

EFECTO DE SUSTRATO GASTADO DE (*Pleurotus* spp.) CON DOS TIPOS DE FERTILIZACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*)

Jaime Herrera Gamboa, Rene Torres Ricario, Isaías Chairez Hernández, Laura Anabel Páez Olivan, José Natividad Uribe Soto, Néstor Naranjo Jiménez, José Antonio Ávila Reyes, Norma Almaraz Abarca y Nalleli Trancoso Reyes

RESUMEN

El uso excesivo de fertilizantes afecta negativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Se evaluó el efecto de sustrato gastado de hongo (SGH) de *Pleurotus* spp. con fertilizante orgánico y convencional para mejorar el suelo e incrementar el rendimiento en la producción de tomate en invernadero. Se utilizó un diseño aleatorio de ocho tratamientos, dos controles (fertilizante orgánico y convencional), y diferentes cantidades de SGH (1,5; 2,5 y 3,5 kg·m⁻² SGH). Se evaluaron parámetros para desarrollo de planta, producción, calidad de fruto y las propiedades del suelo al final del cultivo. Los tratamientos mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en longi-

tud de crecimiento, diámetro de tallo, longitud de hoja y en el rendimiento del cultivo, las propiedades del suelo mejoraron en su estructura, compactación, nutrientes y actividad microbiana en suelos de tipo franco arenoso. Los tratamientos adicionales con 1,5 kg·m⁻² de SGH, presentaron mejor desarrollo de la planta, calidad de fruto y rendimiento. La enmienda de SGH aumentó la producción de tomate en 27,61% utilizando fertilizante orgánico y 13,05% con convencional. Los resultados sugirieron que el SGH podría considerarse una alternativa a una enmienda orgánica para proporcionar nutrientes y recuperar la fertilidad del suelo en cultivos de invernadero.

Introducción

El uso excesivo de fertilizantes ha demostrado efectos negativos en el suelo, su fertilidad se define por un conjunto de interacciones físicas, químicas y biológicas que permiten el desarrollo de las plantas y productividad de los cultivos agrícolas (Othman *et al.*, 2020). Scotti *et al.*, 2015 definen a la agricultura protegida, como un sistema que utiliza superficies de suelo bajo cubiertas plásticas que puede reducir los costos de producción, control de condiciones

climáticas y el uso de métodos convencionales de fertilización que son utilizados para satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas, aumentando el rendimiento y calidad de los cultivos, afectando negativamente el suelo por pérdida constante de materia orgánica. Los fertilizantes convencionales, son ampliamente utilizados y se componen por sales inorgánicas que afectan negativamente los procesos naturales del suelo, provocando erosión, salinidad, pérdida de materia orgánica y disminución de la actividad

microbiana, por consecuencia sistemas de producción ineficientes e insostenibles a largo plazo (Bananomi *et al.*, 2016). Los fertilizantes orgánicos, se generan mediante procesos naturales de fermentación por hongos y bacterias, son una alternativa para mejorar las condiciones del suelo y reducir el uso de sales inorgánicas al aplicarse como abonos. Paredes *et al.* (2016) mencionan la importancia de identificar alternativas para mejorar las condiciones de fertilidad del suelo en sistemas de agricultura protegida.

Numerosos procesos agroindustriales generan residuos, que pueden utilizarse como abonos orgánicos. Wiafe-Kwagyan y Odamtten (2018) definen el uso de sustrato gastado de hongo (SGH), al residuo que se genera durante la producción de hongos comestibles de especies como *Agaricus bisporus*, *Pleurotus* spp., entre otros. Por cada kilogramo de hongo fresco, se generan cinco de SGH (González *et al.*, 2015). El micelio del hongo durante su desarrollo degrada y absorbe nutrientes,

PALABRAS CLAVE / Fertilización / *Pleurotus* / Propiedades del suelo / Residuos / Tomate /

Recibido: 03/11/2021. Modificado: 25/08/2022. Aceptado: 27/08/2022.

Jaime Herrera Gamboa (Autor principal). Estudiante de Doctorado en Ciencias en Biotecnología, Centro interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional, México. Profesor en Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, México.

Rene Torres Ricario (Autor de correspondencia). Doctor en Ciencias en Biotecnología, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango.

Instituto Politécnico Nacional. Dirección: Sigma 119, 20 de noviembre II, 34220, Durango, México. e-mail: rtorresr@ipn.mx

Isaías Chairez Hernández. Doctor en Ciencias en Entomología. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional, México.

Laura Anabel Páez Olivan. Doctora en Ciencias en Biotecnología. Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios #130. México.

José Natividad Uribe Soto. Maestro en Ciencias en Optimización de

Procesos Agrícolas. Profesor-Investigador en Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional, México.

Néstor Naranjo Jiménez. Maestro en Ciencias en Biotecnología de Rumiantes. Profesor-investigador en Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional, México.

José Antonio Ávila Reyes. Doctor en Ciencias en Biotecnología. Profesor-investigador en Centro

Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional, México.

Norma Almaraz Abarca. Doctora en Ciencias en Biotecnología. Profesora-investigadora en Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Instituto Politécnico Nacional, México.

Nalleli Trancoso Reyes. Doctora en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios #130. México.

EFFECT OF THE SPENT MUSHROOM SUBSTRATE OF (*Pleurotus* spp.) WITH TWO TYPES OF FERTILIZATION ON THE PROPERTIES OF THE SOIL AND THE PRODUCTION OF TOMATO (*Lycopersicon esculentum*)

Jaime Herrera Gamboa, Rene Torres Ricario, Isaias Chairez Hernández, Laura Anabel Páez Olivan, José Natividad Uribe Soto, Néstor Naranjo Jiménez, José Antonio Ávila Reyes, Norma Almaraz Abarca and Nalleli Trancoso Reyes

SUMMARY

Excessive fertilizer use negatively affects physical, chemical, and biological soil properties. The effect of spent mushroom substrate (SMS) of *Pleurotus* spp with organic and conventional fertilizer on soil improvement and yield increase in greenhouse tomato production was evaluated. A randomized design of eight treatments, two controls (organic and conventional fertilizer), and different amounts of SMS (1.5; 2.5 and 3.5kg·m⁻² SMS) were used. Parameters for plant development, yield, fruit quality, and soil properties at the end of the crop were evaluated. The treatments showed significant differences ($P \leq$

0.05) in growth length, stem diameter, leaf length and crop yield and crop yield, soil properties improved in structure, compaction, nutrients, and microbiological activity in sandy loam soils. The treatments added with 1,5kg·m⁻² SMS showed better plant development, fruit quality, and yield. The SMS amendment increased tomato yield by 27.61% using organic fertilizer and 13.05% with conventional fertilizer. The results suggested that SMS could be considered as an alternative to an organic amendment to provide nutrients and recover soil fertility in greenhouse crops.

EFEITO DO SUBSTRATO GASTO (*Pleurotus* spp.) COM DOIS TIPOS DE FERTILIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES DO SOLO E NA PRODUÇÃO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*)

Jaime Herrera Gamboa, Rene Torres Ricario, Isaias Chairez Hernández, Laura Anabel Páez Olivan, José Natividad Uribe Soto, Néstor Naranjo Jiménez, José Antonio Ávila Reyes, Norma Almaraz Abarca e Nalleli Trancoso Reyes

RESUMO

O uso excessivo de fertilizantes afecta negativamente as propriedades físicas, químicas, e biológicas do solo. Foi avaliado o efeito do substrato gasto de cogumelos (SGH) de *Pleurotus* spp com fertilizante orgânico e convencional no melhoramento do solo e no aumento do rendimento na produção de tomate em estufa. Foi utilizada uma concepção aleatória de oito tratamentos, dois controles (fertilizante orgânico e convencional), e diferentes quantidades de SGH (1,5; 2,5 e 3,5kg·m⁻²SGH). Foram avaliados os parâmetros de desenvolvimento das plantas, rendimento, qualidade dos frutos e propriedades do solo no final da cultura. Os tratamentos mostraram diferenças significativas ($P \leq$

0,05) no desenvolvimento das plantas e no rendimento das culturas, as propriedades do solo melhoraram na estrutura, compactação, nutrientes, e actividade microbiológica em solos arenosos de argila. Os tratamentos adicionados com 1,5kg·m⁻²SGH mostraram melhor desenvolvimento das plantas, qualidade dos frutos, e rendimento. A emenda SGH aumentou o rendimento do tomate em 27,61% utilizando fertilizante orgânico e 13,05% com fertilizante convencional. Os resultados sugeriram que SGH poderia ser considerado como uma alternativa a uma emenda orgânica para fornecer nutrientes e recuperar a fertilidade do solo em culturas de estufa.

acelerando la mineralización y liberación de nutrientes del sustrato. Es amplia la utilización de SGH para producción de enzimas, biorremediación, alimentación animal y aplicaciones agrícolas (Phan y Sabaratnam, 2012). Se caracteriza por un alto contenido de materia orgánica, contenido nutricional, pH neutro y es un material de alta porosidad (Kwiatkowski y Harasim, 2021). Ashrafi *et al.* (2015) reportaron que adicionar SGH con fertilización convencional podría beneficiar el rendimiento en cultivos de hortaliza y las propiedades del suelo; como la capacidad de retención de agua, pH, conductividad eléctrica, nutrientes y actividad microbiana. Peregrina *et al.*

(2012) reportaron, beneficios en suelos de tipo arenosos en cultivos de viñedos, mayor rendimiento de *Salvia officinalis*, *Zea mays* (Weust, 1995), en producción de plántulas de melón (Nguyen y Wang, 2017) y lechuga (Marques *et al.*, 2014). Fontalvo *et al.* (2013) evaluaron SGH de *Pleurotus ostreatus* en plantas de tomate, demostrando mayor crecimiento y desarrollo, en un suelo de bajo contenido nutricional. Ashrafi *et al.* (2015) reportaron mayor rendimiento (46,0t·ha⁻¹) y calidad de fruto en cultivo de tomate, adicionando 2,5t·ha⁻¹ de SGH y fertilización convencional. Por lo anterior, la mayoría de los estudios se han realizado en contenedores y campo abierto, es importante evaluar

alternativas con SHG para mejorar las condiciones de fertilidad de suelo en sistemas de agricultura protegida. El objetivo fue evaluar el efecto de SGH de *Pleurotus* spp., con fertilizante orgánico y convencional para mejorar el suelo e incrementar el rendimiento en la producción de tomate en invernadero.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó bajo condiciones controladas en invernadero durante el ciclo primavera-otoño 2019, en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango del Instituto

Politécnico Nacional (CIIDIR-IPN). Todas las determinaciones fueron evaluadas en el área de invernadero y en el Laboratorio de Biotecnología del CIIDIR-IPN Unidad Durango. Los residuos SGH fueron donados por la empresa productora de hongos comestibles de *Pleurotus* spp., Hongos Camacho S.P.R de R.L. localizada en Ixtlahuaca de Rayón, Estado de México. Se deshidrataron durante 48h y se tamizaron posteriormente en partículas de 3 a 5mm de acuerdo con la técnica de Lou *et al.* (2017).

Diseño experimental

En un diseño aleatorio se compararon dos tipos de

fertilizante (orgánico y convencional) en dosis recomendadas con 40 plantas por tratamiento, tomando cada planta como replicación. Se evaluaron ocho tratamientos con la adición de SGH en diferentes cantidades (1,5; 2,5 y 3,5 kg·m⁻²). La aplicación de SGH fue realizada directamente en suelo una semana previa al experimento. Los tratamientos fueron los siguientes: T1: fertilizante orgánico (Bioteksa®) compuesto por: HBK humato de potasio (10), Ultra N nitrógeno (246), Ultra P fósforo (146), Ultra K potasio (234), Ultra Ca calcio (202), Ultra Mg magnesio (120), Ultra SN azufre (103), Ultra Si silicio (40) cada uno de los componentes fue administrado en L/Ha y T2: fertilizante convencional compuesto por: N nitrato de potasio (12), P fosfato de monoamónico (1), K nitrato de potasio (9), Ca nitrato de calcio (7), Mg sulfato de magnesio (4), S azufre (7) administrados en mmol·L⁻¹ como controles sin SGH, T3: 1,5 kg·m⁻²+ T1, T4: 2,5 kg·m⁻²+ T1, T5: 3,5 kg·m⁻²+ T1, T6: 1,5 kg·m⁻²+ T2, T7: 2,5 kg·m⁻²+ T2, T8: 3,5 kg·m⁻²+ T2.

Producción de tomate

Se utilizaron plántulas sanas y de tamaño uniforme de tomate (*Lycopersicon esculentum*; variedad Saladette de crecimiento indeterminado). Se trasplantaron en surcos de 25m de largo manteniendo un espacio de 1,25m entre hileras y 50cm entre plantas. De cada tratamiento se seleccionaron 20 plantas al azar, semanalmente fueron evaluados parámetros de desarrollo bajo el concepto de plantas con condiciones vegetativas y generativas de crecimiento indeterminado y producción de acuerdo con Casierra y Cardozo, (2009). Las variables para desarrollo de planta fueron: longitud de crecimiento (cm), diámetro de tallo (mm), densidad aparente (DA en g·cm⁻³) y la longitud de hoja (cm) tomando la de reciente maduración entre el racimo que está en desarrollo y en floración. El número de flores y frutos fueron obtenidos

calculando el total. En el análisis de frutos, manualmente se seleccionaron diez frutos de tomate al azar semanalmente de cada tratamiento, en estado maduro (rojo). Se determinó el diámetro polar y ecuatorial con un vernier digital Truper®; el rendimiento fue calculado de acuerdo con el peso de los frutos (kg·m⁻²), contenido de sólidos solubles (grados Brix) por el método de refractómetro Atago® (NMX-F-436-SCFI-2011) y la talla de fruto (NMX-FF-031-1997).

Análisis químicos y microbiológicos

Se determinaron parámetros fisicoquímicos en el suelo experimental, al inicio y a la semana de terminación del experimento siguiendo la NOM-021-SEMARNAT-2000 y AOAC, (1997), materia orgánica (MO), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), carbono orgánico (CO), relación carbono/nitrógeno (C/N), nitrógeno total (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu) en SGH. Se tomaron muestras de suelo de la rizosfera mensualmente para determinar el contenido de microorganismos totales (bacterias, hongos y actinomicetos) de acuerdo con Ngan y Riddech (2020). Se registró el número de colonias, y se expresó como el valor logarítmico de las unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC·g⁻¹ de suelo).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron evaluados estadísticamente utilizando un análisis de varianza (ANOVA), y las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey (P= 0,05). El contenido de SGH frente a las características fisicoquímicas del suelo se evaluó con correlaciones de Pearson. El efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de la planta y la calidad del fruto se evaluó mediante un análisis de componentes principales

(PCA). Se utilizó el software XLSTAT para Microsoft Excel (Addinsoft, 2020).

Resultados

Efecto en la producción de tomate

Las variables del desarrollo de plantas mostraron diferencias estadísticas significativas (P≤ 0,05) a los 15, 43 y 78 días después del trasplante (DDT) (Figura 1). En promedio, el tratamiento T5 presentó mayor longitud de crecimiento (22,32 ±0,74cm), diámetro del tallo (10,38 ±0,20mm) y longitud de la hoja (39,60 ±0,60cm). En calidad de fruto (Tabla I), los tratamientos T4 y T5 obtuvieron un promedio de (7,00 ±0,58frutos). El número de flores no mostró diferencia significativa entre los tratamientos; T1 expuso un valor más bajo (6,74 ±0,34 flores). El tratamiento T3 fue superior en diámetro polar (76,27 ±0,90mm), diámetro ecuatorial (57,52 ±0,90mm), peso (140,61 ±5,28g·fruto⁻¹) y rendimiento (26,98 ±2,44kg·m⁻²). El contenido de grados Brix fue mayor en T1 (5,07 ±0,06 grados Brix) y los demás tratamientos no presentaron diferencias. El PCA, los dos primeros componentes explican el 79,57% de la varianza (Figura 2). Variables que determinan la calidad del fruto como: diámetro polar (r= 0,905), diámetro ecuatorial (0,860), peso (0,854) y rendimiento (0,817) están asociadas a T3. Mientras tanto, el tratamiento T5 se asocia con las variables desarrollo de planta, mostrando correlaciones importantes en diámetro del tallo (0,923) y el número de flores (0,791). Las variables con mayor contribución en el primer componente 47,81% fueron: diámetro polar (0,905), diámetro ecuatorial (0,860), peso (0,854) y rendimiento (0,817) en T3 y T6; las variables longitud de la hoja (0,911), crecimiento (0,810), diámetro del tallo (0,923) y el número de flores (0,791) en los tratamientos T4 y T5. El segundo componente, los grados Brix, contribuyen al 31,76% de

la varianza, el tratamiento T1 presentó la mayor concentración.

Efecto de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo

El SGH presentó características superiores al suelo inicial, demostrando el aporte de nutrientes en forma orgánica: MO= 85,70 ±5,40%, pH= 7,31 ±0,29, CE= 11,20 ± 0,05 dS·m⁻¹, CO= 49,70 ±2,25 g·kg⁻¹, C/ N= 41,70 ±0,15, N= 11900 ±0,58ppm, P= 1400 ±0,57ppm, K= 21300 ±0,58ppm, Ca= 25800 ±0,57ppm, Mg= 4700 ±0,58ppm, Fe= 6170 ±0,54ppm, Zn= 43,35 ±0,26ppm, Mn= 357 ±0,57ppm, B= 11,00 ±0,33ppm y Cu= 12,10 ±0,01ppm. El efecto de adicionar SGH en diferentes dosis sobre las propiedades del suelo se muestran en la Tabla II. El ANOVA mostró diferencias estadísticas (P≤ 0,05), los cambios más relevantes se observan en los tratamientos con 3,5kg·m⁻² de SGH, en comparación con los controles y el suelo inicial. Los cambios físicos significativos fueron el aumento de MO (4,35%), PS (14%), CE (1,74%), CC (7,6%) y una reducción de la DA (0,30g·cm⁻³). Los macronutrientes mostraron un incremento después de adicionar SGH, T8 presentó los resultados más altos para N, P, K, Mg y Ca. El T4 presentó mayores concentraciones de los micronutrientes Fe y Mn. El T8 en B y Cu. Las correlaciones indicaron una relación significativa con el aporte de SGH en el contenido de MO (P = 0,000) con CE (r= 0,870), PS (r= 0,803), CC (r= 0,882), DA= (r= -0,751) y CIC (r= 0,771). Los tratamientos con SGH cambiaron positivamente los valores de CC, PS, CE y DA, destacando T5 y T8 con un incremento de MO de 1,23% inicial a 2,39% y 5,58% respectivamente, la DA inicial de 1,40 g·cm⁻³ se redujo a 1,31 g·cm⁻³ y adicionar SGH presentó correlaciones positivas con algunos elementos como N (r= 0,802), Ca (r= 0,693), Mg (r= 0,693), S (r= 0,849), Cu

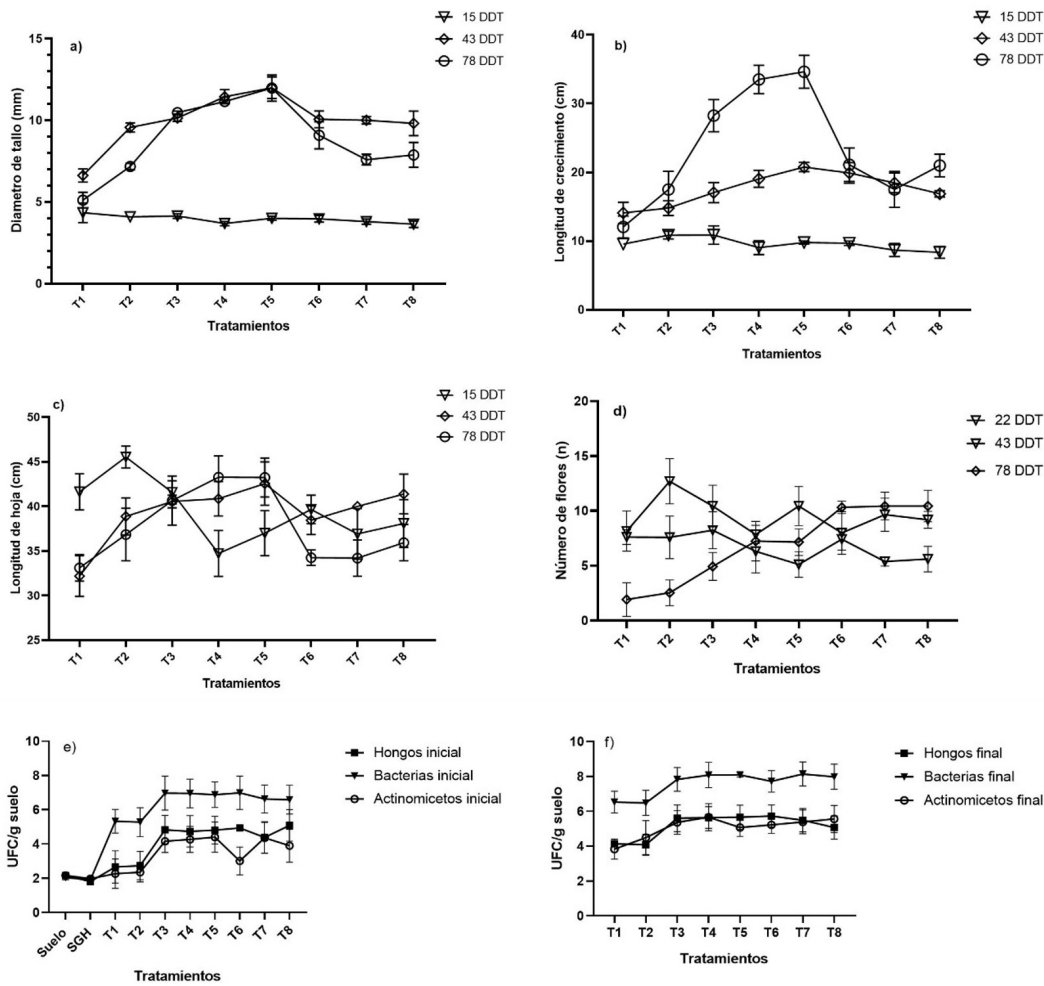


Figura 1. Efecto de diferentes tratamientos, diámetro del tallo (a), longitud de crecimiento (b), longitud de la hoja (c) y número de flores (d) a los 15, 43 y 78 DDT. Efecto de SGH en las poblaciones de microorganismos de la rizosfera (UFC/g suelo) en dos tipos de fertilización en el cultivo de tomate en diferentes tiempos: e) cultivo inicial (junio) y f) cosecha final (septiembre). Se expresa el valor promedio y desviación estándar que indicaron una diferencia significativa mediante la prueba de Tukey a ($P \leq 0,05$).

($r = 0,772$), B ($r = 0,787$) y Zn ($r = 0,782$). La adición de SGH no afectó el pH óptimo de

nutrición para cada tratamiento, con un valor promedio de 7,53.

El contenido microbiológico mostró un incremento exponencial por la adición de SGH en

comparación con ambos controles, desde el inicio (junio) hasta el final (septiembre) del experimento (Figura 1). Aumentando en la etapa final 73% para los hongos, 80% bacterias, y 67% actinomicetos con T1; T5 presentó los mejores resultados. En el caso de T2, incrementó 71% de hongos, 79% de bacterias y 80% de actinomicetos, T6 y T7 mostraron resultados superiores. Las determinaciones microbiológicas mostraron correlaciones ($P \leq 0,05$) con algunas propiedades fisicoquímicas del suelo; hongos (pH: $r = -0,54$, CE: $r = 0,42$, MO: $r = 0,99$, N: $r = 0,50$, Ca: $r = 0,77$, Na: $r = -0,58$, Mn: $r = 0,50$ y Zn: $r = 0,53$), bacterias (pH: $r = -0,61$, MO: $r = 0,99$, Ca: $r = 0,62$ y Na: $r = 0,44$), y actinomicetos (pH: $r = -0,53$, MO: $r = 0,99$, P: $r = 0,47$, Ca: $r = 0,72$, Na: $r = 0,78$, Mn: $r = 0,45$, y Zn: $r = 0,40$).

Discusión

En el cultivo se presentaron diferentes tendencias generativas y vegetativas. Posada y Cardoso (2009) indican que plantas en estado vegetativo presentan crecimiento rápido, follaje abundante y pocos frutos, afectando el rendimiento. En estado generativo las plantas presentan tallo delgado, hojas cortas y racimos cargados de flores que producirán pequeños frutos y un rápido deterioro del cultivo. Los rangos reportados para considerar que las plantas de tomate están en equilibrio son los

TABLA I
RESULTADOS PROMEDIO EN CALIDAD DE FRUTOS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum*) EN DIFERENTES TRATAMIENTOS CON LA ADICIÓN DE SGH

Tratamientos	Diámetro		Frutos por racimo	Peso (g)	Sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix)	Rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)
	Polar (mm)	Ecuatorial (mm)				
T1	73,94 \pm 0,88 ab	54,30 \pm 0,55 b	5,40 \pm 0,35 c	122,54 \pm 3,29 b	5,07 \pm 0,06 a	16,83 \pm 1,41 b
T2	73,61 \pm 1,04 ab	54,31 \pm 0,70 b	5,50 \pm 0,34 c	124,97 \pm 3,91 b	4,84 \pm 0,09 b	17,35 \pm 2,16 b
T3	76,27 \pm 0,90 a	57,52 \pm 0,87 a	6,50 \pm 0,46 ab	140,61 \pm 5,28 a	4,80 \pm 0,05 b	26,98 \pm 2,44 a
T4	71,25 \pm 1,68 bc	53,18 \pm 0,84 cd	7,00 \pm 0,58 a	115,36 \pm 4,86 b	4,81 \pm 0,05 b	19,67 \pm 3,09 ab
T5	73,10 \pm 0,86 ab	55,09 \pm 0,67 b	7,05 \pm 0,45 a	123,28 \pm 4,30 b	4,83 \pm 0,06 b	23,46 \pm 1,59 ab
T6	74,12 \pm 1,10 ab	55,93 \pm 0,86 b	6,30 \pm 0,33 b	128,01 \pm 3,70 b	4,43 \pm 0,05 c	24,58 \pm 3,12 ab
T7	69,77 \pm 1,92 c	52,18 \pm 1,30 cd	6,15 \pm 0,29 b	118,59 \pm 8,83 b	4,57 \pm 0,07 c	19,67 \pm 3,34 ab
T8	74,84 \pm 1,13 ab	54,67 \pm 0,87 b	6,10 \pm 0,42 b	123,28 \pm 4,75 b	4,75 \pm 0,07 c	19,99 \pm 3,64 ab

Los valores presentados corresponden al promedio y desviación estándar. Los valores con una letra diferente en la misma fila mostraron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$). T1: Fertilizante orgánico, T2: Fertilizante convencional, T3: 1,5kg·m⁻² SGH + T1, T4: 2,5kg·m⁻² SGH + T1, T5: 3,5kg·m⁻² SGH + T1, T6: 1,5kg·m⁻² SGH + T2, T7: 2,5kg·m⁻² SGH + T2, T8: 3,5kg·m⁻² SGH + T2.

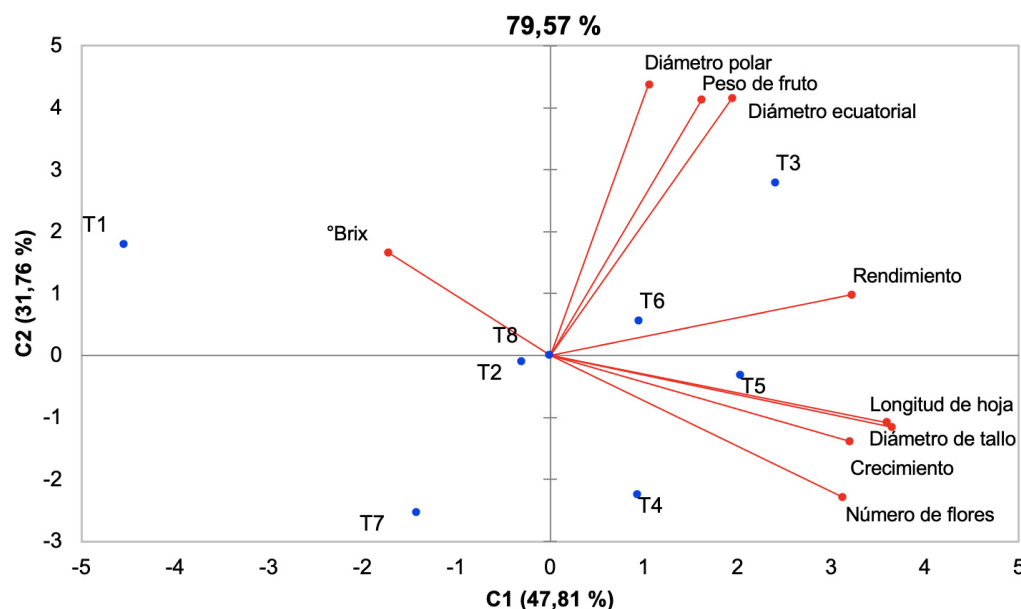


Figura 2. Análisis de componentes principales para tratamientos entre desarrollo de planta, rendimiento y calidad de fruto. T1: Fertilizante orgánico, T2: Fertilizante convencional, T3: 1,5kg·m⁻² SGH y T1, T4: 2,5kg·m⁻² SGH y T1, T5 3,5kg·m⁻² SGH y T1, T6: 1,5kg·m⁻² SGH y T2, T7: 2,5kg·m⁻² SGH y T2, T8: 3,5kg·m⁻² SGH y T2.

siguientes: la longitud de crecimiento debe ser de 20 a 22cm, el tamaño de la hoja es de 39 a 46cm y el diámetro del tallo de 11 a 12mm por semana. El desarrollo de la

planta y la calidad del fruto presentaron mayor diferencia entre los tratamientos adicionados con SGH, que los controles. Las variables con mayor aporte en el primer

componente (47,81%) fueron: diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso y rendimiento en el T3 y T6 estadísticamente diferentes; las variables longitud de hoja, crecimiento,

diámetro del tallo y número de flores en los tratamientos T4 y T5 presentaron tendencia de condición vegetativa. La dosis de aplicación de 1,5kg·m⁻² presentó mejor equilibrio entre condiciones vegetativas y generativas, correspondiente a T3 y T6 mejorando la calidad de los frutos y el rendimiento del cultivo 27,61% y 13,05% respectivamente que los controles. El tratamiento T3 mostró los valores más altos en diámetro polar, diámetro ecuatorial, peso y rendimiento en comparación con los otros tratamientos. Superiores a los reportados por Castelo-Gutiérrez *et al.* (2016) de 14,50kg·m⁻² de rendimiento, adicionando SGH (0,35 a 1,5kg·m⁻²) de *Agaricus bisporus* y fertilizante convencional, en producción de tomate. El segundo componente, los grados Brix contribuyen al 31,76% de la varianza, siendo T1 el que presentó ligeramente mayor concentración. El contenido de sólidos solubles (°Brix) en todos los tratamientos fueron valores óptimos para consumo en fresco y procesos industriales, con frutos

TABLA II
DIFERENCIAS EN LAS DETERMINACIONES FÍSICOQUÍMICAS EN LOS TRATAMIENTOS MEZCLADOS CON SGH EN EL SISTEMA ORGÁNICO Y CONVENCIONAL AL FINAL DEL CICLO DE CULTIVO DEL TOMATE (*Lycopersicon esculentum*)

	Suelo*	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
		Franco arenoso							
MO (%)	1,23 g	1,08 h	1,19 f	1,53 d	1,73 c	2,39 b	1,23 g	1,42 e	5,58 a
PS (%)	26,01 i	31,40 d	31,20 e	30,40 h	35,01 b	30,80 f	28,20 h	32,20 c	40,01 a
DA (g·cm ⁻³)	1,40 h	1,29 c	1,22 d	1,25 g	1,28 e	1,31 a	1,22 g	1,26 b	1,10 b
CC (%)	13,7 h	16,01c	16,50 d	16,01 c	16,30 e	18,50 b	14,80 f	17,01 b	21,30 a
pH	7,85 a	7,68 d	7,75 b	7,51 f	7,07 h	7,38 g	7,51 f	7,65 e	7,72 c
CIC	14,10 h	16,87 d	13,90 h	13,70 i	17,01 c	18,30 b	15,70 f	16,40 e	20,10 a
CE (dS·m ⁻¹)	1,27 c	0,60 g	0,85 e	1,77 b	0,75 f	1,10 d	0,60 h	0,53 i	3,01 a
N (ppm)	27,13 g	21,47 i	37,63 d	55,67b	33,77 e	44,10 c	29,47 f	24,37 h	69,37 a
P (ppm)	74,01 f	85,07 a	74,67 e	37,77 i	72,47 g	81,37 b	76,07c	75,67 d	62,17 h
K (ppm)	567 e	650 b	568 e	355 h	532 f	519 g	637 c	607 d	677 a
Ca (ppm)	2031 h	2063 g	2031 h	2644 d	2095 f	2733 c	2806 b	2503 e	3129 a
Mg (ppm)	188 f	225 c	198 d	154 h	191 e	256 b	150 i	170 g	269 a
Fe (ppm)	2,90 h	8,94 c	7,88 e	7,10 f	13,50 a	9,21 b	8,11 c	8,07 d	6,72 g
Zn (ppm)	2,55 c	1,32 h	2,55 c	2,33 e	2,04 f	1,82 g	3,18 b	2,42 d	4,26 a
Mn (ppm)	6,64 a	2,01 f	2,37 e	3,07 c	6,11 a	2,98 d	2,35 e	2,34 e	3,11 b
B (ppm)	0,36 b	0,19 h	0,30 d	0,32 c	0,15 i	0,25 e	0,22 f	0,21 g	0,47 a
Cu (ppm)	2,09 b	1,56 h	1,97 c	1,75 g	1,82 e	1,81 f	1,89 d	1,12 i	2,65 a

Los valores presentados corresponden al promedio y desviación estándar. Los valores con una letra diferente en la misma fila mostraron diferencias estadísticas (P ≤ 0,05). * Textura: Franco arenoso. Características iniciales del suelo utilizado. MO: Materia orgánica, PS: Punto de saturación, DA: Densidad a granel del suelo, CIC: Capacidad de intercambio de cationes, pH: Potencial de hidrógeno, CE: Conductividad eléctrica. T1: Fertilizante orgánico, T2: Fertilizante convencional, T3: 1,5kg·m⁻² SGH + T1, T4: 2,5kg·m⁻² SGH + T1, T5: 3,5kg·m⁻² SGH + T1, T6: 1,5kg·m⁻² SGH + T2, T7: 2,5kg·m⁻² SGH + T2, T8: 3,5kg·m⁻² SGH + T2.

de tamaño grande (Márquez-Hernández *et al.*, 2006).

El experimento se desarrolló en un suelo tipo franco arenoso, con bajo contenido de MO inferior a 1,5%. La adición de SGH reveló un aumento significativo ($P \leq 0,05$) en MO, especialmente para el tratamiento T8 mostrando un cambio positivo de 4,6 veces por encima del suelo inicial. De acuerdo a Jordan *et al.* (2008), adicionar SGH incrementa la MO hasta 300%, promoviendo efectos positivos sobre las características químicas del suelo; elementos que se liberan durante la mineralización por procesos biológicos de hongos y bacterias. La adición de SGH redujo la DA en los tratamientos debido a la alta porosidad del SGH, el micelio del hongo degrada las paredes celulares del sustrato presentando valores por debajo de $1,4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, que de acuerdo a Lu *et al.* (2021), son valores óptimos en el desarrollo de plantas. El alto contenido de DA ($>1,4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) está relacionado con la compactación del suelo, afectando el desarrollo radicular y vegetal. El tamaño de partícula de SGH, es un factor importante que influye en la modificación de la DA del suelo, cuando las partículas son grandes los espacios porosos son ocupados por aire, por el contrario cuando son más pequeñas, los espacios se ocupan por agua, esto también se observó en los tratamientos con SGH donde el PS incrementó la capacidad de retención de agua del suelo por el aumento de MO (Salamanca y Sadeghian, 2009).

El cambio de CIC inicial fue de 14,10 a $20,10 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ respectivamente entre tratamientos, y la CC aumentó de 13,7% desde el suelo al inicio a 16,01 y 21,3%. En los valores de pH y CE, se observó una ligera reducción al comienzo del experimento y una estabilización al final. Medina *et al.* (2012) informan un comportamiento similar en suelos adicionados con SGH, después de 28 días para pH y 42 días para CE. El pH promedio en los tratamientos fue de 7,53 con tendencia hacia la neutralidad

(Díaz-Pérez y Camacho-Ferre, 2010). Los valores de CE se mantuvieron por debajo de $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, a excepción del tratamiento T8 ($3,01 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$). El rango de CE en SGH va de 1,5 a $14 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, dependiendo del sustrato utilizado en el cultivo de *Pleurotus* spp., además se utiliza sulfato y carbonato de calcio para reducir la acidez. El SGH presentó alto contenido de Ca, lo que ratifica lo mencionado anteriormente y es un elemento esencial en la mayoría de cultivos y no causa problemas de toxicidad. La CE en los tratamientos con SGH fue ligeramente superior a los controles y óptima para el cultivo de tomate (Chong *et al.*, 2019). Según Lam *et al.* (2020), un valor de CE cercano a $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ está relacionado con el crecimiento de las plantas y acumulación de compuestos bioactivos, valores superiores a $8 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, podrían afectar estos parámetros, posiblemente debido al estrés de salinidad.

El contenido de macro y micronutrientes cambió positivamente por la adición de SGH, el T8 mostró un aumento de 2,5 veces para N, y el tratamiento T5 aumentó 1,5 veces para P, en relación con las propiedades iniciales del suelo. El K mostró niveles más bajos en algunos tratamientos al final del experimento, por la absorción del cultivo. Paredes *et al.* (2016) reportaron un comportamiento similar para estos tres macro elementos. En el caso de micronutrientes las paredes fúngicas del micelio pueden conservar micronutrientes en forma quelada, que van liberando de forma paulatina con un efecto a largo plazo sobre la asimilación de las plantas, a diferencia de solo utilizar fertilizantes como los controles (Paredes *et al.*, 2009).

La densidad microbiana con SGH en la rizosfera aumentó en los tratamientos durante el cultivo. En el SGH se encontró una alta relación C/N, indicando el estado de degradación del material, cuando es mayor a 30:1; en este caso, los nutrientes son de baja disponibilidad para la planta y compiten con los microorganismos

(Fontalvo *et al.*, 2013). El SGH, combinado con fertilizantes orgánicos o convencionales, es una alternativa para potenciar el desarrollo, rendimiento del cultivo y mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo reduciendo el impacto negativo que pudiera ocasionar el uso de fertilizantes a largo plazo (Bonanomi *et al.*, 2016). Danai *et al.*, 2012 adicionaron SGH en cultivos arbóreos de aguacate y reportaron aumentos en la fertilidad del suelo de 1 mes a 3 años con $0,4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. En este estudio, los resultados mostraron diferencias significativas en el suelo al final del cultivo de tomate. Wiafe-Kwagyan y Odamtten (2018) reportaron la influencia de SHG de *Pleurotus* en tomate en condiciones de invernadero, en combinaciones de 0 a 30% en suelo franco arenoso, demostrando mejor desarrollo de plantas, producción de frutos y rendimiento, coincidiendo con cambios que mejoran las condiciones del suelo, durante y después del cultivo.

Conclusiones

El uso de SGH promueve efectos positivos en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas en suelos de tipo franco arenoso. El desarrollo de plantas y rendimiento en los tratamientos con $1,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ de SGH mejoraron la producción de tomate 27,61% con fertilizante orgánico y 13,05% con convencional, posiblemente por la lenta liberación de nutrientes del SGH combinados con el fertilizante mejoraron el rendimiento del cultivo. El alto contenido de conductividad eléctrica en SGH no afectó el desarrollo de las plantas ni el rendimiento, pero se recomiendan hacer estudios más específicos para observar efectos sobre los cultivos a medio y largo plazo. La aplicación de SGH de *Pleurotus* spp. puede considerarse una alternativa de valor agregado para horticultura de invernadero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional

por el apoyo financiero (Becas: SIP 20195272-20201835) y a CONACyT-México por brindar apoyo financiero para realizar los estudios de doctorado de J. Herrera-Gamboa (Beca: 633707).

REFERENCIAS

- Addinsoft (2020) XLSTAT statistical and data analysis solution. Nueva York, EEUU. <https://www.xlstat.com>
- Ashrafi R, Rajib MRR, Sultana R, Rahman MM, Mian MH, Shanta FH (2015) Effect of spent mushroom compost on yield and fruit quality of tomato. *Asian Journal of Medical and Biological Research 1*: 471–477. <https://doi.org/10.3329/ajmbr.v1i3.26464>
- Association of Official Analytical Chemists (1997) In P. A. Cunniff (Ed.), *Official methods of analysis of AOAC international 16th ed.* Arlington, Virginia, USA: AOAC International. In Association of Official Agricultural Chemists. Vol. 1, Issue Volume 1. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013135>
- Bonanomi G, De Filippis F, Cesarano G, La Stora A, Ercolini D, Scala F (2016) Organic farming induces changes in soil microbiota that affect agro-ecosystem functions. *Soil Biology and Biochemistry 103*: 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.005>
- Castelo-Gutiérrez AA, García-Mendivil HA, Castro-Espinoza L, Lares-Villa F, Arellano-Gil M, Figueroa-López P, Gutiérrez-Coronado MA (2016) Compost de residuos de champiñón como mejorador de suelo y biofertilizante en producción de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura 2*: 83–93. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.06.012>
- Casierra Posada F, Cardozo MC (2009) Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín 62*: 4815-4822. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179915377009>
- Chong C, Cline RA, Rinker DL, Allen OB (2019) Growth and Mineral Nutrient Status of Containerized Woody Species in Media Amended with Spent Mushroom Compost. *Journal of the American Society for Horticultural Science 116*:

- 242–247. <https://doi.org/10.21273/jashs.116.2.242>
- Danai O, Cohen H, Ezov N, Yehieli N, Levanon D (2012) Recycling of spent mushroom substrate (SMS) in avocado orchards. *J. Agric. Sci. Tech. B.* 2, p. 1165-1170.
- Diario Oficial de la Federación (2000) Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Díaz-Pérez M, Camacho-Ferre F (2010) Effect of composts in substrates on the growth of tomato transplants. *HortTechnology* 20: 361–367. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.20.2.361>
- Fontalvo JAL, López LSC, Pertuz KIG, Borja IMR (2013) Efecto de residuos agroforestales parcialmente biodegradados por *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) sobre el desarrollo de plántulas de tomate. *Acta Biológica Colombiana* 18: 365–374.
- González-Marcos A, Alba-Elías F, Martínez-de-Pisón FJ, Alfonso-Cendón J, Castejón-Limas M (2015) Composting of spent mushroom substrate and winery sludge. *Compost Science and Utilization* 23: 2326–2397. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2014.975868>
- Jordan SN, Mullen GJ, Courtney RG (2008) Utilization of spent mushroom compost for the revegetation of lead-zinc tailings: Effects on physico-chemical properties of tailings and growth of *Lolium perenne*. *Bioresource Technology* 99: 8125–8129. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.054>
- Kwiatkowski CA, Harasim E (2021) The Effect of Fertilization with Spent Mushroom Substrate and Traditional Methods of Fertilization of Common Thyme (*Thymus vulgaris* L.) on Yield Quality and Antioxidant Properties of Herbal Material. *Agronomy* 11: 329 <https://doi.org/10.3390/agronomy11020329>
- Lam VP, Kim SJ, Park JS (2020) Optimizing the Electrical Conductivity of a Nutrient Solution for Plant Growth and Bioactive Compounds of *Agastache rugosa* in a Plant Factory. *Agronomy* 10: 76 <https://doi.org/10.3390/agronomy10010076>
- Lou Z, Sun Y, Bian S, Ali S, Hu B, Xu X (2017) Chemosphere Nutrient conservation during spent mushroom compost application using spent mushroom substrate derived biochar. *Chemosphere* (169): 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.044>
- Lu J, Shao G, Gao Y, Zhang K, Wei Q, Cheng J (2021) Effects of water deficit combined with soil texture, soil bulk density and tomato variety on tomato fruit quality: A meta-analysis. *Agricultural Water Management* 243: 106427. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106427>
- Marques ELS, Martos ET, Souza RJ, Silva R, Zied DC, Dias ES (2014) Spent Mushroom Compost as a Substrate for the Production of Lettuce Seedlings. *Journal of Agricultural Science* 6: 138-143. <https://doi.org/10.5539/jas.v6n7p138>
- Márquez-Hernández C, Cano-Ríos P, Chew-Madinaveitia YI, Moreno-Reséndez A, Rodríguez-Dimas N (2006) Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo serie horticultura* 12: 183–189.
- Medina E, Paredes C, Bustamante MA, Moral R, Moreno-Caselles J (2012) Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. *Geoderma* (173-174): 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.12.011>
- Ngan NM y Riddech N (2020) Use of Spent Mushroom Substrate as an Inoculant Carrier and an Organic Fertilizer and Their Impacts on Roselle Growth (*Hibiscus sabdariffa* L.) and Soil Quality. *Waste and Biomass Valorization* 12: 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01278-w>
- Nguyen VT, Wang, CH (2017) Use of Organic Materials as Growing Media for Honeydew Melon Seedlings in Organic Agriculture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48: 2137–2147. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407431>
- Othman, NZ, Sarjuni MNH, Rosli MA, Nadri MH, Yeng LH, Ying OP, Sarmidi, MR (2020) Spent Mushroom Substrate as Biofertilizer for Agriculture Application. In: Zakaria Z., Boopathy R., Dib J. (eds) Valorization of Agro-industrial Residues – Volume I: *Biological Approaches. Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*. Springer, Cham. pp: 37–57. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39137-9_2
- Paredes C, Medina E (2009) Characterization of the different organic matter fractions of spent mushroom substrate. *Communications in soil science and plant analysis* 40: 150-161. <https://doi.org/10.1080/00103620802625575>
- Paredes C, Medina E, Bustamante MA, Moral R (2016) Effects of spent mushroom substrates and inorganic fertilizer on the characteristics of a calcareous clayey-loam soil and lettuce production. *Soil Use and Management* 32: 487–494. <https://doi.org/10.1111/sum.12304>
- Peregrina F, Larrieta C, Mariscal-Sancho I, Martín I, Martínez-Vidaurre JM, García-Escudero E (2012) Spent Mushroom Substrates Influence Soil Quality and Nitrogen Availability in a Semiarid Vineyard Soil. *Journal of Biological Chemistry* 278: 15116–15122. <https://doi.org/10.19361/j.er.2012.01.015>
- Phan CW, Sabaratnam V (2012) Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 96: 863–873. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4446-9>
- Posada FC, Cardozo MC (2009) Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. ‘Quindío’) cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 62: 4815-4822.
- Salamanca A, Sadeghian S (2009) La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Agricultural Education and Human Resource Development* 41: 191–210. <https://doi.org/10.23840/agehrd.2009.41.1.191>
- Scotti R, Bonanomi G, Scelza R, Zoina A, Rao MA (2015) Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15: 333–352. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162015005000031>
- Secretaría de Economía de México (1997). Norma Mexicana NMX-FF-031-1997. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. hortalizas frescas: tomate.
- Secretaría de Economía de México (2011). Norma Mexicana NMX-F-436-SCFI-2011. Industria azucarera y alcoholera. Determinación de grados brix en jugos de especies vegetales productoras de azúcar y materiales azucarados. Método del refractómetro.
- Weust PJ (1995) Use of Spent Mushroom Substrate (SMS) for Corn (maize) production and its effect on surface water quality. *Compost Science and Utilization* 3: 46–54. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1995.10701768>
- Wiafe-Kwagyan M, Odamtten GT (2018) Use of *Pleurotus* eous strain P-31 spent mushroom compost (SMC) as soil conditioner on the growth and yield performance of *Capsicum annum* L. and *Solanum lycopersicon* L. seedlings under greenhouse conditions in Ghana. *Tropical Life Sciences Research* 29: 173–194. <https://doi.org/10.21315/tlsr2018.29.1.12>