Agronomía Mesoamericana

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Artículo científico
Volumen 35: Artículo 55389, 2024
e-ISSN 2215-3608, https://doi.org/10.15517/am.2024.55389
https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/index

Mucuna pruriens peletizada y *Trichoderma harzianum* aplicados en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como enmienda y biocontrolador*

Pelletized *Mucuna pruriens* and *Trichoderma harzianum* applied to tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as an amendment and biocontrol agent

Arnaldo Martínez-Alfaro[2], *Andres Zuñiga-Orozco*[3]

* Recepción: 15 de junio, 2023. Aceptación: 19 de septiembre, 2023. Este trabajo formó parte del trabajo final de graduación al grado de Bachillerato del primer autor, carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad Estatal a Distancia.

[1] Universidad Estatal a Distancia, carrera de Agronomía. Mercedes, Montes de Oca, San José, Costa Rica. milenioagrocr@hotmail.com (https://orcid.org/0000-0003-0883-5574).

[2] Universidad Estatal a Distancia, carrera de Agronomía. Mercedes, Montes de Oca, San José, Costa Rica. azunigao@uned.ac.cr (autor para correspondencia, https://orcid.org/0000-0001-8214-4435).

Manuscrito aceptado

Resumen

Introducción. En agricultura orgánica, se utilizan abonos verdes y biocontroladores como métodos de fertilización y control de plagas. Sin embargo, la aplicación independiente de estos incrementa los costos de producción. Se propone una presentación peletizada que permita aplicar ambos insumos de forma conjunta. **Objetivo.** Evaluar el efecto de *Mucuna pruriens* L. peletizada e inoculada con *Trichoderma harzianum* Rifai en el aporte nutricional, el rendimiento agrícola y la regulación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). **Materiales y métodos.** El experimento se ejecutó durante el año 2022 en Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica, con un diseño experimental de bloques completos al azar con siete tratamientos y siete réplicas. Se aplicaron dos formulaciones (A y B) de biopélet (*M. pruriens* + zeolita + *T. harzianum*) en tres dosificaciones (15, 30, 50 g/planta). La adición de *T. harzianum* se efectuó a razón de 5 g por cada kilo de biopélet. Cada 15 días se realizaron aplicaciones de cada tratamiento para un total de ocho. Al momento de la siembra se inoculó *F. oxysporum* (100 mL/planta con una concentración de 1 x 10^3 UFC). **Resultados.** Con la aplicación del biopélet se alcanzó un rendimiento y peso de frutos de primera calidad similar al testigo comercial. En frutos de segunda y tercera calidad, no hubo diferencias significativas entre tratamientos. La eficiencia técnica en control de *F. oxysporum* alcanzó el 97,6 % con biopélet. Esta enmienda aumentó los niveles de C, N y M.O en el suelo y afectó el contenido nutricional del follaje de las plantas en los primeros 60 dds. **Conclusiones.** El biopélet tiene la capacidad de realizar aportes químicos y orgánicos al suelo, por lo cual mejora la nutrición del cultivo del tomate. Algunas dosificaciones tuvieron un rendimiento similar al testigo comercial. Es una alternativa de biocontrol contra *F. oxysporum* y compatible con *T. harzianum*. Se debe profundizar en la dosificación y composición de esta enmienda para la sustitución parcial o total de la fertilización química en el cultivo.

Palabras claves: abonos verdes, suelo, materia orgánica, *Solanum lycopersicum*, rendimiento.

© 2024 Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

Abstract

Introduction. In organic agriculture, green manure and biocontrollers are used as methods for fertilization and pest control. However, the independent application of these inputs increases production costs. A pelleted formulation is proposed to allow for the simultaneous application of both inputs. **Objective.** To evaluate the effect of pelletized Mucuna pruriens L. inoculated with *Trichoderma harzianum* Rifai on nutritional contribution, agricultural yield, and the regulation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Materials and methods**. The experiment was conducted during the year 2022 in Tablón del Guarco, Cartago (Costa Rica), using a randomized complete block design with seven treatments and seven replicates. Two formulations (A and B) of biopellet (M. pruriens + zeolite + *T. harzianum*) were applied at three dosages (15, 30, 50 g/plant). *T. harzianum* was added at a rate of 5 g/kg of biopellet. Applications of each treatment were conducted every 15 days for a total of eight applications. At the time of planting, *F. oxysporum* was inoculated (100 mL/plant with a concentration of 1 x 10^3 CFU). **Results**. The application of biopellet achieved a yield and weight of high-quality fruits similar to the commercial control. There were no significant differences among treatments for second and third-quality fruits. The technical efficiency in controlling *F. oxysporum* reached 97.6% with biopellet. This amendment increased the levels of C, N, and organic matter in the soil and affected the nutritional content of the plant foliage in the first 60 days after sowing. **Conclusions**. The biopellet has the capacity to make chemical and organic contributions to the soil, which improves the nutrition of the tomato crop. Some dosages had a similar performance to the commercial control. It is a biocontrol alternative against *F. oxysporum* and compatible with *T. harzianum*. The dosage and composition of this amendment must be studied in depth for the partial or total replacement of chemical fertilization in the crop.

Keywords: green manures, soil, organic matter, *Solanum lycopersicum*, yield.

Manuscrito aceptado

Introducción

Las prácticas de agricultura convencional ocasionan serios problemas en los suelos, entre ellos: baja fertilidad, niveles bajos de materia orgánica, disminución de la diversidad en la microbiota edáfica y emisión de gases de efecto invernadero. Los productores corrigen los bajos niveles de fertilidad de los suelos, con la adición de fertilizantes químicos; no obstante, el uso excesivo de estos ha ocasionado lixiviación de iones a los mantos acuíferos y contaminación ambiental (Burri et al., 2019), con emisiones de gases de efecto invernadero derivados de fertilizantes nitrogenados (Gonzalez-Estrada & Camacho Amador, 2017).

Debido a la problemática expuesta se plantea el uso de abonos verdes a base de leguminosas como una alternativa dentro de la agricultura sostenible. Estas plantas de la familia Fabaceae aportan 2,7 kg ha^{-1} de nitrógeno por año, por cada 100 kg ha^{-1} de M.S, además brindan una mejoría en la estructura y cantidad de materia orgánica (Castro-Rincón et al., 2018). De acuerdo con Aguilar (2021), cada especie de leguminosa aporta diferente cantidad de nitrógeno, los aportes varían entre los 75 y 240 kg ha^{-1} de nitrógeno por año.

Las leguminosas también aportan nitrógeno para los cultivos aportan nutrientes como fósforo, potasio, magnesio, entre otros. Además, promueven la fijación y reincorporación de CO_2 al suelo, por lo cual se convierte en una herramienta importante en una estrategia agro-forestal para mitigar el cambio climático (Stout et al., 2016). Con este tipo de tecnologías se busca obtener una producción más sostenible que genere un equilibrio entre la producción de alimentos y la protección del medio ambiente.

Las leguminosas se han empleado como “abonos verdes”, no obstante, aportan otro tipo de beneficios. Existen estudios donde se observa adición de materia orgánica, control de enfermedades y nemátodos. Se ha reportado control de *Meloidogyne* spp. en *M. pruriens* y *Crotalaria spectabilis* Roth (Osei et al., 2010), así como la habilidad

M. pruriens como controladora de nemátodos, arvenses y muchas enfermedades edáficas (Bunch, 2012; de Souza Bido et al., 2018).

Una forma de promover el uso y la aceptación de los abonos verdes es través de una presentación peletizada. Esta puede ser más aconsejable como tecnología agrícola para la mayoría de los cultivos y permite la utilización de material vegetal seco de *M. pruriens*. Esta leguminosa aporta entre 51 y 331 kg ha^{-1} de nitrógeno por año (Bunch, 2012; Brunner et al., 2011; Sanclemente Reyes et al., 2013). Algunos estudios experimentan la combinación con otros materiales como zeolita para mejorar las condiciones fisicoquímicas del suelo y el rendimiento agrícola (Zúñiga Orozco et al., 2020).

Los abonos verdes pelletizados tienen además otras ventajas como la facilidad de transporte, almacenamiento, facilidad de aplicación, control de la dosificación, y no despiden olores. Este último factor es importante puesto que, hay otras fuentes nitrogenadas orgánicas que atraen incluso fauna indeseable en los cultivos. En cuanto a peletizados existen pocos estudios comparativos, lo cual indica que es un área de estudio que ha despertado interés.

Estudios recientes demuestran el impacto positivo de la aplicación de peletizados, Gatsios et al. (2021) reportan la aplicación de alfalfa (*Medicago sativa* L.) peletizada a nivel de invernadero en tomate, con un incremento significativo de nitrógeno a nivel foliar y un aumento en rendimiento comparado con el control, Kaniszewski et al. (2019) utilizaron pellets de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y alfalfa (*M. sativa* L.) en campo abierto en cebolla y se obtuvo una mejoría en rendimiento. Otros investigadores utilizaron pellets de estiércol de bovino seco y aplicado en tomate hidropónico, en este experimento se obtuvo que el tratamiento con 50 % de **pellet** presentó los valores más altos para la mayoría de las variables, sin embargo, no superó al testigo comercial (Liu et al., 2019).

El uso de biopélets supone una ventana de oportunidad también para el control de fitopatógenos con hongos antagonistas debido al contenido de materia orgánica que poseen. En Costa Rica el tomate es un cultivo muy importante y es necesario controlar *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hans debido a que este hongo puede causar pérdidas en rendimiento de hasta 60 % (Agrios, 2005). Hay antecedentes donde se registra el uso de *Trichoderma harzianum* Rifai para el control de este hongo fitopatógeno (Delgado Maroto & Bermúdez Cardona, 2021; Vargas-Inciarte et al. 2019).

Es limitada la investigación que aborda el aprovechamiento de *M. pruriens* y su combinación con *T. harzianum* en el cultivo de tomate. Es por lo anterior que, esta investigación se realizó para evaluar el efecto de *Mucuna pruriens* L. peletizada e inoculada con *Trichoderma harzianum* Rifai en el aporte nutricional, el rendimiento agrícola y la regulación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* en tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Manuscrito aceptado

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó entre el periodo de enero a junio del 2022. Se ubicó en un suelo inceptisol con pendiente del 30 % en una finca hortícola de la comunidad de Tablón del Guarco en la provincia de Cartago, Costa Rica a una altitud aproximada de 1410 m s. n. m. Su ubicación es entre: latitud: 9.82961, longitud: -840075. El Guarco cuenta con una precipitación anual que ronda los 1500 mm, con 128 días de lluvia promedio y un clima tropical húmedo. Con respecto a la temperatura en este periodo fue de 17-29 °C (Accuweather, s.f.).

Se delimitó un área experimental de 12 x 12 m (144 m^2) en el que se trasplantó tomate de la variedad indeterminada Dioniso® a una distancia de 1,2 m entre hilera y 0,4 m entre plantas para una densidad de 20,825 plantas ha^{-1}. Se realizó un análisis inicial de suelo de tipo químico completo, con la finalidad de determinar las cantidades de macronutrientes y micronutrientes, % de C, % de N, C/N (carbono/nitrógeno) y % de M.O (materia orgánica) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis químico completo de suelo del sitio experimental en diciembre, 2021. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Table 1. Complete chemical soil analysis from the experimental site in december, 2021 Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

	Análisis químico de suelo (KCl-Olsen modificado)															
	pH		cmol (+)/L				%		mg/L				mS/cm		%	
	H_2O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	CE	C	N	C/N
Óptimo	5-7	<0,5	4-15	1-6	0,2-0,8	10-40	10-30	10-50	2-10	1-20	10-50	5-50	1-2,5			8-20
Análisis	5,01	0,60	10,6	4,2	0,63	16,1	4	65	15,9	16	260	70	0.,2	3,1	0,31	10,0

Material vegetal de *M. pruriens* como materia prima

Se utilizó material vegetativo fresco de *M. pruriens,* el cual fue cultivado tres meses antes del peletizado. El material provino del CITTED (Centro de Investigación Transferencia Tecnológica y Educación para el Desarrollo) perteneciente a la UNED en la Perla de San Carlos, Alajuela, Costa Rica. La siembra se realizó a una distancia de 0,5 m x 0,5 m con una planta por hueco para una densidad de 40 000 plantas/ha.

Para procesar el biopélet se tomaron hojas y tallos frescos del campo en sacos de 45 kg y se introdujeron en una picadora de pasto industrial Trapp (Bio-300G) para dejar el tejido lo más fino posible. Por cada kilogramo de material fresco se obtuvieron 182 g de materia seca, es decir por cada kilo de materia fresca se obtuvo 1/5 de materia seca.

Elaboración del biopélet

Se elaboró un biofertilizante a base de *M. pruriens* y arcillas minerales, estas últimas como fuente de hidrólisis para la disolución del pélet en el suelo. Para ello se añadió entre 780-850 g de zeolita. Se realizaron pruebas al añadir otros aditivos para determinar la formulación que mejor presentara condiciones de pH, dureza en Newton (medido con dinamómetro AEP ®) y porcentaje de disolución en agua a los diez días de elaborado. La disolución en agua se midió al dejar el pélet en agua por diez días y evaluar el porcentaje de disolución. Para proporcionar dureza al **pélet** se dejó secar en horno por varias horas hasta que alcanzara un porcentaje de humedad menor al 10 %.

Entre las formulaciones obtenidas, se eligieron las dos con las mejores características físicas y químicas. Estas dos formulaciones presentaron una firmeza de 16-52 N con 72 h de secado a 100 °C en horno, un pH de 6 y se diluyeron en agua al 100 % en diez días. Para efectos de este estudio, las formulaciones se denominaron como biopélet A (150 g de *M. pruriens* por kilo de pélet) y B (220 g de *M. pruriens* por kilogramo de pélet).

Se agregó el biocontrolador *T. harzianum* que tuvo una concentración $1x10^8$ UFC/g (Bio-tri® 1000WP), el cual ejerce efecto sobre *F. oxysporum* f. sp *lycopersici* a nivel de suelo. La adición del hongo a todos los biopélet se realizó en laboratorio antes de aplicar en campo con el fin de llevar el material ya inoculado. Para ello se incorporó 5 g del formulado comercial de *T. harziaunum* por cada 1 kg de biopélet. El pélet seco junto al hongo fue pesado en una balanza digital, puesto en una bolsa plástica y agitado hasta que se tuviera una distribución uniforme.

Inoculación de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Previo a la siembra se inoculó cada hueco de siembra con *F. oxysporum* f. sp *lycopersici* a una concentración de $1x\ 10^3$ UFC (unidades formadoras de colonias) en una dosis de 100 mL por planta aplicado con un recipiente marcado. El hongo *F. oxysporum* f. sp *lycopersici* fue proporcionado por el laboratorio de Fitoprotección del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA). Las condiciones iniciales del suelo se presentan en el Cuadro 1 después de haber tomado cinco submuestras en zig-zag a 20 cm de profundidad. La muestra se analizó en el Centro de

Manuscrito aceptado

Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica por el método KCl-Olsen modificado.

Aplicación del biopélet

Se evaluaron dos formulaciones del biopélet, una llamada biofertilizante A con 150 g kg^{-1} de *M. pruriens* y otro denominado biofertilizante B con 220 g kg^{-1} de *M. pruriens*. Se aplicó en la base de las plantas, en dosis de: 15, 30 y 50 gramos por planta (270, 540 y 900 kg ha^{-1}). Dichas dosis constituyeron los tratamientos, cada tratamiento tuvo siete repeticiones distribuidas al azar en toda el área experimental. Se incluyo un testigo comercial, el cual constaba del manejo comercial recomendado para el cultivo de tomate según López (2017).

Cuadro 2. Tratamientos y aplicación en tomate (*S. lycopersicum*) variedad indeterminada Dioniso® de dos formulaciones del biopélet inoculadas con *T. harzianum* durante enero-junio, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Table 2. Treatments and application of two formulations in tomato (*S. lycopersicum*) indeterminate var. Dioniso® of *T. harzianum* Inoculated Biopélet during January-June 2022 in Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Biopélet A = 150 g kg^{-1} de *M. pruriens*		**Biopélet B = 220 g kg^{-1} de *M. pruriens***	
Tratamientos	**Dosis en g/planta**	**Tratamientos**	**Dosis en g/planta**
1	15	**4**	15
2	30	**5**	30
3	50	**6**	50
7 = Testigo comercial			

Manuscrito aceptado

Después de siete días de trasplante se inició con el proceso de aplicación del biopélet en el cultivo aplicándolo a la base de la planta. La fertilización se realizó cada quince días durante cuatro meses para un total de ocho aplicaciones, esto se definió así para llenar los requerimientos del cultivo en cuanto a nitrógeno antes del día 60 dds y de acuerdo a los requerimientos de nitrógeno del tomate reportadas Geisseler et al. (2020).

Evaluación de variables

A los 60 días después del trasplante (dds) se comparó el estado nutricional de las plantas por medio de análisis foliares. Al final del experimento, se realizó un análisis de suelo del tipo químico completo que incluyó % de C, N y M.O para comparar contra el estado inicial del suelo. Se cuantificó el rendimiento de frutos en gramos/planta y rendimiento según calidad de frutos en gramos/planta para cada una de las tres calidades. Se evaluó el porcentaje de sobrevivencia de las plantas inoculadas con el patógeno *F. oxysporum* y tratadas con el biopélet + *T. harzianum*.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se elaboró un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) debido a la fuerte pendiente presentada en la finca (40 %). El ensayo consistió en utilizar siete tratamientos y siete repeticiones aleatorizadas en los bloques para un total de 49 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en 4 m^2 (diez plantas) y en total se cubrió un área de 147 m^2 en campo.

Para observar la distribución de los datos se realizó una prueba de Kolgomorov y se obtuvo normalidad en los datos. Luego de esto se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para comparar las varianzas entre las medias de los tratamientos. Para la separación de las medias, cuando se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, se utilizó la prueba de separación de medias LSD con un nivel de significancia de p=0,05 (95 % de confiabilidad). Para la transformación de los datos de porcentaje de sobrevivencia, se utilizó el arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje, previo a la realización del ANDEVA, debido a que no cumplían con la normalidad. Para el análisis, se utilizó el software Infostat® versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

Resultados

Concentración de nutrientes a nivel foliar

Se registró al día 60 dds para los elementos N, P, K, S, Fe, Cu y Zn que no hubo diferencias significativas (p>0,05) entre tratamientos en comparación al testigo, no obstante, si hubo diferencias significativas en los elementos Ca, Mg, Mn y B (p<0,05). Para el Ca el tratamiento de mayor concentración fue el tratamiento 3 (150 g *M. pruriens*/kg a 50 g/planta) y la menor concentración se observó en el testigo comercial. La mayor concentración de Mg se obtuvo en el tratamiento 5 (220 g *M. pruriens*/kg a 30 g/planta) mientras el de menor concentración fue el testigo comercial. Para el elemento Mn el de mayor concentración fue el tratamiento 4 (220 g *M. pruriens*/kg a 15 g/planta y el de menor fue el tratamiento 1 (150 g *M. pruriens*/kg a 15 g/planta). Para el elemento Boro, los de mayor concentración fueron el tratamiento 6 (220 g *M. pruriens*/kg a 50 g/planta) y testigo comercial, así mismo el de menor concentración fue el tratamiento 1 (150 g *M. pruriens*/kg a 15 g/planta).

Manuscrito aceptado

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos a nivel foliar en tomate (*S. lycopersicum*) variedad indeterminada Dioniso® a los 60 dds con aplicaciones de biopélet a base de *M. pruriens* durante enero-junio, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Table 3. Concentration of nutrients at the foliar level in tomato (*S. lycopersicum*) indeterminate var. Dioniso® at 60 das with applications of biopélets based on *M. pruriens* during January-June, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Valores	%						mg/kg				
críticos	2,5-3,9	0,20-0,24	0,8-0,9	0,25-0,39	1,05-2,8	0,25-0,39	30-39	3-4	18-19	30-39	20-24
Trat.	**N**	**P**	**Ca**	**Mg**	**K**	**S**	**Fe**	**Cu**	**Zn**	**Mn**	**B**
T. 1	2,65^{a}	0,25^{a}	1,99^{a}	0,52^{a}	2,91^{a}	0,95^{a}	75^{a}	23^{a}	77^{a}	111^{b}	39^{b}
T. 2	2,82^{a}	0,24^{a}	1,99^{a}	0,48^{ab}	2,85^{a}	0,85^{a}	89^{a}	23^{a}	68^{a}	129^{ab}	40^{ab}
T. 3	2,65^{a}	0,26^{a}	2,04^{a}	0,51^{a}	2,88^{a}	0,96^{a}	86^{a}	23^{a}	69^{a}	111^{b}	41^{ab}
T. 4	2,55^{a}	0,21^{a}	1,83^{ab}	0,52^{a}	2,57^{a}	0,79^{a}	88^{a}	24^{a}	71^{a}	165^{a}	41^{ab}
T. 5	2,66^{a}	0,26^{a}	1,89^{ab}	0,54^{a}	2,46^{a}	0,83^{a}	121^{a}	25^{a}	83^{a}	144^{ab}	43^{ab}
T. 6	2,77^{a}	0,23^{a}	1,85^{ab}	0,51^{a}	2,67^{a}	0,89^{a}	100^{a}	26^{a}	79^{a}	151^{ab}	44^{a}
T.C*	2,68^{a}	0,24^{a}	1,74^{b}	0,43^{b}	2,62^{a}	0,86^{a}	93^{a}	24^{a}	66^{a}	143^{ab}	44^{a}

*T.C.= testigo comercial. / *T.C.= commercial control.
Letras diferentes denotan diferencias significativas p<0,05). / Different letters denote significant differences p<0.05.

Rendimiento por planta

En cuanto a rendimiento total se observó que el testigo comercial mostró el mayor valor con 8,6 kg por planta (178 t ha^{-1}), mientras que, el de menor rendimiento fue el tratamiento 5 con un promedio de 5,8 kg por planta (120 t ha^{-1}) ($p<0,05$). En los tratamientos 1 y 3 donde se produjo 6,6 kg por planta (137 t ha^{-1}) y 6,8 kg por planta (143 t ha^{-1}) respectivamente, no se registraron diferencias significativas con respecto al testigo ($p>0,05$).

En cuanto a tomates de primera calidad, el testigo comercial registró el mayor valor con 4,2 kg por planta (87 t ha^{-1}) y el tratamiento 6 el de menor valor con 2,3 kg por planta (47 t ha^{-1}) ($p<0,05$). En frutos de primera calidad, los tratamientos 1, 3, 4 y 5 con rendimientos de 3,1 por planta (64 t ha^{-1}), 3,2 kg por planta (73 t ha^{-1}), 2,7 kg por planta (56 t ha^{-1}) y 2,6 kg por planta (52 t ha^{-1}) respectivamente, no presentaron diferencias significativas con respecto al testigo ($p>0,05$). Las calidades de segunda y tercera, no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ni con respecto al testigo comercial ($p>0,05$).

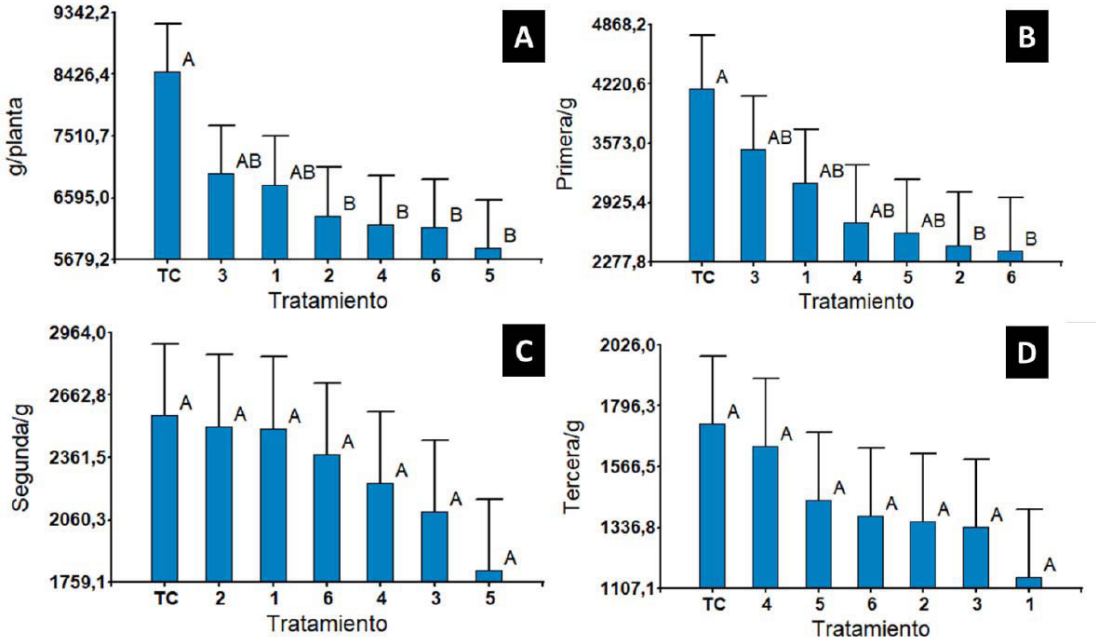

Figura 1. Peso por planta entre tratamientos obtenidos al aplicar biopélet de *M. pruriens* en tomate (*S. lycopersicum*) variedad indeterminada Dioniso®. A) Peso/planta en gramos por tratamiento. B, C y D) Peso de primera, segunda y tercera calidad en g/planta. Enero-junio, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Letras diferentes denotan diferencias significativas $p<0,05$.

T1: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 15 g/planta, T2: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 30 g/planta, T3: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 50 g/planta, T4: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 15 g/planta, T5: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 30 g/planta. T6: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 50 g/planta, T7: testigo comercial.

Figure 1. Weight per plant between treatments obtained by applying biopélets of *M. pruriens* in tomato (*S. lycopersicum*) indeterminate var. Dioniso®. A) Weight/plant in grams per treatment. B, C and D) Weight of first, second and third quality in g/plant. January-June, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Different letters denote significant differences $p<0.05$.

T1: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 15 g/plant, T2: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 30 g/plant, T3: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 50 g/plant, T4: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 15 g/plant, T5: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 30 g/plant. T6: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 50 g/plant, T7: commercial control.

Composición química del suelo

Al comparar los niveles de nutrimentos y otros parámetros en el suelo en un estado inicial versus final se encontró que, en los tratamientos aplicados con biopélet el pH, acidez y % saturación de acidez (S.A) mantuvieron niveles menores al testigo comercial, lo cual se considera benéfico al evitar la degradación del suelo por acidificación. Los elementos Ca, Mg, K, Zn (excepto en el tratamiento 6) terminaron con niveles más altos en los tratamientos con respecto al testigo comercial. La CICE terminó con un mejor valor en los tratamientos con respecto al testigo comercial.

Cuadro 4. Composición química del suelo comparativa inicial versus final, al utilizar *M. pruriens* peletizada. Enero-junio, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Table 4. Initial versus final comparative soil chemical composition, when using péleted *M. pruriens*. January-june, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

No se menciona en texto

	pH	cmol (+)/L					%	mg/L				
Tratamientos		**Acidez**	**Ca**	**Mg**	**K**	**CICE**	**S.A**	**P**	**Zn**	**Cu**	**Fe**	**Mn**
Contenido óptimo	**6-7**	**<0,3**	**6-15**	**3-6**	**0,5-0,8**	**>5**	**10-25**	**20-50**	**3-10**	**1-20**	**10-50**	**10-50**
Inicial	5,1	0,6	10,67	4,21	0,63	16,11	3.7	65	15,9	16	260	70
1	5,5	0,18	10,38	4,24	1,79	16,59	1	96	24,3	14	292	83
2	5,3	0,21	9,73	3,88	1,61	15,43	1	116	25,4	14	321	86
3	5,6	0,17	10,35	4,46	2,12	17,10	1	105	22,8	14	281	76
4	5,3	0,33	9,37	3,80	1,02	14,52	2	59	14,9	13	255	53
5	5,2	0,25	9,85	4,02	1,25	15,37	2	68	19,8	14	300	70
6	5,1	0,47	9,03	3,72	1,04	14,26	3	82	17,9	13	313	82
T. C	4,8	0,60	8,52	3,55	0,85	13,52	4	112	19,1	12	294	94

Letras diferentes denotan diferencias significativas p<0,05. / Different letters denote significant differences p<0.05.
T1: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 15 g/planta, T2: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 30 g/planta, T3: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 50 g/planta, T4: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 15 g/planta, T5: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 30 g/planta. T6: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 50 g/planta. T7: testigo comercial. / T1: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 15 g/plant, T2: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 30 g/plant, T3: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 50 g/plant , T4: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 15 g/plant, T5: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 30 g/plant. T6: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 50 g/plant, T7: commercial control.

Manuscrito aceptado

En cuanto a los niveles de C, N y M.O en el suelo se observaron diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05) (Cuadro 5). Los tratamientos 1, 2 y 3, superaron al testigo comercial en cuanto a C, N y M.O. En la relación C/N no hubo diferencias significativas (p>0,05).

Otro aspecto a considerar es que el promedio final de C, N, C/N y M.O fue mayor al finalizar el experimento (p>0,05), por lo cual se registra un aumento en dichas variables en comparación a los valores iniciales.

Sobrevivencia en plantas de tomate

El porcentaje de sobrervivencia fue en promedio de un 97,6 %. Solo una planta en el tratamiento 6 murió por *F. oxysporum*. De acuerdo con la Figura 2, no se presentaron diferencias estadísticas significativas en cuanto

Cuadro 5. Aporte de % C, % N, % C/N y % M.O al suelo, al comparar niveles iniciales versus finales al aplicar *M. pruriens* peletizada. Enero-junio, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Table 5. Contribution of % C, % N, % C/N and % M.O comparing initial versus final levels when applying pelleted *M. pruriens*. January-june, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

		% C	% N	% C/N	% M.O
	Inicial	3,09	0,31	10	5,3
	1	3,82[a]	0,37[a]	10,3[a]	6,6[a]
	2	3,97[a]	0,38[a]	10,4[a]	6,8[a]
	3	3,91[a]	0,37[a]	10,6[a]	6,7[a]
Final	**4**	3,05[b]	0,31[b]	9,8[a]	5,3[b]
	5	2,92[b]	0,29[b]	10,1[a]	5,0[b]
	6	3,40[ab]	0,33[b]	10,3[a]	5,9[ab]
	T. C	3,05[b]	0,31[b]	9,8[a]	5,3[b]
Promedio final trat. con biopélet		3,68	0,39	10,25	6,1

Letras diferentes denotan diferencias significativas p<0,05. / Different letters denote significant differences p<0,05. T1: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 15 g/planta, T2: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 30 g/planta, T3: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 50 g/planta, T4: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 15 g/planta, T5: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 30 g/planta. T6: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 50 g/planta, T7: testigo comercial. / T1: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 15 g/plant, T2: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 30 g/plant, T3: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 50 g/plant , T4: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 15 g/plant, T5: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 30 g/plant. T6: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 50 g/plant, T7: commercial control.

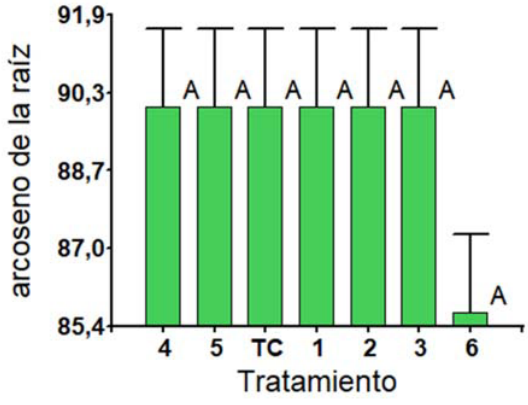

Figura 2. Arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje de sobrevivencia del tomate (*S. lycopersicum*) variedad indeterminada Dioniso® a *F. oxysporum* al término del experimento (letras iguales denotan que no hubo diferencias significativas p>0,05). Enero-junio, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Letras diferentes denotan diferencias significativas p<0,05. T1: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 15 g/planta, T2: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 30 g/planta, T3: 150 g de *M. pruriens*/kg pélet a 50 g/planta, T4: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 15 g/planta, T5: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 30 g/planta. T6: 220 g de *M. pruriens*/kg pélet a 50 g/planta, T7: testigo comercial.

Figure 2. Arcsine of the square root of the percentage of survival of tomato (*S. lycopersicum*) indeterminate var. Dioniso® to *F. oxysporum* at the end of the experiment (different letters denote significant differences p<0.05). January-june, 2022. Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica.

Different letters denote significant differences p<0.05. T1: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 15 g/plant, T2: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 30 g/plant, T3: 150 g of *M. pruriens*/kg pellet at 50 g/plant, T4: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 15 g/plant, T5: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 30 g/plant. T6: 220 g of *M. pruriens*/kg pellet at 50 g/plant, T7: commercial control.

Manuscrito aceptado

a sobrevivencia (p>0,05). **No fué identificar** cual tratamiento con biopélet fue más efectivo para controlar *F. oxysporum*, sin embargo, es posible indicar que el recubrimiento con *T. harzianum* controló *F. oxysporum* de igual forma al manejo tradicional con fungicidas.

Discusión

Las formulaciones del biopélet seleccionadas para este estudio, presentaron una dureza adecuada y características técnicas que permitieron determinar su compatibilidad con la aplicación de la enmienda, así como favorecer la aplicación de *T. harzianum*. Un factor importante para el desarrollo de biopélets es además la uniformidad de la mezcla. La uniformidad al mezclar los componentes, el % de humedad aportado y la pureza del material a peletizar son vitales para la conformación estructural de un pélet (Soto Rojas, 2017). El pélet mantuvo una humedad en 12-18 %, dado que, es determinante para que la mezcla pase por las máquinas peletizadoras, otros investigadores concuerdan con los valores utilizados en este estudio (Barrientos Blanco, 2010; Carrillo Paniagua, 2015).

En cuanto a producción, los resultados no favorecieron a los tratamientos aplicados con biopélet. Es posible que la composición del mismo no tuviera una concentración de nutrientes considerable, dado que, requiere de otros ingredientes para que la formulación sea estable y fácil de diluirse con el agua. Lo anterior limitó el aporte de nitrógeno por parte de *M. pruriens*, además en el proceso de secado se pierde un porcentaje de N, tal como lo reportaron Li et al. (2020).

El material seco de *M. pruriens* presentó 2,8 % de N y se usó 150-220 g de materia seca/kg de pélet, esto provocó una disminución del nitrógeno en la concentración final, la cual se estima en 0,56 % de N en el material que llegó a la planta. Fue posible llenar los requerimientos nutricionales hasta el día 60 dds, según lo indicado en los análisis foliares debido a la frecuencia de aplicación, no obstante, posterior al día 60 dds, no fue posible llenar los requerimientos nutricionales de la planta de tomate, los cuales son requeridas en grandes cantidades. Los requerimientos de nitrógeno pueden varían desde los 200-466 kg ha^{-1} y depende de muchos factores como la variedad, tipo de suelo, entre otros (Blaesing et al., 2006; Tei et al., 2002).

Lo obtenido en cuanto a producción y calidad favoreció al testigo comercial, sin embargo, el tratamiento 3 (150 g *M. pruriens* a 50 gramos por planta) no fue estadísticamente diferente al testigo comercial, por lo cual debe prestársele especial atención al considerar que aportó el mayor contenido de Mg tanto en el suelo como en el follaje, así como el mayor aporte de P al suelo.

El biopélet sí mejoró los valores en varias variables, las cuales, denotaron una mejoría en la calidad del suelo.

Los nutrimentos foliares a los 60 dds se compararon contra valores críticos según Meléndez y Molina (2002). De acuerdo con estos autores en tomate, los niveles críticos de N, P y K deberían estar dentro de cierto rango y lo encontrado en el presente estudio estuvieron dentro de lo recomendado al momento de la toma de la muestra. Se podría concluir que lo aportado a nivel nutricional hasta el día 60 dds con el biopélet, fue adecuado y esto es positivo desde el punto de vista ambiental, al no tener que aplicar fertilizante químico.

Otros nutrimentos como Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B estuvieron incluso en niveles superiores a los óptimos en todos los tratamientos. El tratamiento 3 (150 g *M. pruriens* a 50 g/planta) se observó promisorio en el aporte de Ca y el tratamiento 5 (220 g *M. pruriens* a 30 g/planta) en cuanto a Mg. Lo anterior concuerda con Elfstrand et al. (2007) quienes reportaron aumentos de otros nutrientes como N, P y S, al incorporar abonos verdes a base de *T. pratense* L. en sistemas de cultivo. Los elementos mencionados son importantes en la elongación celular, formación de clorofila, tejidos estructurales, interactúan con hormonas vegetales como las citoquininas, transporte de carbohidratos, crecimiento radical y otras funciones vitales en la planta (Alcántar González et al., 2016).

Manuscrito aceptado

ISSN 2215-3608 https://doi.org/10.15517/am.2024.55389

Los niveles de nutrimentos antes del día 60 dds fueron los adecuados tanto en los tratamientos aplicados con biopélet como en el testigo. Lo anterior indica que es posible llenar los requerimientos nutricionales del tomate con la utilización de *M. pruriens* peletizada hasta ese momento. Con base en que no hubo un efecto en el rendimiento se debe analizar que en la etapa de llenado de fruto hay gran demanda de nitrógeno y se necesita el 64 % del nitrógeno total (Geisseler et al., 2020), 128-298 kg ha^{-1} de nitrógeno, y es en ese momento donde se debe aumentar el aporte con fuentes nitrogenadas orgánicas, químicas o ambas.

De acuerdo con lo anterior, algunas opciones que deben analizarse para mejorar efectividad son: aumentar dosis, frecuencia de aplicación, diseñar un pélet concentrado al 100 % de *M. pruriens* y en última instancia combinar todos los anteriores. Un biopélet concentrado al 100 % de *M. pruriens* podría tener entre 2,8-3,0 % de N y con ello se puede alcanzar hasta 450 kg ha^{-1} de N con una dosis de 100-150 g/planta en cuatro momentos de aplicación durante el ciclo. Esta opción necesitará evaluarse en campo debido a que el aporte de C y M.O también incrementará y podría ser una fuente importante para aumentar la diversidad y cantidad de microorganismos de suelo. Algunos investigadores citan la relación entre la biodiversidad del suelo y la incorporación de enmiendas orgánicas (Köninger et al., 2021).

La microbiota del suelo es muy importante, bacterias del género *Azotobacter sp*, y *Azosperrillum sp* juegan un papel crítico en el proceso de fijación de nitrógeno. Lo anterior sería de especial importancia al aplicar una fuente concentrada de carbono como es el biopélet a base de *M. pruriens* o cualquier otra especie leguminosa con alta concentración de N, C y M.O (Lara Mantilla et al., 2007).

Hubo una menor acidificación del suelo en los tratamientos aplicados con la aplicación del biopélet con respecto al testigo comercial. Este efecto es de especial interés porque las enmiendas orgánicas evitan un exceso de liberación de iones hidronio, lo cual se traduce en mayor protección del suelo a la degradación química. El efecto acidificante de los fertilizantes se relaciona con el tipo de suelo, tipo de fertilizante, material parental, materia orgánica, el cultivo, entre otros factores (Zhang, 2017).

En algunos tratamientos se observó una mejoría en cuanto a niveles de C, N y M.O. En la relación C/N se encontró que entre los tratamientos y el testigo los valores fueron muy similares, no obstante, al comparar lo encontrado al inicio versus lo encontrado al final, se logró observar un leve incremento y esto se debe a que el carbono aumentó en mayor proporción que el nitrógeno. Lo anterior indica que se favoreció la formación de coloides que mejoran la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y a su vez se genera una mejoría en la estructura, porosidad y fertilidad del suelo. Se ha reportado que las enmiendas orgánicas mejoran las características físicas del suelo (Sanclemente-Reyes & Patiño-Torres, 2015), asimismo, los coloides son partículas nanométricas que participan en la formación de la materia orgánica y son de particular importancia en el balance de los ecosistemas (Yan et al., 2018).

Se debe tener en cuenta que múltiples factores influencian la efectividad de las enmiendas orgánicas. Las condiciones climáticas y el material parental influencia la heterogeneidad espacial de nutrientes (Delpiano et al., 2020). Lo anterior repercute sobre la microbiota edáfica en cuanto a presencia de taxones. Algunos investigadores han reportado aumento en la diversidad de la microbiota en sistemas de cultivo que incorporaron la leguminosas (Onica et al., 2017).

En relación con el aporte de M.O se logró constatar que, hubo un incremento en los tratamientos con biopélet en valores que aumentaron de 5,3 % a 6,1 % en el promedio final. Lo anterior representa un aporte del 0,7 % al final del experimento y esto se traduce en 46 kg ha^{-1} de carbono o 0,14 Mg ha^{-1} de carbono orgánico total en suelo por superficie. La incorporación de materia orgánica en el sistema suelo contribuye a la mitigación del cambio climático, esto ocurre a través de la fotosíntesis de leguminosas quienes procesan CO_2 atmosférico, pero además esa forma de carbono pasa al suelo al ser incorporado como materia prima (Stout et al., 2016; Navarro-Pedreño et al., 2021) en este caso a través del biopélet.

Manuscrito aceptado

ISSN 2215-3608 https://doi.org/10.15517/am.2024.55389

Se observó compatibilidad de *T. harzianum* con el biopélet y esto es posible que contribuyera en la regulación sobre *F. oxysporum,* no obstante, no se registraron diferencias significativas. La presencia de materia orgánica en el biopélet es un factor importante para que el hongo antagonista pueda permanecer en buenas condiciones y favorecer su actividad (Organo et al., 2022). Esto es importante por el almacenamiento y la vida anaquel del producto. Este hongo tiene diversos mecanismos de control (Infante et al., 2009) no obstante, no solo se alimenta de materia orgánica, sino que también acelera la descomposición de esta (Cai et al., 2015; Organo et al., 2022).

Luego de mencionar los efectos positivos encontrados con la aplicación del biopélet es importante discutir por qué no se tradujo en rendimiento. Una de las razones, como ya se mencionó, es la alta demanda de nutrientes del cultivo de tomate (sobre todo en la etapa de llenado de fruto), sin embargo, también hay que tomar en cuenta que el biopélet debe pasar por un proceso de mineralización y esto en ocasiones puede ser lento. Lo anterior toma en cuenta la relación C/N y la tasa de mineralización, para el caso de este estudio se observó que esta proporción favoreció al carbono, lo que indica que es posible que los efectos se observen a mediano plazo. El mejoramiento de suelos es un proceso regenerativo y puede tomar tiempo. Algunos investigadores indican que, hay un efecto evidente hasta después de un ciclo de cultivo (Bunch, 2012). Con base en lo anterior, es recomendable analizar la incorporación de microorganismos como *Lactobacillus* sp. y *Sphaerobacter* sp. para facilitar la degradación de la M.O. (Zhan et al., 2023) en el biopélet y además liberar nitrógeno, sobre todo en suelos donde se aplica por primera vez.

Conclusiones

La aplicación del biopélet proporcionó un aporte nutricional adecuado al cultivo del tomate antes del día 60 dds, enriqueció el suelo con calcio, magnesio, potasio y zinc. Contribuyó a mantener un pH equilibrado mediante el aporte de carbono, nitrógeno y materia orgánica. Además, incidió en una menor acidificación del suelo.

En rendimiento se obtuvieron tratamientos similares al testigo comercial, no obstante, se identificó un potencial de mejora en la etapa fenológica de llenado de fruto.

El biopélet recubierto con *T. harzianum* fue eficaz para el control de *F. oxysporum* de forma biológica.

Manuscrito aceptado

Referencias

Accuweather (s.f.). *Registro de temperatura en Tablón del Guarco, Cartago, Costa Rica. Periodo enero-junio, 2022*. Recuperado el 4 de julio, 2022 de https://www.accuweather.com/es/cr/tablon/112482/january-weather/112482?year=2022

Aguilar, E. (2021). *Uso y producción de M. stizolobium spp y C. ensiformis en terrenos de descanso*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia Agropecuaria.

Agrios, G. (2005). *Plant pathology* (5th ed). Elsevier Academic Press.

Alcántar González, G., Trejo Téllez, L. I., & Gómez Merino, F. C. (2016). *Nutrición de cultivos* (2ª ed.). Colegio de Posgraduados.

Barrientos Blanco, J. A. (2010). *Producción de peletizado a partir de forraje de Soya (Glycine max. L. Merr. var. GIGRAS 06) para la alimentación en bovinos de carne y leche*. [Tesis de bachillerato, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3311/Produci%C3%B3n%20de%20peletizado%20a%20partir%20de%20forraje%20de%20soya%20%28Glycine%20max.%20L.%20Merr.%20var%20CIGRAS%2006%29%20para%20la%20alimentaci%C3%B3nd%20en%20bovinos%20de%20carne%20y%20leche.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Blaesing, D., Murray, A., Shultz, M., & Stewart, M. (2006). Nutrient management for high soluble solids production in Australia processing tomatoes. *Acta Horticulturae, 724*, 75-83. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.724.8

Brunner, B., Beaver, J., & Flores, L. (2011). *Mucuna pruriens* [Hoja informativa]. Estación Experimental Agrícola de Lajas. https://www.yumpu.com/es/document/read/9154627/mucuna-pruriens-agricultura-organica-puerto-rico

Bunch, R. (2012). *Restoring the soil. A guide for using green manure/cover crops to improve the food security of smallholder farmers*. Canadian Foodgrains Bank. https://agriprofocus.com/upload/Restoring_the_Soil1417003689.pdf

Burri, N. M., Weatherl, R., Moeck, C., & Schirmer, M. (2019). A review of threats to groundwater quality in the Anthropocene. *Science of The Total Environment, 684*, 136-154. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.236

Cai, F., Chen, W., Wei, Z., Pang, G., Li, R., Ran, W., & Shen, Q. (2015). Colonization of *Trichoderma harzianum* strain SQR-T037 on tomato roots and its relationship to plant growth, nutrient availability and soil microflora. *Plant Soil, 388*, 337-350. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2326-z

Carrillo Paniagua, T. (2015). *Caracterización de Pellets con fines energéticos elaborados a partir de residuos forestales*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Escuela de Ingeniería en Biosistemas. https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2015/08/17caracterizaciondepellets.pdf

Castro-Rincón, E., Mojica-Rodríguez, J. E., Carulla-Fornaguera, J. E., & Lascano-Aguilar, C. E. (2018). Evaluación de leguminosas como abono verde en cultivos forrajeros para ganadería en el caribe seco colombiano. *Agronomía Mesoamericana, 29*(3), 597-617. https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.32350

Delgado Maroto, L. D., & Bermúdez Cardona, M. B. (2021). Inducción de resistencia en tomate (*Solanum lycopesicum* L.) y antagonismo de *Trichoderma viride* contra *Fusarium oxysporum*. *Acta Agronomica, 70*(1), 101-106. https://doi.org/10.15446/acag.v70n1.78357

Delpiano, C. A., Prieto, I., Loayza, A. P., Carvajal, D. E., & Squeo, F. A. (2020). Different responses of leaf and root traits to changes in soil nutrient availability do not converge into a community-level plant economics spectrum. *Plant and Soil, 450*(1-2), 463-478. https://doi.org/10.1007/s11104-020-04515-2

de Souza Bido G., da Silva H. A., da Silva Coelho Bortolo T., Rodrigues Maldonado, M.R., Marchiosi, R., Dantas dos Santos, W., & Ferrarese-Filho, O. (2018). Comparative effects of L-DOPA and velvet bean seed extract on soybean lignification. *Plant Signal Behaviour,13*(4), Article e1451705. https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1451705

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, G., González, L., & Tablada, M. (2020). InfoStat versión 2020. https://www.infostat.com.ar/

Gatsios, A., Ntatsi, G., Celi, L., Said-Pullicino, D., Tampakaki, A., & Savvas D. (2021). Legume-based mobile green manure can increase soil nitrogen availability and yield of organic greenhouse tomatoes. *Plants, 10*(11), Article 2419. https://doi.org/10.3390/plants10112419

Geisseler, D., Aegerter, B. J., Miyao, E. M., Turini, T., & Cahn, M. D. (2020). Nitrogen in soil and subsurface drip-irrigated processing tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) as affected by fertilization level. *Scientia Horticulturae, 261*, Article 108999. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108999

Gonzalez-Estrada, A., & Camacho Amador, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero, de la fertilización nitrogenada en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8*(8), 1733-1745. https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.698

Manuscrito aceptado

Infante, D., Martínez, B. Gonzáles, N., & Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de Trichoderma, frente a hongos fitopatógenos. Revista de Protección Vegetal, 24(1), 14-21.

Kaniszewski, S., Babik, I., & Babik, J. (2019). New pelleted plant-based fertilizers for sustainable onion production. *Universal Journal of Agricultural Research, 7*(6), 210-220. https://doi.org/10.13189/ujar.2019.070603

Köninger, J., Lugato, E., Panagos, P., Kochupillai, M., Orgiazzi, A., & Briones, M. J. I (2021). Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable food systems in the EU. *Agricultural Systems, 194*, 103251. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103251

Lara Mantilla, C., Villalba Anayz, M., & Oviedo Zumaqué, L. E. (2007). Bacterias fijadoras asimbióticas de nitrógeno de las zonas agrícolas de San Carlos. Córdoba, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología, 9*(2), 6-14.

Liu, Z., Howe, J., Wang, X., Liang, X., & Runge, T. (2019). Use of dry dairy manure pellets as nutrient source for tomato (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme) growth in soilless media. *Sustainability, 11*(3), 811. https://doi.org/10.3390/su11030811

López, L. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum)*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf

Meléndez, G., & Molina, E. (2002). *Tablas de interpretación de análisis foliares en cultivos*. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. http://www.cia.ucr.ac.cr/sites/default/files/2021-09/05%20Tablas%20Interpretaci%C3%B3n%20An%C3%A1lisis%20Foliar.pdf

Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M. B., & Zorpas, A. A. (2021). The increase of soil organic matter reduces global warming, myth or reality? *Sci, 3*(1), 18. https://doi.org/10.3390/sci3010018

Onica, B. -H., Vidican, R., Sandor, V., Brad, T., & Sandor, M. (2017). Priming effect induced by the use of different fertilizers on soil functional diversity. *Bulletin of University of Agricultural Science and Veterinary Medicine CLUJ-Napoca Agriculture series Agriculture, 74*(2), 107-115. https://journals.usamvcluj.ro/index.php/agriculture/article/view/12774

Organo, N. D., Granada, S. M. J. M, Pineda, H. G. S, Sandro, J. M., Nguyen, V. H., & Gummert, M. (2022). Assessing the potential of a Trichoderma-based compost activator to hasten the decomposition of incorporated rice straw. *Scientific Reports, 12*, 448. https://doi.org/10.1038/s41598-021-03828-1

Osei, K., Gowen, S. R, Pembroke, B., Brandenburg, R. L., & Jordan, D. L. (2010). Potential of leguminous cover crops in management of a mixed population of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). *Journal of Nematology, 42*(3), 173-178.

Sanclemente Reyes, O. E, Prager Mosquera, M., & Beltrán Acevedo, L. R. (2013). Aporte de Nitrógeno al suelo por *Mucuna pruriens* y su efecto sobre sobre el rendimiento de maíz dulce *(Zea mayz* L.*). Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 4*(2), 149-155. https://doi.org/10.22490/21456453.978

Sanclemente-Reyes, O. E., & Patiño-Torres, O. C. (2015). Efecto de la *Mucuna pruriens* como abono verde y cobertura, sobre algunas propiedades físicas del suelo. *Entramado, 11*(1), 206-211.

Stout, B., Rattan, L. & Monger, C. (2016). Carbon capture and sequestration: The roles of agriculture and soils. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 9*(1), 1-8. https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20160901.2280

Soto Rojas, N. J. (2017). *Generación de pellets y compost a partir de residuos agrícolas*. [Tesis de grado, Universidad Técnica Federico Santa María]. Repositorio Peumo Digital USM. https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/22658/3560900231641UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Manuscrito aceptado

Vargas-Inciarte, L., Fuenmayor-Arrieta. Y., Luzardo-Méndez, M., Da Costa-Jardin, M., Vera, A., Carmona, D., Homen-Pereira, M., Da Costa-Jardin, P., & San-Blas, E. (2019). Use of different Trichoderma species in cherry type tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) against *Fusarium oxysporum* wilt in tropical greenhouses. *Agronomía Costarricense, 43*(1), 85-100. https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35671

Li, X., Li, B., & Tong, Q. (2020). The effect of drying temperature on nitrogen loss and pathogen removal in laying hen manure. *Sustainability, 12*(1), 403. https://doi.org/10.3390/su12010403

Tei, F., Benincasa, P., & Guiducci, M. (2002). Critical nitrogen concentration in processing tomato. *European Journal of Agronomy, 18*(1-2), 45-55. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00096-5

Yan, J., Manelski, R., Vasilas, B., & Jin, Y. (2018). Mobile Colloidal Organic Carbon: An Underestimated Carbon Pool in Global Carbon Cycles? *Frontiers in Environmental Science, 6*, 148. https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00148

Zhang, H. (2017). *Cause and effects of soil acidity*. Oklahoma Cooperative Extension Service. https://extension.okstate.edu/fact-sheets/cause-and-effects-of-soil-acidity.html

Zhan, Y., Chang, Y., Tao, Y., Zhang, H., Lin, Y., Deng, J., Ma, T., Ding, G., Wei, Y., & Li, J. (2023). Insight into the dynamic microbial community and core bacteria in composting from different sources by advanced bioinformatics methods. *Environmental Science and Pollution Research, 30*(4), 8956-8966. https://doi.org/10.1007/s11356-022-20388-7

Zúñiga Orozco, A., Montero Jara, K., & Peña Cordero, W. (2020). Análisis de la eficiencia de la fertilización mediante el uso de Zeolita natural y *Mucuna pruriens* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L) bajo condiciones controladas en microparcelas situadas en Parrita Puntarenas Costa Rica. *Repertorio Científico, 23*(2), 23-36. https://doi.org/10.22458/rc.v23i2.2985

Manuscrito aceptado