¹ y 2.16%, 3.3 dS m⁻¹ y 1.98%, 3.13 dS m⁻¹ y 2.31%, respectivamente, en comparación con el testigo (1.95 dS m⁻¹ y 2.31%) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de enmiendas orgánicas solas y combinadas con microorganismos promotores del crecimiento de plantas en las propiedades fisicoquímicas del suelo con cultivo de melón.

Tratamiento	CC (%)	DAP (g cm ⁻³)	PT (%)	pH	CE (dS m ⁻¹)	CIC (Meq 100 g ⁻¹)	MO (%)	PSI
CMT + Tsp	61.7a	1.17	55.85c	7.55	2.53ab	54.95 b	7.6a	1.39c
CMT + Bs	61.83a	1.13	57.36abc	7.43	2.55ab	54.49 b	7.26a	1.38c
EDC + Tsp	60.6a	1.1	58.49ab	7.69	3.07a	55.55b	6.45a	2.16ab
EDC + Bs	62.4a	1.16	56.23bc	7.4	3.3a	54.81b	5.98a	1.98ab
CMT	61.6a	1.09	58.87a	7.65	2.82ab	53.24b	7.93a	1.49bc
EDC	62.86a	1.12	57.74abc	7.67	3.13a	59.58a	8.14a	2.31a
Testigo	57.06b	1.24	53.21d	7.26	1.95b	49.99c	2.76b	1.2c
DMS	3.29	0.3	2.59	2.61	1.05	2.59	2.65	0.72
Significancia	..	ns	..	ns

Medias con letra distinta dentro de cada columna son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). ** = significancia estadística a $p \leq 0.01$; ns= no significativo; DMS= diferencia mínima significativa; CC= capacidad de campo; DAP= densidad aparente; PT= porosidad total; CE= conductividad eléctrica; CIC= capacidad de intercambio catiónico; MO= materia orgánica; PSI= porcentaje de sodio intercambiable.

El testigo obtuvo el valor menor de CIC (49.99 Meq 100 g⁻¹) con respecto a todos los tratamientos evaluados, siendo el tratamiento EDC el que obtuvo el valor más alto con 59.58 Meq 100 g⁻¹ (Cuadro 2). Estos resultados demuestran la modificación de la mayoría de las propiedades fisicoquímicas del suelo por efecto principalmente de las enmiendas orgánicas, donde se destaca el incremento de la capacidad de retención de agua (CC), la porosidad, la capacidad de intercambio catiónico y la materia orgánica esto favorece la calidad productiva de los suelos agrícolas.

El aumento de estas características en suelo se debe a que el estiércol de cabra y la composta por origen aportaron materia orgánica y cationes (Ca, Mg, K y Na) en cantidades altas. Al respecto, Trinidad y Velazco (2016); Macías-Duarte *et al.* (2020) indican que con la aplicación de compostas o estiércoles se incrementan los porcentajes de materia orgánica, con ello aumenta la estabilidad de agregados, y la cantidad de macro y microporos del suelo, lo que favorece la retención y filtración de agua.

Mientras que Guerrero-García (1996) menciona que el incremento de la CIC está influenciado en parte por el aumento de los cationes procedentes de las enmiendas orgánicas que pueden ser intercambiados entre la solución y los coloides del suelo, pero también por la actividad de sustancias húmicas de la materia orgánica que forma grandes complejos arcillo-húmicos.

Respuestas similares fueron reportadas por Macías-Duarte *et al.* (2020), quienes demostraron que con la aplicación de composta de desechos vegetales y estiércol bovino al suelo se incrementó la MO en 70% y la CIC en 27%, con respecto al testigo sin enmienda; mientras que Lagos y Huertas (2019), reportaron porosidad total más alta (70.41%) en suelo con el suministro de composta de estiércol de cuy (*Cavia porcellus*) en comparación con el testigo sin aplicación (67.17%).

Para el caso del incremento de la CE y PSI en el suelo tratado con estiércol de cabra solo o en mezcla con *Trichoderma* sp. o *Bacillus subtilis*, esto se puede atribuir a la mayor CE (5.24 dS m⁻¹) y concentración de Na (3117.34 mg kg⁻¹) del estiércol de cabra en comparación con la composta (5.24 dS m⁻¹ y 542.15 mg kg⁻¹, respectivamente) (Cuadro 1), lo que influyó en el aumento de estas características químicas del suelo.

Una de las principales desventajas del uso de estiércoles (bovino y caprino) como enmiendas orgánicas, es la elevada concentración de sales solubles que contienen y aportan, por lo tanto, el uso constante de estiércol y dosis altas de este aplicadas al suelo puede ocasionar problemas de salinización de este, lo que puede afectar la productividad de los cultivos (Trinidad y Velazco, 2016).

Concentraciones macronutrimientales del suelo

En el Cuadro 3 se observa que el tratamiento CMT incrementó la concentración de N (187.59 mg kg⁻¹) y P (185.51 mg kg⁻¹) en comparación con el resto de los tratamientos, e incluso con el testigo el cual presentó valores de 50 y 32.46 mg kg⁻¹, respectivamente. La concentración de K, S y Na fue más alta con todos los tratamientos en relación con el testigo, donde las concentraciones mayores de estos elementos las obtuvo el tratamiento EDC con 167.04, 133.16 y 321.53 mg kg⁻¹, respectivamente.

Cuadro 3. Efecto de enmiendas orgánicas solas y combinadas con microorganismos promotores del crecimiento de plantas en las concentraciones macronutrimientales del suelo con cultivo de melón.

Treatmento	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
	(mg kg ⁻¹)						
CMT + Tsp	137.59b	126.96e	897.47b	8023g	846.88g	86.15c	159.22e
CMT + Bs	133.33b	161.02b	630.8e	8795.40d	1000.66d	74.47d	173.06d
EDC + Tsp	102.84d	128.55de	493.99f	8929.92c	1036.07c	114.92b	276.14b
EDC + Bs	123.76c	147.1c	640.53d	8656.1e	1099.58b	88.53c	212.06c
CMT	187.59a	185.51a	727.54c	8119.82f	863.73f	70.77d	171.81d
EDC	95.74e	131.45d	1167.04a	9437.78a	1105.61a	133.16a	321.53a
Testigo	50f	32.46f	418.38g	9231.98b	869.29e	37.48 e	151.12f
DMS	5.18	4.43	4.44	4.92	4.4	4.32	4.71
Significancia	**	**	**	**	**	**	**

Medias con letra distinta dentro de cada columna son significativamente diferentes (Tukey $p \leq 0.05$). ** = significancia estadística a $p \leq 0.01$; DMS = diferencia mínima significativa.

Para el caso del Ca y Mg, los niveles mayores de ambos elementos con respecto al testigo (9 231.98 y 869.29 mg kg⁻¹, respectivamente) los presentó el tratamiento EDC con valores de 9 437.78 mg kg⁻¹ de Ca y 1 105.61 mg kg⁻¹ de Mg; sin embargo, el testigo superó a los tratamientos CMT + Tsp (8 023 mg kg⁻¹), CMT + Bs (8 795.4 mg kg⁻¹), EDC + Tsp (8 929.92 mg kg⁻¹), EDC + Bs (8 656.1 mg kg⁻¹) y CMT (8 119.82 mg kg⁻¹) en la concentración de Ca y a los tratamientos CMT + Tsp (846.88 mg kg⁻¹) y CMT (863.73 mg kg⁻¹) en la concentración de Mg.

El incremento de las concentraciones macronutrimientales del suelo se pueden explicar por el aporte macronutricional de las enmiendas orgánicas. Se observó una relación y tendencia de aumento entre las concentraciones macronutrimientales de los suelos tratados con enmiendas orgánicas y los contenidos nutrimentales de las mismas, ya que de acuerdo con el Cuadro 1, la CMT suministró al suelo mayor cantidad de N (980.14 mg kg⁻¹) y P (52.48 mg kg⁻¹) en comparación con el EDC (52.48 y 150.61 mg kg⁻¹, respectivamente), en cambio el EDC aportó más K (3 961.9 mg kg⁻¹), Ca (5 826.42 mg kg⁻¹), Mg (1 667.9 mg kg⁻¹) y Na (276.2 mg kg⁻¹).

Lo anterior influyó en que la CMT obtuviera niveles superiores de N y P y el EDC de K, Ca, Mg y Na en suelo. Esto coincide con el estudio de Jiménez-Ortiz *et al.* (2019), porque reportaron que con la aplicación de composta de estiércol bovino en *Zea mays* se incrementaron los niveles de N, P y K en suelo hasta en un 36% con respecto al testigo sin enmienda, lo que atribuyeron al aporte de macronutrientes por la composta.

Los microorganismos *Trichoderma* sp. y *Bacillus subtilis* decrementaron la oferta de macronutrientes disponibles del suelo, lo cual posiblemente se debió a la inmovilización nutrimental por parte de estos, ya que de acuerdo con Rincón-Castillo *et al.* (2012) conforme los microorganismos descomponen la materia orgánica contenida en las enmiendas o en el suelo, estos requieren de nutrimentos tales como el N, P, K, Ca, Mg y S en formas inorgánicas solubles para sus reacciones metabólicas y la síntesis de ácidos nucleicos, enzimas, aminoácidos y proteínas para la formación de biomasa, por lo que los nutrimentos son convertidos a formas orgánicas no solubles.

Calidad de fruto y rendimiento de melón

La masa de fruto incrementó hasta en 24% con todos los tratamientos en relación con el testigo, donde las plantas tratadas con CTM (1452 g), EDC+ Tsp (1 328.3 g) y CMT + Tsp (1 425.9 g) obtuvieron frutos con mayor masa; mientras que para °Brix, la CMT + Tsp con valor de 9.44 °Brix fue el único tratamiento que superó estadísticamente al testigo (7.86 °Brix) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de enmiendas orgánicas solas y combinadas con microorganismos promotores del crecimiento de plantas en la calidad de frutos y rendimiento de melón.

Tratamiento	MF (g)	°Brix	FMZ (kg cm ²)	DE (cm)	DP (cm)	RE (t ha ⁻¹)
CMT + Tsp	1 425.9ab	9.44a	6.33	21.58a	22.89a	69.73a
CMT + Bs	1 282.2bc	8.6ab	5.61	20.87ab	22.33ab	60.1b
EDC + Tsp	1 328.3abc	8.29ab	5.92	21.32a	23.04a	62.02ab
EDC + Bs	1 265.9c	8.93ab	5.48	20.87ab	22.27ab	59.33b
CMT	1 452a	8.53ab	5.69	21.58a	23.15a	70.27a
EDC	1 265.1c	8.78ab	6.22	21.1ab	22.5ab	55.17bc
Testigo	1 101.3d	7.86b	6.4	20.19b	21.4b	49.53c
DMS	145.2	1.17	0.96	1.1	1.33	8.87
Significancia	**	**	ns	**	**	**

Medias con letra distinta dentro de cada columna son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). ** = significancia estadística a $p \leq 0.01$; ns= no significativo; DMS= diferencia mínima significativa; MF= masa de fruto; FMZ= firmeza de la pulpa; DE= diámetro ecuatorial de fruto; DP= diámetro polar de fruto; RE= rendimiento estimado.

Las plantas tratadas con CMT, EDC + Tsp y CMT + Tsp en comparación con el testigo produjeron frutos con diámetro ecuatorial y diámetro polar más alto con valores que oscilaron de 21.32 a 23.15 cm. Para el caso del rendimiento estimado, este se redujo hasta en 21% al suministrar EDC y en 30% con el testigo con respecto al resto de los tratamientos; los rendimientos estimados mayores se obtuvieron con los tratamientos CMT (70.27 t ha⁻¹), EDC + Tsp (62.02 t ha⁻¹) y CMT + Tsp (69.73 t ha⁻¹) (Cuadro 4).

El aumento del rendimiento se relacionó directamente en la mayoría de los casos con el incremento de la masa de los frutos y la obtención de frutos con mayor masa de manera general se debe a la mejora de las características fisicoquímicas y macronutrientales del suelo que causaron las enmiendas orgánicas (CMT o EDC) solas o en mezcla con *Trichoderma* sp. o *Bacillus subtilis*, tal como explican y reportan en melón cultivado en suelo González-Salas *et al.* (2021) con la aplicación combinada de estiércol bovino y bacterias promotoras del crecimiento.

Además, estos resultados corroboran el efecto benéfico de *Trichoderma* sp. y *Bacillus subtilis* en el rendimiento, lo cual se puede atribuir a que estos microorganismos promueven el crecimiento de plantas y frutos por la síntesis de fitohormonas, solubilizan nutrientes y compuestos orgánicos, producen metabolitos secundarios y controlan hongos fitopatógenos, esto incrementa la producción y calidad de los cultivos, tal como señalan Barbosa-Santos *et al.* (2020).

Resultados que concuerdan con los obtenidos por Cantú-Nava *et al.* (2021), porque encontraron un incremento en el rendimiento de *Carya illinoensis* de 27.7% con la aplicación de *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Trichoderma harzianum* en comparación con el testigo sin inóculos.

También, cabe destacar que el rendimiento estimado que se obtuvo con los tratamientos experimentales superó hasta 2.14 veces al rendimiento medio registrado en México en el año 2023, el cual fue de 32.82 t ha⁻¹ (SIAP, 2023), esto posiblemente se debió a la alta densidad de plantación (15 625 plantas ha⁻¹) analizada en esta investigación.

De acuerdo con Monge-Pérez y Loría-Coto (2017), los °Brix están estrechamente relacionados con el sabor y dulzor de los melones; por lo tanto, para que los frutos de melón sean considerados de calidad comercial, estos deben contener de 9 a 12 °Brix. Con esto se deduce que la CMT + Tsp fue el único tratamiento que produjo frutos con calidad comercial aceptable al obtener un valor medio dentro del rango de °Brix óptimo.

Los resultados no óptimos de °Brix obtenidos con los demás tratamientos se pueden explicar por un posible retraso en la maduración de frutos, ya que según González-Loaiza *et al.* (2014) los °Brix incrementan cuando los frutos alcanzan mayor grado de madurez, debido al aumento de la concentración de sólidos solubles por la hidrólisis de almidones y pectinas solubles durante el proceso de maduración.

Además, se evidenció el efecto positivo de las enmiendas orgánicas y de *Trichoderma* sp. en el diámetro ecuatorial y polar de frutos, tal como reportan Adame-García *et al.* (2023) en frutos de *Capsicum annuum* y *Solanum lycopersicum* con la inoculación de *Trichoderma* sp. Este resultado pudo atribuirse en parte al aporte de macronutrientes y ácidos húmicos por la composta y el estiércol de cabra (Cruz-Crespo *et al.*, 2015), pero también a que *Trichoderma* sp. promueven el crecimiento vegetal por la producción de fitohormonas (Candelero *et al.*, 2015), esto contribuyó en el aumento del tamaño de fruto.

Conclusiones

El uso de composta o estiércol de cabra sin mezclar con *Trichoderma* sp. o *Bacillus subtilis* favoreció en mayor medida el incremento de las propiedades fisicoquímicas y concentraciones macronutrientales del suelo, por lo que estas enmiendas pueden ser factibles para su empleo en suelos agrícolas, considerando el aporte alto de sales del estiércol. La aplicación de composta en combinación con *Trichoderma* sp. fue el tratamiento más viable para el cultivo de melón, puesto que aumentó no solo la masa, diámetro ecuatorial, diámetro polar y rendimiento estimado de frutos con respecto al testigo, sino también los °Brix, variable importante que indica mayor calidad de frutos.

Bibliografía

- 1 Adame-García, J.; Murillo-Cuevas, F. D.; Cabrera-Mireles, H.; Villegas-Narváez, J.; Rivera-Meza, A. E. y Vásquez-Hernández, A. 2023. Efecto de bioestimulantes microbianos en frutos de chile morrón y jitomate producidos en macrotúnel. *Biotecnia*. 25(1):81-87. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i1.1772>.
- 2 Barbosa-Santos, C. H.; Nascimento, F. C.; Bentes-Lobo, L. L.; Geraldo-Martins, A. B.; Almeida-Teixeira, G. H. and Rigobelo, E. C. 2020. Effect of encapsulated plant growth promoting microorganisms on soil biochemical parameters and development of fruit tree seedlings. *Australian Journal of Crop Science*. 14(3):3006-3014. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.03.p2434>.
- 3 Candelero, D. J.; Cristóbal, A. J.; Reyes, R. A.; Tun, S. J. M.; Gamboa, A. M. M. y Ruíz, S. E. 2015. *Trichoderma* spp. promotoras del crecimiento en plántulas de *Capsicum chinense* Jacq. y antagonistas contra *Meloidogyne incognita*. #YTON. 84(1):113-119.
- 4 Cantú-Nava, P. C.; Gutiérrez-Coronado, M. A.; Castro-Espinoza, L.; Soto-Parra, J. M.; Cortez-Jiménez, J. M. y Núñez-Moreno, H. 2021. Microorganismos promotores de crecimiento sobre el rendimiento y calidad de nogal pecanero cultivado en el Valle del Yaqui, Sonora, México. *Agrociencia*. 55(4):347-355. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i4.2482>.
- 5 Cavalcante-Ferreira, J. C.; Pereira-dos Santos, A. B.; Pereira-Ribeiro, R.; Da Silva-Ribeiro, H. M.; Batista-Aoki, R.; Monteiro-Oliveira, D. and Souza-Falcão, N. P. 2024. Biochar and chicken manure improve soil chemical properties and nutritional status of rosewood seedlings grown in clay soil. *Revista Bosque*. 45(2):295-306. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002024000200295>.
- 6 Cervantes-Vázquez, T. J. A.; Preciado-Rangel, P.; Fortis-Hernández, M.; Valenzuela-García, A. A.; García-Hernández, J. L. y Cervantes-Vázquez, M. G. 2022. Efectos en el suelo por

- la aplicación de estiércol bovino y vermicompost, en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*). Revista Terra Latinoamericana. 40:1-13. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.835>.
- 7 Cruz-Crespo, E.; Sumaya-Martínez, M. T.; Can-Chulim, A.; Pineda-Pineda, J.; Bugarín-Montoya R. and Aguilar-Benítez G. 2015. Quality, bioactive compounds, and antioxidant activity of serrano chili peppers cultivated in volcanic rock-vermicompost and nutrient solutions. Ciencia e Investigación Agraria. 42(3):375-384. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202015000300006>.
 - 8 González-León, Y.; Ortega-Bernal, J.; Anducho-Reyes, M. A. y Mercado-Flores, Y. 2023. *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas. 25(1):1-14. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>.
 - 9 González-Loaiza, D. I.; Ordóñez-Santos, L. E.; Vanegas-Mahecha, P. y Vásquez- Amariles, H. D. 2014. Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. Acta agronómica. 63(1):11-17. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n1.31717>.
 - 10 González-Salas, U.; Gallegos-Robles, M. Á.; Preciado-Rangel, P.; García-Carrillo, M.; Rodríguez-Hernández, M. G.; García-Hernández, J. L. y Guzmán-Silos, T. L. 2021. Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. Revista Terra Latinoamericana. 39:1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.904>.
 - 11 Guerrero-García, A. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ed. Mundi-Prensa. 1^{er} Ed. Bilbao, España. 206 p.
 - 12 IIEG. 2022. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/10/Tonaya.pdf>.
 - 13 Jiménez-Ortiz, M. M.; Gómez-Álvarez, R.; Oliva-Hernández, J.; Granados-Zurita, L.; Pat-Fernández, J. M. y Aranda-Ibáñez E. M. 2019. Influencia del estiércol composteado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). Nova Scientia. 11(23):165-197. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1957>.
 - 14 Lagos, J. S. y Huertas, J. L. 2019. Efectos de una enmienda orgánica sobre las propiedades fisicoquímicas de un Andisol, en Túquerres, Nariño, Colombia. Agro Sur. 47(3):39-54. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2019.v47n3-05>.
 - 15 Macías-Duarte, R.; Grijalva-Contreras, R. L.; Robles-Contreras, F.; López-Carvajal, A. y Núñez-Ramírez, F. 2020. Respuesta de la composta sobre la fertilidad, humedad del suelo, contenido nutrimental en hojas y productividad en olivo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 11(8):1879-1890. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2141>.
 - 16 McPhee, J. E.; Aird, P. L.; Hardie, M. A. and Corkrey, S. R. 2015. The effect of controlled traffic on soil physical properties and tillage requirements for vegetable production. Soil and Tillage Research. 149(1):33-45. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.018>.
 - 17 Monge-Pérez, J. E. y Loría-Coto, M. 2017. Producción de melón en invernadero: comparación agronómica entre tipos de melón. Revista Posgrado y Sociedad. 15(2):79-100.
 - 18 Murillo-Montoya, S. A.; Mendoza-Mora, A. y Fadul-Vásquez, C. J. 2020. La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales. 7(1):58-68. <https://doi.org/10.23850/24220582.2503>.
 - 19 Rincón-Castillo, Á.; Baquero-Peñuela, J. E. y Flórez-Díaz, H. 2012. Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los llanos Orientales de Colombia. Ed. Produmedios. 1^{er} Ed. Meta, Colombia. 164 p.

- 20 Romero-Cún, A. R. y Loayza-Agurto, M. G. 2023. Efectos del uso de *Trichoderma* spp. en suelo arcilloso salino y plantas de banano etapa vegetativa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 7(5):7111-7132. <https://doi.org/10.37811/cl-rcm.v7i5.8293>.
- 21 SEMARNAT. 2002. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México.
- 22 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 23 Trinidad, S. A. y Velasco, V. J. 2016. Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agro Productividad*. 9(8):52-58.



Enmiendas orgánicas en las características edáficas y el rendimiento de melón

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2025
Date accepted: 01 May 2025
Publication date: 24 August 2025
Publication date: Jul-Aug 2025
Volume: 16
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3773
DOI: 10.29312/remexca.v16i5.3773

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Bacillus subtilis

Cucumis melo L.

Trichoderma sp.

propiedades fisicoquímicas del suelo

Counts

Figures: 0

Tables: 4

Equations: 0

References: 23

Pages: 0