



Artículo Científico

Efecto de enmiendas orgánicas en el control de *Meloidogyne incognita* y en las propiedades fisicoquímicas del suelo

María de Jesús Briseño-López¹, Sergio Zamora-Salgado¹, Gregorio Lucero-Vega¹, Mirella Romero-Bastidas^{1*}.

¹Universidad Autónoma de Baja California Sur. Carretera al Sur km 5.5., Apartado Postal 19-B. 23080, La Paz, Baja California Sur, México.

*Autor de Correspondencia:
Mirella Romero-Bastidas
miromero@uabcs.mx

Sección:
Número Especial

Recibido:
30 Noviembre, 2024

Aceptado:
26 Septiembre, 2025

Publicado:
03 Octubre, 2025

Cita:

Briseño-López MJ, Zamora-Salgado S, Lucero-Vega G y Romero-Bastidas M. 2025. Efecto de enmiendas orgánicas en el control de *Meloidogyne incognita* y en las propiedades fisicoquímicas del suelo. Revista Mexicana de Fitopatología 43(4): 93. <https://doi.org/10.18781/R.ME.X.FIT.2024-29>

RESUMEN

Antecedentes/Objetivo. Las enmiendas orgánicas aplicadas en los sistemas agrícolas comúnmente proveen nutrientes a los cultivos. Sin embargo, son escasos los estudios sobre su respuesta diferencial simultánea en el control de *Meloidogyne incognita* y las características fisicoquímicas del suelo. En este estudio, se compararon tres enmiendas orgánicas (Vermicomposta, estiércol de vaca y abono verde de Neem) en el control del nematodo agallador y su influencia en las características edafológicas del suelo.

Materiales y Métodos. Suelo agrícola, previamente esterilizado y mezclado con las enmiendas orgánicas individualmente fue depositado en macetas plásticas de 4 L de capacidad. Un tratamiento con la mezcla de las tres enmiendas, un fertilizante sintético y el control agua fueron agregados y establecidos en un diseño de bloques completos al azar con 15 repeticiones. Cada maceta se inoculó con 500 juveniles de *M. incognita*, 20 días posteriores se analizaron los parámetros fisicoquímicos y a los 90 días se determinó la población del nematodo y el factor de reproducción.

Resultados. La enmienda de vermicomposta influyó significativamente ($P = 0.0001$) en la población de *M. incognita* ($\leq 80\%$) respecto al control (100%). Así como en las variables edafológicas, como la materia orgánica (1.11%) comparado con el resto de los tratamientos (0.27%).

Conclusión. La reducción eficiente de población de nematodos se registró principalmente en las enmiendas de vermicomposta (111 nematodos/g de suelo) y estiércol (505) respecto al control (1,037). Estos resultados proveen información importante sobre el impacto de las enmiendas, en el control de nematodos fitopatógenos y en las características del suelo.

Palabras clave: Biocompostas, Edafología, Nematodos, Control



INTRODUCCIÓN

Actualmente, en la producción de alimentos vegetales, se tiene una demanda y exigencia continua en la calidad de los productos a nivel mundial (Dong *et al.*, 2022). Sin embargo, existen múltiples factores que podrían reducir tanto la cantidad y calidad de éstos. Por ejemplo, el nematodo agallador (*Meloidogyne incognita*), se considera de mayor importancia dentro de los sistemas agrícolas, debido a la amplia gama de cultivos que afecta. Éste causa la formación de agallas radiculares que interrumpe el flujo de agua y nutrientes, lo que reduce el rendimiento de los cultivos (Mesa *et al.*, 2020). El nivel de daño generalmente depende de la densidad poblacional del nematodo, la susceptibilidad de la planta y de las condiciones edáficas. Aunque la aplicación constante de nematicidas sintéticos es el método tradicional para el control de nematodos, este enfoque genera consecuencias ambientales importantes. En particular, los residuos tóxicos que dejan estos productos afectan directamente al suelo, ya que alteran las moléculas químicas que se asocian con las estructuras o cristales que determinan sus distintas texturas, provocando un desequilibrio en su formación y calidad (Reyes-Palomino y Cano-Ccoa, 2022; Watson *et al.*, 2020). Estas alteraciones pueden generar una alta erosión, baja retención de humedad, disminución de la de materia orgánica, alteración de pH y conductividad eléctrica, así como la reducción de la microbiota benéfica, lo que causa la pérdida de la calidad edafológica del suelo (Mandal *et al.*, 2020).

En este contexto, las actuales demandas sociales respecto a la producción de alimentos inocuos, ha originado que las nuevas tendencias agrícolas se lleven a cabo mediante el uso de alternativas que garanticen la calidad del producto, eficiencia en el control de *Meloidogyne* spp., compatibles con los nichos ecológicos e impacten menos en las características del suelo (Ntalli *et al.*, 2020). Al respecto, diversos estudios han confirmado que las enmiendas son una opción eficaz al mejorar la fertilidad, estructura y capacidad de retención de agua del suelo, promoviendo el crecimiento y productividad de las plantas (Meghvansi y Varma, 2015). Además, algunas enmiendas como el estiércol de vaca y el humus de lombriz incrementan la población de organismos benéficos que actúan en la supresión de fitopatógenos, mientras que otras han mostrado poco o ningún efecto (Hu *et al.*, 2018). Actualmente, las enmiendas orgánicas comunes en el control de nematodos son los abonos animales y verdes, compost, plantas nematicidas y desechos proteicos (Oka, 2010). Esta variabilidad de respuesta probablemente se deba al tipo, dosis y la frecuencia de aplicación de las enmiendas (Ouyang *et al.*, 2022).

Algunos posibles mecanismos involucrados en el control de nematodos son: la liberación de compuestos nematicidas, la generación de amoníaco y ácidos grasos, durante la introducción de antagonistas microbianos, aumento de la resistencia de las plantas, y cambios en la fisiología del suelo que son inadecuados para el comportamiento de los nematodos (Oka, 2010).

Sin embargo, uno de los problemas en la aplicación de enmiendas para el control de nematodos es la eficiencia inconsistente, influenciada por la enmienda y el tipo de suelo. Por lo tanto, comprender la respuesta de los distintos tipos de enmiendas en la supresión de nematodos en suelos modificados es esencial para mejorar su uso y obtener la máxima eficacia de control. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la supresión de poblaciones de *Meloidogyne incognita*, mediante enmiendas orgánicas y su efecto en la calidad fisicoquímica del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio y suelo. La presente investigación se realizó durante el periodo de febrero a julio de 2022. El sitio experimental fue en el campo agrícola de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), en La Paz, B.C.S., (24° 06' 03" N - 110° 19' 01" W). Región con clima seco, representado en una superficie del 93 % y semiseco (7 %). Precipitación anual promedio de 265 mm en la cuenca (CONAGUA, 2020).

Selección y preparación de muestras. Las muestras de suelo con raíces agalladas provocadas por *Meloidogyne incognita*, se obtuvieron de un lote agrícola en el poblado de Melitón Albañez, B.C.S. (23° 39' 16" N - 110° 26' 03" W). Zona donde en estudios previos se habían identificado molecularmente poblaciones de *M. incognita*. Diez muestras de plantas con agallamiento radicular fueron colectadas al azar, depositadas en bolsas plásticas y transportadas en condiciones frescas dentro de hieleras grandes al laboratorio de Fitopatología.

Enmiendas orgánicas. Tres enmiendas orgánicas fueron utilizadas en esta investigación. La Vermicomposta (V) de humus de lombriz y el estiércol de vaca (EV) fueron proporcionadas por el Departamento Académico de Agronomía de la UABCS. El abono verde (AV) se obtuvo a partir de la colecta de hojas frescas de Neem (*Azadirachta indica*), en árboles ubicados en áreas verdes de La Paz. 50 kg de cada enmienda fueron trasladados al Laboratorio de Fitopatología, perteneciente al Departamento Académico de Agronomía de la UABCS, en La Paz. Éstas se almacenaron en varios recipientes de plástico con volumen de 20 L a temperatura ambiente (25 °C) por cinco días hasta su uso.

Establecimiento del experimento. Dos experimentos fueron llevados a cabo durante febrero a julio de 2022. El primero fue evaluación de solo suelo con enmiendas y el segundo se evaluó suelo, enmiendas y nematodos. Ambos se condujeron bajo el mismo procedimiento inicial, el cual consistió en la colecta al azar de 20 kg de 10 muestras de suelo agrícola de textura arenoso-franco a 30 cm de profundidad y almacenaje en bolsas de plástico con capacidad de 2 kg para esterilizar en una autoclave a 121 °C por 25 min. Luego de 24 h, se depositaron 2 kg de suelo estéril en macetas plásticas de 4 L de capacidad (20 × 30 cm). A cada una se le incorporó una dosis de 30 g kg⁻¹ de las enmiendas orgánicas de manera individual y en mezcla y se homogenizó el contenido. Así mismo, también se incluyó un tratamiento de suelo sin enmiendas que contenían fertilizante T17 (1 g kg⁻¹) o nematicida sintético (Rugby; 10 % a.i.) aplicado a una dosis de 1 mL kg⁻¹, además del tratamiento control (solo suelo). Posteriormente, el contenido de cada maceta se humedeció con 500 mL de agua corriente. Los grupos de tratamientos de ambos experimentos se mantuvieron en condiciones de invernadero (70 % HR, 27 °C y 12 h luz/oscuridad). Estos fueron regados dos veces a la semana.

El experimento 1, consistió en un grupo de 60 macetas que contenían solo suelo con las enmiendas orgánicas previamente preparadas durante el inicio del establecimiento experimental. Una vez obtenidos todos los tratamientos, éstos se humedecieron con 500 mL de agua corriente dos días por semana (30 semanas, 60 riegos en total) y se dejó actuar por 20 días. Posterior al tiempo de evaluación se determinaron las variables edafológicas que abajo se describen para evaluar el efecto directo de las enmiendas orgánicas sobre las características físicas y químicas del suelo.

El experimento 2, se basó en un grupo de 60 macetas que contenían la mezcla del suelo estéril con las enmiendas, las cuales recibieron 500 juveniles del nematodo agallador, previamente extraído de raíces de jitomate con agallas e identificado morfológicamente bajo el microscopio. Para ello, 15 días después de la aplicación de las enmiendas, una población de nematodos fue extraída a partir de agallas radiculares (100 g) y a partir de 1 mL de solución con nematodos depositada en un vidrio de reloj, fue contabilizada bajo el microscopio con la ayuda de un contador manual, donde la solución fue ajustada a 500 juveniles mL⁻¹ e inoculados en macetas, en un hoyo central a 3 cm de profundidad. Tres meses después se determinó la población de nematodos, donde se evaluó el efecto nematicida de las enmiendas.

Diseño experimental. Los experimentos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar, que consistieron en siete tratamientos (1) Abono verde, 2) Estiércol de vaca, 3) Vermicomposta, 4) Mezcla de los 3 1:1:1, 5) Fertilizante, 6) Nematicida Rugby; 10 % a.i./dosis de 1 mL kg⁻¹ y 7 Control (solo suelo). Cada tratamiento constó con 15 repeticiones. Cada repetición se consideró una unidad experimental.

Caracterización física y química del suelo. En el experimento 1, para determinar la influencia directa de las enmiendas sobre la calidad fisicoquímica del suelo, 20 días después de la incorporación de los tratamientos se colectó el suelo de las macetas sin inocular y se llevaron al laboratorio de edafología, del Depto. de Agronomía en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Las muestras se secaron al aire a temperatura ambiente y se tamizaron a través de una malla de 2 mm antes de los análisis correspondientes. Posteriormente, una muestra compuesta de 1 kg de suelo de cada tratamiento se utilizó para determinar las siguientes variables: Materia orgánica (MO), Conductividad eléctrica (CE), Capacidad de campo (CC), Densidad aparente (DA), Fósforo (P), Potasio (K), pH y Bases intercambiables Ca²⁺ y Mg²⁺.

La materia orgánica fue medida utilizando el método de calentamiento por oxidación de dicromato de potasio (Walkley y Black, 1934). La conductividad eléctrica se determinó del extracto de suelo saturado mediante un conductímetro (Rhoades *et al.*, 1989). Así mismo, la capacidad de campo se obtuvo mediante el método de columnas de Colman (1946). Mientras que la densidad aparente se obtuvo por el método de la parafina (Blake and Hartge, 1986). El fósforo total se determinó usando colorimetría Mo-Sb (Olsen y Sommers, 1982) y el potasio total se usó el método de Pech (Sadzawka, 1990). El pH del suelo se obtuvo mediante un potenciómetro (VWR scientific products modelo sp20). Para la determinación de las bases intercambiables de Ca²⁺ y Mg²⁺ se empleó el método de EDTA (Jackson, 1982).

Densidad poblacional de *M. incognita*. En el experimento 2, a los 90 días después de la inoculación de *M. incognita* en los tratamientos, el suelo infestado de cada maceta fue homogenizado y 100 g fueron obtenidos de cada repetición. La densidad de población de nematodos fue evaluada mediante la extracción por el método de embudo de Baerman 48 h después (Southey, 1986). El conteo microscópico de individuos de *M. incognita* se llevó a cabo bajo un microscopio de luz (LABOMED 400X) a una magnificación de 40x, con el uso de un contador manual.

Factor de reproducción (FR). Esta variable se determinó mediante el conteo de la densidad de población final en cada maceta. La tasa de reproducción se expresó como el

radio entre densidad de la población final (PF) e inicial (PI) de *M. incognita*, mediante la fórmula de Oostenbrink (1966), donde $FR = PF/PI$.

Análisis estadístico. Los datos de ambos experimentos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y se realizó una comparación de medias por Tukey en el Software estadístico GraphPad Prism 8.4.3. En todos los análisis se utilizó un nivel de significancia de $p = 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Enmiendas orgánicas y la edafología del suelo

Características químicas. El efecto de las enmiendas orgánicas, presentaron diferencias significativas ($P = 0.0000186$) respecto a los agroquímicos sintéticos y el control (Cuadro 1). La concentración de P fue alta (≥ 13 ppm) en el suelo que contenía las enmiendas orgánicas, principalmente en estiércol de vaca, seguido del abono verde, vermicomposta y la mezcla de estos tres, comparado con el nematicida y el control (≤ 1.8 ppm). La mayor concentración de K se registró en la mezcla de las tres enmiendas y en el fertilizante sintético (≥ 110 ppm). Mientras que en las bases intercambiables de Mg^{2+} y Ca^{2+} , el contenido fue alto en el estiércol de vaca y la mezcla de las enmiendas, comparados con el control, donde su concentración fue extremadamente baja.

La disminución importante de estos elementos químicos en el suelo principalmente del tratamiento control, confirmó que dichos suelos áridos, son deficientes en materia orgánica, la cual a su vez está relacionada con una deficiente población de microbioma edáfico, lo que explica la erosión de éstos. Además, se observó que el incremento de estos elementos químicos estuvo relacionado con la aplicación de las enmiendas orgánicas, lo que demuestra que éstas juegan un papel crucial en la calidad de los suelos agrícolas, mediante el mejoramiento de la fertilidad de éstos. El resultado del efecto de las enmiendas en el incremento de P, K, Mg y Ca fue similar a lo reportado por Su *et al.* (2022), quienes determinaron el efecto de fertilizantes sintéticos y ocho abonos tales como compost de estiércol de vaca, de pollo y cerdo, hongos, torta de neem (*Azadirachta indica*), harina de colza (*Brassica napus*), harina de soja (*Glycine max*) y harina de semillas de té (*Camellia sinensis*) en las propiedades químicas del suelo tales como P, K, Ca y Mg intercambiable; además, determinaron que el tratamiento de fertilización química mostró el mayor P disponible. Mientras que la aplicación de estiércol tuvo el mayor contenido de K y Mg, pero no incrementó el Ca. Dicha respuesta la asociaron a una correlación entre el contenido de estos compuestos, con la proporción de materia orgánica, incremento de la microbiota y el óptimo desarrollo de la planta.

En el presente estudio, el tratamiento de fertilizante sintético el Ca^{2+} no mostró diferencias significativas respecto a las enmiendas de vermicomposta, abono verde y nematicida, ya que proporcionaron una concentración similar de estos compuestos. Sin embargo, aunque este producto sintético facilita la disponibilidad de elementos químicos en el suelo para mejorar el crecimiento de la planta, también se ha comparado que deterioran la calidad del mismo, ya que su molécula activa afecta a los microorganismos presentes que son clave en la degradación y mineralización de compuestos. Al respecto, Zhou *et al.* (2015), reportan que la aplicación de fertilizantes inorgánicos causa la acidificación del suelo, lo cual conduce a un decremento en la diversidad de microorganismos.

Cuadro 1. Comparación del contenido de Fósforo y Potasio total, y bases intercambiables en suelos tratados con enmiendas orgánicas.

Tratamiento	P	K	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	------(ppm)-----			
Vermicomposta	12.2 ± 0.8 ^a	66.7 ± 31.7 ^{bc}	84.3 ± 12.9 ^{abc}	189.7 ± 86.2 ^{ab}
Abono verde	13.1 ± 1.4 ^a	87.2 ± 9.77 ^{abc}	56.9 ± 14.5 ^{bc}	157.6 ± 16.7 ^{ab}
Estiércol de vaca	13.1 ± 1.2 ^a	70.9 ± 19.9 ^{abc}	144.6 ± 1.1 ^a	264.5 ± 90.6 ^a
Mezcla	9.2 ± 4.8 ^a	112.8 ± 18.4 ^a	134.1 ± 48.6 ^a	205.7 ± 58.0 ^a
Fertilizante	8.0 ± 1.5 ^{ab}	110.8 ± 3.7 ^{ab}	90 ± 31.4 ^{ab}	113.5 ± 30.1 ^{ab}
Nematicida	1.8 ± 1.4 ^c	104.8 ± 6.2 ^{ab}	105.7 ± 18.7 ^{ab}	126.9 ± 20.0 ^{ab}
Control	2.44 ± 1.0 ^{bc}	48.4 ± 31.7 ^c	16.9 ± 13.1 ^c	46.76 ± 11.6 ^b

Medias seguidas por el mismo alfabeto en columnas no son significativamente diferentes usando Tukey, con un nivel de confianza del 95 %.

Características físicas pH. Las enmiendas disminuyeron el pH del suelo de 7.63 a 7.13 a los 20 días de aplicación (Figura 1). Aunque no se presentaron diferencias significativas en los tratamientos ($P = 0.23$), se observó un menor rango de pH en el tratamiento del nematicida (7.12), seguido del abono verde (7.13), estiércol de vaca (7.17), vermicomposta (7.22) y la mezcla de éstos últimos tres (7.34), comparados con los tratamientos relacionados al fertilizante (7.01) y control (7.63). El valor de pH derivado de las enmiendas favorece la calidad del suelo, al tener una tendencia cercana al valor de neutralidad teniendo la misma respuesta el fertilizante. Al respecto, Wichem *et al.* (2020), indicaron que las enmiendas orgánicas modifican el pH del suelo, mediante su mineralización al liberar NH_4^+ y OH^- . La respuesta de presentar un pH similar al tratamiento control, puede estar asociado a que los abonos aún no estaban disociados totalmente o en el mismo nivel de degradación como fue el caso del abono verde. Esta respuesta es consistente con lo reportado por Rusli *et al.* (2022) quienes señalaron que algunas enmiendas orgánicas, requieren un mayor tiempo para desintegrarse por completo, reaccionar con el suelo y mantener su nivel de pH. Así mismo, Lou *et al.* (2022), mencionaron que la asimilación de la materia orgánica está influenciada no solo por factores como la humedad, temperatura y microbioma edáfica, sino también por el tipo de material que poseen, el tiempo que tarda su degradación y la dosis aplicada. Los suelos de zonas áridas como los utilizados en el presente estudio, se destacan por su textura arenosa, y generalmente poseen un pH que va de neutro a alcalino (INEGI, 2021). Su uso en las actividades agrícolas genera un desafío constante para la producción de cultivos, donde además la agricultura intensiva incrementa el problema, debido a la explotación indiscriminada de los recursos. De ahí la relevancia de la aplicación de enmiendas orgánicas como mejoradores de la calidad del suelo.

Materia orgánica (MO). Las enmiendas incrementaron significativamente la materia orgánica en el suelo, comparadas con el control ($P = 0.00038$). El tratamiento control presentó un contenido de MO de 0.27 %, mientras que en el suelo con las enmiendas alcanzaron un valor de hasta 1.11 % (Figura 1). La mezcla de las tres enmiendas (V+EV+AV) y el Estiércol de vaca (EV), presentaron el mayor porcentaje de materia orgánica (1.11 y 1.09 % respectivamente), seguido de vermicomposta (0.95 %) y abono verde (0.70 %), comparados con el control. Mientras que el nematicida y el fertilizante presentaron 0.91 y 0.67 % respectivamente. El tratamiento de estiércol de vaca, presentó mayor contenido de materia orgánica, debido a que su porcentaje fue similar tanto individual como en mezcla. Al respecto, Pino *et al.* (2008) indicaron que el estiércol de

vaca posee un mayor contenido en la relación de C/N, respecto a otro tipo de enmiendas y se han confirmado valores altos de carbono total y soluble. Esta respuesta, podría considerarse clave en el mejoramiento de la calidad del suelo en aquellos extremadamente pobres en materia orgánica, como los presentes en las zonas áridas. Das *et al.* (2017), demostraron que la incorporación de los compost de desechos de ganado es una práctica agrícola factible para mejorar la fertilidad y la productividad del suelo y mitigar la degradación. De ahí la importancia de la aplicación de los distintos tipos de materia orgánica en el suelo. Al respecto, Marín-Benito *et al.* (2019), evaluaron que la aplicación de enmiendas como biofertilizantes orgánicos mejoran la calidad edáfica. Así mismo, Mohammad *et al.* (2019), reportaron que el uso de estiércoles, compost y residuos vegetales es ampliamente aceptado para mejorar las características del suelo, así como la producción de diferentes cultivos. Además, Cox *et al.* (2000) concluyeron que la materia orgánica juega un papel importante en la adsorción y disminución de agroquímicos sintéticos.

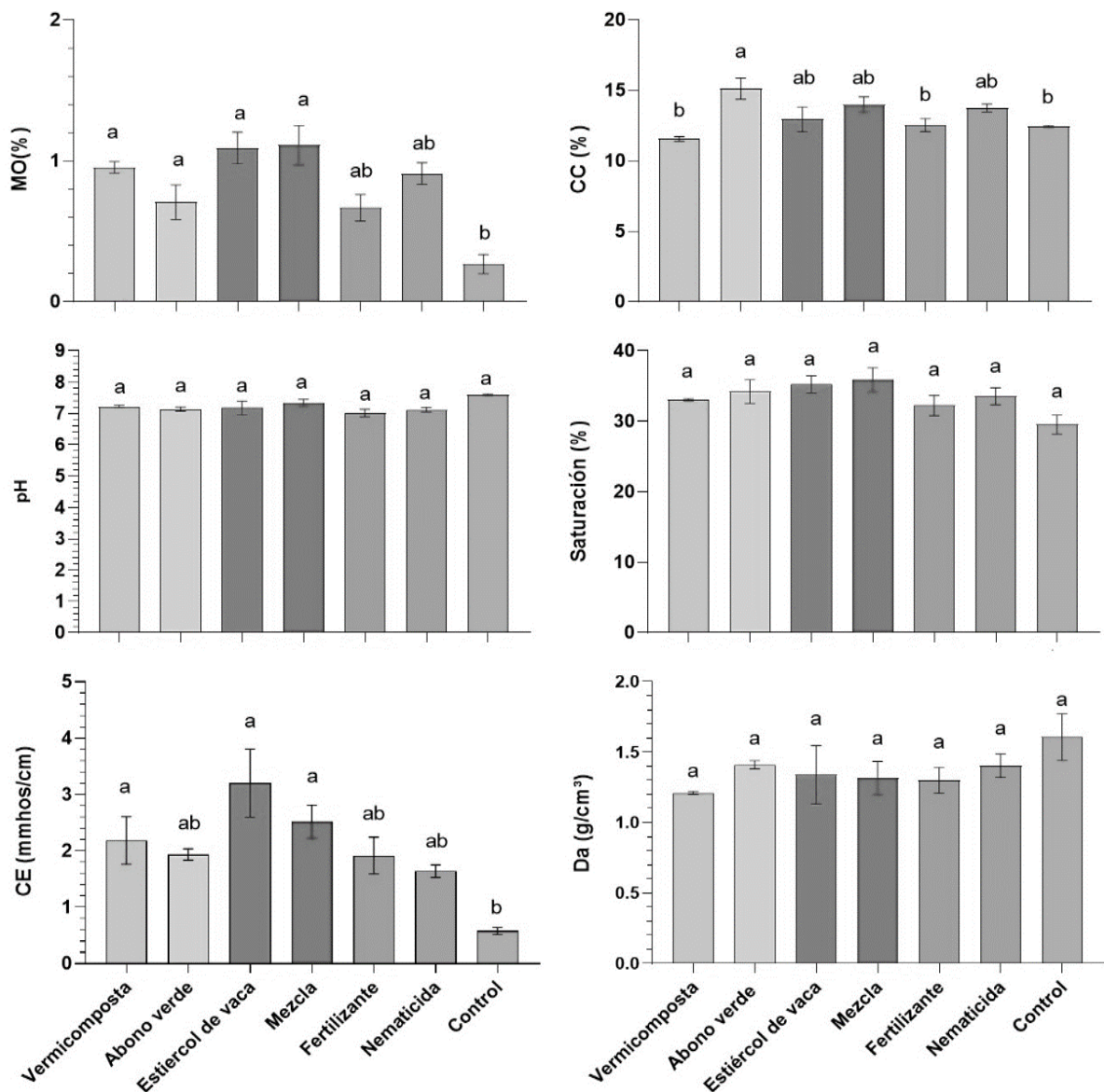


Figura 1. Caracterización física del suelo con las diferentes enmiendas orgánicas. Las barras de error indican desviación estándar, diferentes letras en las barras indicaron diferencias significativas entre enmiendas para cada parámetro (Prueba de Tukey, $p < 0.05$).

Capacidad de campo y saturación de humedad. Las enmiendas orgánicas, no presentaron diferencias significativas en el porcentaje de saturación, pero si en la capacidad de campo (Figura 1). Aunque en saturación, se registró una ligera disminución en los tratamientos de fertilizante, nematicida y control. Mientras que, en la CC, las diferencia entre los tratamientos fue marcada. Dicha variable representa el agua disponible en el suelo, ya sea para las plantas y/o el microbioma edáfico. El mayor porcentaje de humedad se registró en el tratamiento derivado de abono verde (15.13 %). Mientras en la vermicomposta, el fertilizante y el control el porcentaje de humedad fue menor (11.55, 12.52 y 13.26 % respectivamente). Los resultados, muestran que las enmiendas pueden tener diferentes efectos en el contenido de humedad del suelo, dependiendo de las condiciones del sitio. Li *et al.* (2017), reporta que, al mantener una humedad adecuada del suelo, se beneficia a las comunidades microbianas, lo que mejora su estructura, además del ciclo de nutrientes y la resistencia de las plantas al estrés.

Densidad aparente (Da). Esta variable, generalmente depende del grado de compactación y la composición del suelo. Este factor afecta el almacenamiento de agua en el suelo, la absorción de nutrientes de las plantas, el crecimiento de las raíces y el rendimiento de los cultivos. Según estos resultados, no se presentaron diferencias significativas ($P = 0.9943$). Sin embargo, las enmiendas orgánicas evaluadas como la vermicomposta registró el menor valor (1.21 g cm^3), mientras que el fertilizante, la mezcla y el estiércol presentaron una densidad aparente de 1.30, 1.32 y 1.34 respectivamente (Figura 1). La Da en el nematicida (1.40) y el control (1.61) fue mayor. Cuevas *et al.* (2006), señalaron que la menor densidad aparente es el resultado de la mayor macroporosidad en el suelo y por lo tanto menor compactación, lo que dependerá del material orgánico adicionado. Sin embargo, las investigaciones de Ayoubi *et al.* (2020), señalaron que la persistencia de las compostas es baja y al no formarse agregados, la materia orgánica rápidamente se mineraliza y deja de generar un aumento de la porosidad, de ahí que la aplicación continua de enmiendas en el suelo sea de gran importancia para mantener una estructura óptima del suelo, por lo que es considerado que el manejo adecuado de la adición de materia orgánica es un factor crucial para aumentar la estabilidad de los agregados. En los resultados de este estudio, los valores bajos de Da que registraron las enmiendas estuvieron en el rango de textura mayormente fina con tendencia a suelos arcillosos. Mientras que en el caso del nematicida y el control su valor fue cercano a texturas entre francos y arenosos. Dichas características estuvieron relacionadas con el tipo y contenido de materia orgánica evaluada. Esta respuesta es consistente con lo reportado por Scharge y Delgado (1990), quienes indicaron que los suelos de textura fina, bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica presentan valores más bajos de densidad aparente que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica. Además, señalan valores de referencia para suelos de textura fina o arcillosos ($1.00\text{-}1.30 \text{ Mg m}^3$), media o francos ($1.30\text{-}1.50 \text{ Mg m}^3$) y gruesa o arenosos ($1.50\text{-}1.70 \text{ Mg m}^3$).

Conductividad eléctrica (CE). Las aplicaciones al suelo de las enmiendas orgánicas y los tratamientos químicos aumentaron significativamente la CE (Figura 1) en comparación con el control ($P = 0.02$). El estiércol de vaca aumentó de forma significativa la salinidad al presentar un valor de 3.20 dS m^{-1} , seguido de la mezcla de enmiendas (2.52 dS m^{-1}), vermicomposta (2.18 dS m^{-1}) y abono verde (1.93 dS m^{-1}). García-Terrazas *et al.* (2022), señalaron que la mayoría de los cultivos absorben mejor los nutrientes cuando la conductividad eléctrica no sobrepasa de 2.5 dS m^{-1} . En este sentido, la mayoría de las

enmiendas en este estudio, aunque aumentaron la CE, se mantuvieron en un rango óptimo requerido para el crecimiento de las plantas a excepción del estiércol de vaca, donde este superó el nivel sugerido. Esto es sustentado por Michelon *et al.* (2021), quienes concluyeron que al sobrepasar los 3 dS m⁻¹ la absorción de agua y nutrientes disminuye, generando menor productividad. El aumento en la CE, dentro de este experimento puede estar relacionado con el tipo de compuestos que constituye a cada enmienda, que en algunos casos son mayormente disociables que otros. Nassar *et al.* (2017), señalaron que el aumento de la CE, es debido a la liberación de sales solubles inherentes (principalmente a las especies iónicas (K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ y NO₃⁻) y la mineralización de otras durante el proceso de descomposición de las fuentes orgánicas.

Prevalencia, población y factor de reproducción de *Meloidogyne incognita*. La presencia inicial detectada de *M. incognita* fue del 100 % en el suelo de las macetas antes del tratamiento y al cabo de 90 días disminuyó por debajo del 80 % en el tratamiento de vermicomposta, seguido del resto de las enmiendas con diferencias significativas entre el nematicida (P = 0.0001) (Figura 2). La densidad poblacional de *M. incognita* en el control, aumentó al final del estudio, mientras que, en las enmiendas, este índice disminuyó significativamente. De los tratamientos evaluados, el suelo que contenía la vermicomposta registró la menor población de nematodos al presentar 111 nematodos/100 g de suelo, seguido de estiércol de vaca (366), la mezcla (505) y el abono verde (902). Mientras que el fertilizante y el nematicida redujeron drásticamente la población al registrar 66 y 0 nematodos respectivamente, comparados con el control (1,037), donde su población aumentó de forma significativa. La respuesta de las enmiendas en la reducción poblacional de nematodos, especialmente en vermicomposta puede deberse a la gran diversidad de sustancias químicas que produce y la acción antimicrobiana que se han reportado (Hu *et al.*, 2018; Ouyang *et al.*, 2022). Al respecto, Ohri y Pannu, (2010), señalan que la vermicomposta induce la producción de metabolitos (fenoles y polifenoles), que dañan la membrana plasmática de los nematodos. Además, Ayvar *et al.* (2018), mencionaron que los metabolitos secundarios de las enmiendas como sesquiterpenos, flavonoides, alcaloides y saponinas inhiben la eclosión de huevecillos, con disminución de poblaciones de nematodos. Además, los resultados de este estudio son similares a los reportados por Gandariasbeitia *et al.* (2021), comprobaron el efecto nematicida de compostas orgánicas contra *M. incognita* en lechuga, donde observaron que los compuestos liberados durante la degradación de estos subproductos y las temperaturas alcanzadas durante la biodesinfestación (<42 °C) fueron la clave para desarrollar suelos supresores.

El efecto de las enmiendas en las características del suelo presentó una influencia sobre la población de *M. incognita*. La enmienda de vermicomposta, redujo en mayor medida la población, también provocó el menor valor en CC, moderó ligeramente el pH del suelo, su CE fue alta; así mismo, aportó el mayor contenido de MO y P. Además, influyó en las bases intercambiables de Mg y Ca. En este contexto, Calvo-Araya (2021) reportaron que la supresión de patógenos edáficos se ve influenciada por materia orgánica, la densidad aparente, pH, humedad y conductividad eléctrica, ya que influyen en la microbiología del suelo. Además, logran que los patógenos reduzcan su población o su infectividad (Mohammed, 2021). Así mismo, Un *et al.* (2021), mencionaron que la diversidad de nematodos depende de la localización geográfica debido a los cambios ecológicos y a los factores edáficos, donde el pH es esencial para la estructura de la comunidad de nematodos. Guzmán y Alonso (2008), mencionaron que el pH tiene influencia directa en la reproducción de nematodos fitopatógenos cuando los rangos de pH del suelo oscilan entre

5 a 7.6. Aunado a ello, Matute *et al.* (2013), señalaron que un bajo pH afecta la comunidad nematológica. En este contexto podemos mencionar que las enmiendas del presente estudio mantuvieron un pH óptimo, para que los nutrientes puedan ser aprovechados por las plantas; sin embargo, también puede tener influencia en la reproducción de *M. incognita*. En el caso de la CC y saturación de humedad, se ha determinado que son parámetros que tienen influencia directa con la población de nematodos como *M. incognita*. En los casos donde la humedad es alta, la población de nematodos se ve favorecida, ya que, a mayor contenido de agua, mayor hidratación de los nematodos y mayor facilidad para su distribución en el suelo. No obstante, cuando esta humedad se satura, limita la disponibilidad de oxígeno, lo que daña la reproducción de los nematodos y actúa en la supresión de éstos (Calvo-Araya, 2021). En el caso de los suelos arenosos, tienen un bajo porcentaje de saturación debido a la infiltración del agua, lo cual facilita que los nematodos se pueden desplazar fácilmente (Hu *et al.*, 2018).

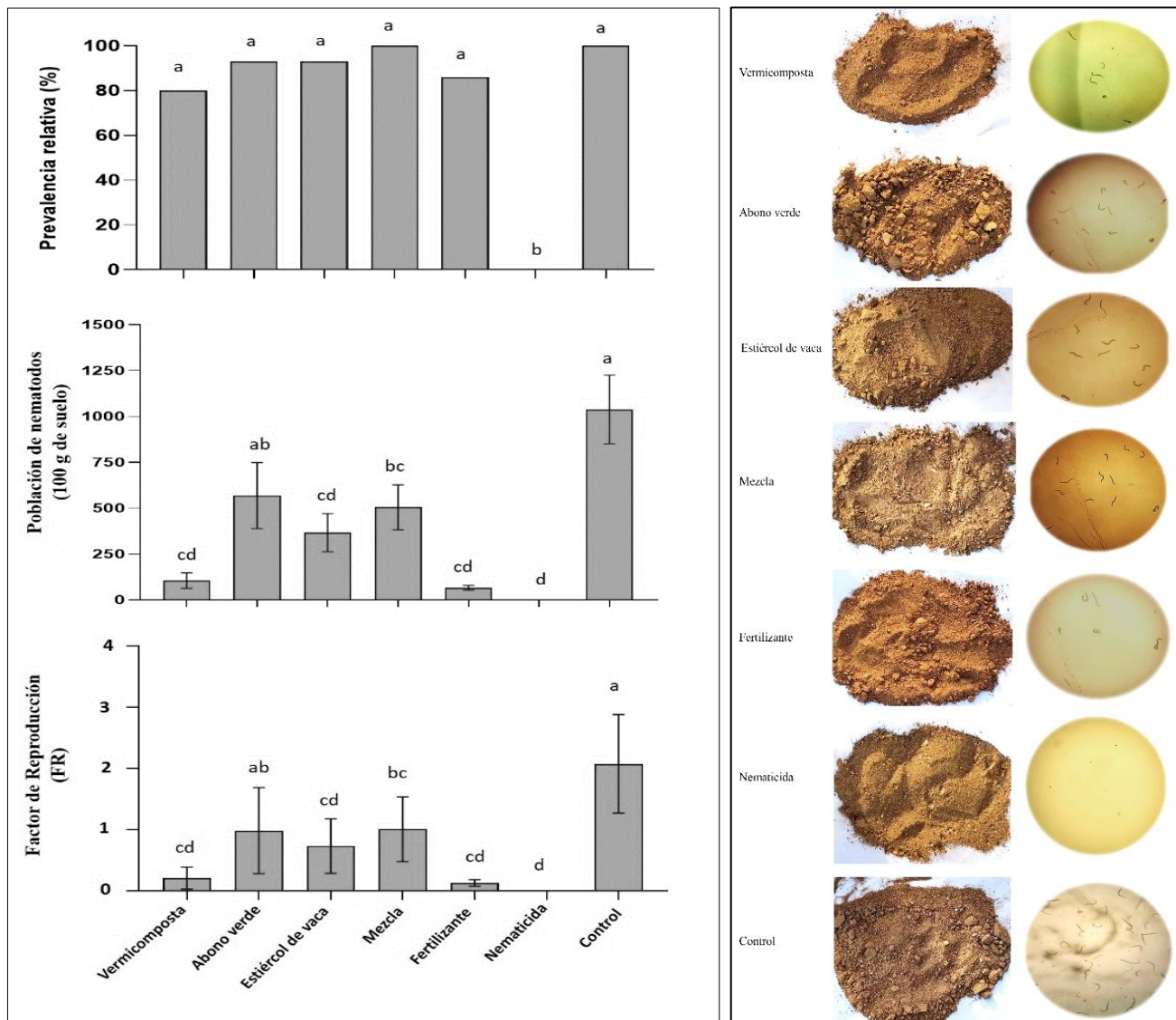


Figura 2. Relación entre las enmiendas orgánicas evaluadas y la respuesta poblacional de *Meloidogyne incognita*. Alfabeto igual entre las medias indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos por Tukey con $p < 0.05$.

En este contexto, la aplicación de enmiendas orgánicas como la vermicomposta mejora la textura y al mismo tiempo mantiene un porcentaje de humedad óptimo para las plantas y microbiota edáfica, pero no la suficiente que favorezca el incremento y desplazamiento de los nematodos fitopatógenos. En el caso de la CE, se observó que a medida que esta variable aumenta, las poblaciones de nematodos se ven reducidas. Mendoza *et al.* (2008) y Shokoohi *et al.* (2019), en su estudio sobre la diversidad y población de nematodos fitopatógenos en suelo asociado a cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) y las propiedades edafológicas, encontraron que estas tenían una correlación positiva, principalmente en la CE.

Wolcott *et al.* (2004), en su estudio relacionado a la conductividad eléctrica y la población de *M. incognita*, determinó que dichas poblaciones tendieron a disminuir a medida que aumentaba el contenido de arcilla y al mismo tiempo, el contenido de arcilla se relacionó positivamente con la conductividad eléctrica (CE). Esta respuesta, es consistente con lo obtenido en esta investigación, donde las enmiendas, estuvieron relacionadas con un incremento en la materia orgánica, que a su vez disminuyeron la Da mostrando una tendencia ligeramente arcillosa, provocando una CE alta, las cuales influyeron en una menor población de *M. incognita*. Aunque el tratamiento del nematicida sintético redujo al 100 % la población de nematodos, esta acción afecta negativamente el equilibrio del microbioma del suelo, debido a que afecta a los fitopatógenos y microbiota edáfica (Mandal *et al.*, 2020) El abono verde utilizado mostró una reducción importante, sin diferencias estadísticas con el control, posiblemente a que su proceso de degradación fue lento.

La reproducción de *M. incognita* fue mayor en el control, donde se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 2). La vermicomposta (0.21) y el fertilizante (0.13), presentaron el menor valor en el factor de reproducción, seguido del estiércol de vaca (0.73) y el abono verde (0.98). Las tres enmiendas disminuyeron este parámetro, lo cual nos indica la efectividad de estos tratamientos para disminuir poblaciones de nematodos fitoparásitos, comparados con el control (2.07), donde su factor de reproducción fue alto. Este incremento está principalmente asociado no solo a la susceptibilidad del hospedero, sino también a las condiciones favorables para el nematodo (Méndez *et al.*, 2020). El-Nagdi *et al.* (2017) reportaron que el mecanismo exacto de las enmiendas puede deberse a que los productos secundarios de su descomposición provocan una toxicidad directa en los nematodos. Esta acción, puede llegar a provocar la muerte de los nematodos y/o suprimir la reproducción o eclosión de huevecillos.

CONCLUSIONES

Las enmiendas orgánicas presentaron eficacia sobre la reducción de la población de *M. incognita* y las propiedades fisicoquímicas del suelo tales como el contenido de P, K, Mg^{2+} , Ca^{2+} , MO, CC y CE, al modificar su contenido y/o condición. La vermicomposta, tuvo concordancia al aumentar con el contenido de MO, CE, pH, CC y reducir la población de nematodos (111 nematodos/100 g de suelo) y el factor de reproducción. Los futuros estudios podrían investigar la relación de las enmiendas orgánicas con el incremento de la población fúngica y bacteriana con capacidad antagonista contra nematodos fitopatógenos. En Baja California Sur, este es el primer reporte relacionado al efecto de las enmiendas orgánicas sobre ciertas propiedades fisicoquímicas del suelo y el control de nematodos fitopatógenos.

Limitaciones

La investigación se presentó sin limitaciones.

Conflicto de interés

Los autores declaramos que no existe conflicto de interés en esta investigación.

Financiamiento

La realización de esta investigación se llevó a cabo con recursos internos institucionales y colaboraciones académicas externas.

Agradecimientos

A La Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), antes Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la Beca de maestría otorgada a la estudiante.

Contribución de los autores

María de Jesús Briseño-López; investigación, preparación del borrador original y Análisis estadístico de datos. Sergio Zamora-Salgado; supervisión y revisión. Gregorio Lucero-Vega; Supervisión y revisión. Mirella Romero-Bastidas; Validación, revisión y edición.

REFERENCIAS

- Ayvar S, Diaz J, Alvarado O, Velázquez I, Peláez A, *et al.* 2018. Actividad nematocida de extractos botánicos contra *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) en okra (*Hibiscus esculentus* L.). *Biotecnica* 20 (1): 13-19. <https://doi.org/10.18633/biotecnica.v20i1.524>
- Ayoubi S, Mirbagheri Z and Mosaddeghi MR. 2020. Soil organic carbon physical fractions and aggregate stability influenced by land use in humid region of northern Iran. *International Agrophysics* 2020. <https://doi.org/10.31545/intagr/125620>.
- Blake GR and Hartge KH. 1986. Bulk density methods of soil analysis. Part 1, physical and mineral method. 2nd edition, agronomy monograph 9, American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, 363-382. [https://www.scrip.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?Referenc](https://www.scrip.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?Referenc)
- Calvo-Araya J. 2021. Suppressive soils and their role in plant disease management. *Environment and Technology* 2 (1): 48-63. <https://doi.org/10.56205/ret.2-1.3>
- Colman E. 1946. A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. *Soil Science* 63(4):277-284. https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1947/04000/A_Lab
- CONAGUA 2020. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero La Paz (0324), Estado de Baja California Sur. <https://sigagis.conagua.gob.mx/> (18-15-23)
- Cox L, Celis R, Hermosin MC, Cornejo J, Zsolnay A and Zeller K. 2000. Effect of organic amendments on herbicide sorption as related to the nature of the dissolved organic matter. *Environmental Science Technology* 34:4600-4605. <https://doi.org/10.1021/es0000293>
- Cuevas BJ, Seguel SO, Ellies SA and Dörner FJ. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 6 (2):1-12. <https://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v6n2/art01.pdf>.
- Das S, Jeong ST, Das S and Kim PJ. 2017. Composted cattle manure increases microbial activity and soil fertility more than composted swine manure in a submerged rice paddy. *Frontiers in Microbiology* 8:1702. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01702>
- Dong J, Gruda N, Li X, Cai Z, Zhang L, *et al.* 2022. Global vegetable supply towards sustainable food production and a healthy diet. *Journal of Cleaner Production* Vol 369. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133212>
- El-Nagdi WMA, Youssef MMA and Dawood MG. 2017. Nematicidal activity of certain medicinal plant residues in relation to controlling root knot nematode, *Meloidogyne incognita* on cowpea. *Applied Science Reports* 20(2): 35-38. <https://ssrn.com/abstract=3201452>

- Gandariasbeitia M, López-Pérez JA, Juaristi B, Abaunza L and Larregla S. 2021. Biodisinfestation with agricultural by-products developed long-term suppressive soils against *Meloidogyne incognita* in lettuce crop. *Frontiers in Sustainable Food System* 5, 663248. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.663248>
- Guzmán G y Alonso A. 2008. Buenas prácticas en producción ecológica uso de abonos verdes. Editorial: Ministerio de medio ambiente y medio rural marino. Granada, España. Pp-22. <https://www.yumpu.com/es/document/view/41808629/buenas-practicas>
- Hu C, Xia X, Han X, Chen Y, Qiao Y, *et al.* 2018. Soil nematodes abundances were increased by an incremental nutrient input in a paddy-upland rotation system. *Helminthologia* 55(4):322-333. <https://doi.org/10.2478/helm-2018-0025>
- INEGI. 2021. Aspectos geográficos de Baja California Sur. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectorial Edafológico Escala 1:250 000, serie II. www.inegi.org.mx (Consulta: mayo 2023).
- Jackson M. 1982. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, España. 540-564. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=000009749>
- Li ZH, Wang M, Yang Y, Zhao SX, Zhang YL, *et al.* 2017. Effect of composted manure plus chemical fertilizer application on aridity response and productivity of apple trees on the loess plateau. *China. Arid Land Research Management*, 31:388-403. <https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1344332>
- Lou X, Zhao J, Lou X, Xia X, Feng Y, *et al.* 2022. The biodegradation of soil organic matter in soil-dwelling humivorous fauna. *Frontiers Bioengineering and Biotechnology* 9:808075. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.808075>
- Mandal A, Sarkar B, Mandal S, Vithanage M, Patra A, *et al.* 2020. Impact of agrochemicals on soil health. Chapter 7. *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation*. 161-187. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00007-6>
- Marín-Benito JM, Carpio MJ, Sánchez-Martín MJ and Rodríguez-Cruz MS. 2019. Previous degradation study of two herbicides to simulate their fate in a sandy loam soil: effect of the temperature and the organic amendments. *Science Total Environmental* 635:1301-1310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.015>
- Matute MM, Manning YA, Kaleem MI. 2013. Community structure of soil nematodes associated with *Solanum tuberosum*. *Journal Agriculture Science* 5:44-53. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n1p44>
- Meghvansi MK and Varma A. 2015. Organic Amendments and Soil Suppressiveness in Plant Disease Management. *Soil Biology* vol. 46:1-531. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23075-7>
- Méndez NR, Maldonado JD y Arreaga JC. 2020. Manejo de Nematodos con enmiendas orgánicas en tomate bajo condiciones protegidas. Manual de programas de consorcios regionales de investigación Agropecuaria. Pp 1-55. http://cunori.edu.gt/descargas/Proyecto_de_investigacion_control_de_nematodos_082020.
- Mendoza RB, Franti TG, Doran JW, Powers TO and Zanner CW. 2008. Tillage effects on soil quality indicators and nematode abundance in loessial soil under long-term no-till production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 3:2169-90. <https://doi.org/10.1080/00103620802135492>
- Mesa C, Garrido J, Cebrian J, Talavera M, Manzano F. 2020. Global research on plant nematodes. *Agronomy* 10(8):11-48.
- Michelon N, Pennisi G, Myint NO, Orsini F and Gianquinto G. 2021. Optimization of substrate and nutrient solution strength for lettuce and chinese cabbage seedling production in the semi-arid environment of central Myanmar. *Horticulturae* 7:64. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7040064>
- Mohammad M, Ebrahim ID, Mohammad TNPY, Mehdi R, Bizhan MN, *et al.* 2019. Impacts of different organic amendments on soil degradation and phytotoxicity of metribuzin. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 8(1):113-121. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0280-8>
- Mohammed AAA. 2021. Relationship between nematodes and some soil properties in the rhizosphere of banana plants. *International Letters of Natural Sciences* 82:1-12. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.82.1>.
- Nassar IN, Rashad M, Aboukila EF and Hafez M. 2017. Effect of beer industry wastes and compost on some physical and chemical properties of a sandy soil. Pp 1-23. <https://www.researchgate.net/publication/308787824>
- Ntalli N, Adamski Z, Doula M and Monokrousos N. 2020. Nematicidal Amendments and Soil Remediation. *Plants* 9:429; <https://doi.org/10.3390/plants9040429>
- Ohri P and Pannu S. 2010. Effect of phenolic compounds on nematodes-A review. *Journal of Applied and Natural Science*, 2(2):344-350. <https://doi.org/10.31018/jans.v2i2.144>
- Oka Y. 2010. Mechanism of nematodes suppression by organic soil amendments: A-Review. *Applied Soil Ecology* Vol. 44(2):101-115. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.11.003>
- Olsen SR and Sommers LE. 1982. Phosphorus. *In*: Page, A.L., Ed., *Methods of soil analysis Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 403-430. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c24>
- Oostenbrink M. 1966. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*. 66:1-46.
- Ouyang Y, Reeve JR and Norton JM. 2022. The quality of organic amendments affects soil microbiome and nitrogen-cycling bacteria in an organic farming system. *Frontiers Soil Science* 2:869136. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.869136>

- Pino A, Repetto C, Mori C y Perdomo C. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. Terra Latinoamericana 26(1):43-52. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000100006.
- Reyes-Palomino SE y Cano-Ccoa DM. 2022. Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. Revista de Investigaciones Altoandinas 24(1):53-64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Rhoades J, Manteghi N, Shouse P y Alves W. 1989. Conductividad eléctrica del suelo y salinidad del suelo: nuevas formulaciones y calibraciones. Soil Science Society of America Journal 53: 433-439. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF19910055929>.
- Rusli LS, Abdullah R, Yaacob JS and Osman N. 2022. Organic amendments effects on nutrient uptake, secondary metabolites, and antioxidant properties of *Melastoma malabathricum* L. Plants 11, 153. <https://doi.org/10.3390/plants11020153>
- Sadzawka A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias La Platina N°16, Estación Experimental La Platina, Chile. 130. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/35495>
- Schargel R y Delgado F. 1990. Características y manejo de los suelos utilizados en la producción de carne en Venezuela. En Plasse, D., Peña de Borsotti, N., eds. VI Cursillo sobre Bovinos de Carne. FCV-UCV, Maracay. pp. 187-220.
- Shokoohi E, Mashela FW and Iranpour F. 2019. Diversity and seasonal fluctuation of tylenchid plant-parasitic nematodes in association with alfalfa in the Kerman Province (Iran). Journal of Nematology Vol. 51:1-14. DOI: 10.21307/jofnem-2019-074.
- Southey JF. 1986. Laboratory methods for work with plant and soil nematodes. Her Majesty's Stationery Office, London, UK. 202. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19870839378>.
- Su JY, Liu CH, Tampus K, Lin YC and Huang CH. 2022. Organic amendment types influence soil properties, the soil bacterial microbiome, and tomato growth. Agronomy 12, 1236. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051236>.
- Un NR, Yousuf TA, Kouser N, Ahmad A, Kaisar A, et al. 2021. Influence of ecological and edaphic factors on biodiversity of soil. Saudi Journal of Biological Sciences 28; 3049-3059. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.046>
- Walkley A and Black I. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Science 37, 29-38. [https://www.scrip.org/\(S\(351jmbntvnstlaadkpozje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?R](https://www.scrip.org/(S(351jmbntvnstlaadkpozje))/reference/ReferencesPapers.aspx?R)
- Watson T, Strauss S, Desaeger J. 2020. Identification and characterization of Javanese root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) suppressive soils in Florida. Applied Soil Ecology 154:103597. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103597>
- Wichem F, Islam MR, Hemkemeyer M, Watson C and Joergensen RG. 2020. Organic amendments alleviate salinity effects on soil microorganisms and mineralization processes in aerobic and anaerobic paddy rice soils. Frontiers in Sustainable Food System 4, 30. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00030>
- Wolcott MC, Overstreet C, Padgett B and Burris E. 2004. Using soil electrical conductivity to denote potential nematode management zones. Beltwide Cotton Conferences, San Antonio, Tx. Louisiana State University Baton Rouge, LA: 349-353. <https://www.cotton.org/beltwide/proceedings/getPDF.cfm?year=2004&paper=C011.pdf>.
- Zhou J, Guan D, Zhou B, Zhao B, Ma M, et al. 2015. Influence of 34-years of fertilization on bacterial communities in an intensively cultivated black soil in northeast China. Soil Biology Biochemistry 90:42-51. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.07.005>