

## Impacto de la enmienda botánica de *Calotropis procera* (Aiton) Dryand sobre el crecimiento de la papaya y la salud del suelo

### Impact of the botanical amendment of *Calotropis procera* (Aiton) Dryand on papaya growth and soil health

Guillermo Perichi\* , Yndira Aguirre  y Eliana Hernández 

Departamento e Instituto de Zoología Agrícola, Facultad de Agronomía. Maracay. Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101. Aragua. Venezuela.

#### RESUMEN

Se evaluó el efecto de la incorporación de polvo de *C. procera* en el suelo sobre el crecimiento de *Carica papaya* y la comunidad de nematodos edáficos. Se estableció un ensayo completamente al azar en condiciones de umbráculo, aplicando tres dosis del polvo (11, 22 y 44 g·maceta<sup>-1</sup>), un control (suelo sin enmienda) y un nematicida sintético (0,1 g·maceta<sup>-1</sup> de carbofuran). Las variables biométricas fueron la altura, el diámetro del tallo y la biomasa de las plántulas. La salud edáfica se infirió mediante índices de madurez y de red trófica basados en la nematofauna. La dosis de 11 g·maceta<sup>-1</sup> promovió significativamente el crecimiento temprano de *C. papaya* y logró la supresión de los nematodos parásitos de plantas (NPPs) con una eficacia estadísticamente comparable a la del carbofuran. Por el contrario, las dosis media y alta mostraron fitotoxicidad y efectos negativos en el crecimiento. El análisis ecológico

#### ABSTRACT

The effect of incorporating *C. procera* powder into the soil on the growth of *C. papaya* and the soil nematode community was evaluated. A completely randomized trial was established under shade-house conditions, applying three doses of powder (11, 22, and 44 g·pot<sup>-1</sup>), a control (unamended soil), and a synthetic nematicide (0.1 g·pot<sup>-1</sup> of carbofuran). The variables measured were seedling height, stem diameter, and biomass. Soil health was inferred using maturity and soil food web indices based on nematode fauna. The 11 g·pot<sup>-1</sup> dose significantly promoted early growth of *C. papaya* and achieved suppression of plant-parasitic nematodes (PPNs) with an efficacy statistically comparable to that of carbofuran. Conversely, the medium and high doses showed phytotoxicity and negative effects on growth. Ecological analysis indicated that the optimal dose

Autor de correspondencia: Guillermo Perichi  
E-mail: [perichig@hotmail.com](mailto:perichig@hotmail.com); Telf: (+58 416-3477188)

Recepción: 17-11-2025  
Aceptado: 10-07-2026  
Publicado: julio, 2026

<https://doi.org/10.63327/RFA/2026.52.2.06>

Esta Revista se publica bajo el auspicio del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, UCV

indicó que la dosis óptima generó una perturbación leve a moderada en el suelo, lo que es consistente con una red edáfica en vías de maduración. El polvo de *C. procera* a  $11 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$  constituye una sólida alternativa agroecológica para estimular el crecimiento de plántulas de *C. papaya*, reducir las poblaciones de NPPs e incrementar de manera inmediata la nematofauna benéfica (bacterívoros) en condiciones de macetas.

**Palabras clave:** Agricultura regenerativa, bioindicadores, *Carica*, nematodos, red trófica.

## INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) posee una gran importancia comercial debido a su valor nutricional (vitaminas A y C), demanda anual sostenida y utilidad en la industria alimentaria y farmacéutica (enzima digestiva y ablandador de carne), desarrollándose extensamente en regiones tropicales y subtropicales (Badillo y Leal, 2020). Para el año 2024, Venezuela alcanzó una superficie sembrada de aproximadamente 8 868 ha y una producción de 167 340 t con un rendimiento promedio de  $18870 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (FEDEAGRO, 2026). No obstante, las plántulas enfrentan diversas limitaciones bióticas y edáficas durante la fase de vivero y el establecimiento en campo. Entre ellas, la acción parasitaria de nematodos, principalmente las especies *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White, 1919) Chitwood, 1949 y *Rotylenchulus reniformis* Linford y Oliveira, 1940, organismos capaces de ocasionar pérdidas de rendimiento estimadas entre el 15% y el 20% (Cabrera y El-Borai, 2018; Rosales, 2022; IIFT, 2023 Wanjala *et al.*, 2025).

El manejo convencional de nematodos aún se basa en el uso de nematicidas sintéticos, sustancias tóxicas y persistentes que pueden constituir un serio problema agronómico y ambiental (Rosales, 2022; Lugo *et al.*, 2022), puesto que su aplicación continua deteriora la salud del suelo, reduce la complejidad de la red trófica edáfica, afecta organismos benéficos y compromete los servicios ecosistémicos. La persistencia de estas prácticas conduce a una mayor degradación edáfica, el incremento de la dependencia química y compromete la sostenibilidad del cultivo.

generated mild to moderate disturbance in the soil, which is consistent with a maturing edaphic food web. *C. procera* powder at  $11 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$  constitutes a solid agroecological alternative for stimulating the growth of *C. papaya* seedlings, reducing PPN populations, and immediately increasing beneficial nematode fauna (bacterívoros) in pot trials.

**Keywords:** Bioindicators, *Carica*, nematodes, regenerative agriculture, trophic web.

Ante esta problemática, las enmiendas de origen botánico se perfilan como una alternativa para el manejo agroecológico de nematodos (Murillo-Montoya *et al.*, 2020; Renčo *et al.*, 2021). Entre las plantas usadas, el algodón de seda [*Calotropis procera* (Aiton) Dryand] destaca por su abundancia en zonas áridas y semiáridas, su resistencia a condiciones adversas y su capacidad para suprimir nematodos fitoparásitos mediante la liberación de calotropina y otros metabolitos secundarios. Asimismo, su incorporación al suelo podría mejorar propiedades químicas y biológicas, estimulando la microbiota edáfica y el ciclaje de nutrientes (González *et al.*, 2001; Reina *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2006; Lugo *et al.*, 2010; Crozzoli, 2014; Lugo *et al.*, 2022; Mahmoud-Dogara, 2023).

Idealmente, los sistemas de producción deberían garantizar un establecimiento vigoroso de las plántulas, suelos biológicamente equilibrados y una mínima presión de patógenos, condiciones esenciales para una producción estable y la reducción de la dependencia de insumos químicos. Este enfoque es particularmente relevante en el contexto de la transición hacia modelos de agricultura regenerativa que promuevan la conservación de la biodiversidad, la fertilidad del suelo y la resiliencia.

A pesar de su potencial, la información es escasa sobre el efecto de la biomasa seca y pulverizada de *C. procera* aplicada al suelo. Se desconoce su impacto en la estructura comunitaria de los nematodos y la salud del suelo como unidad funcional. Específicamente, no se ha determinado si su efecto es exclusivamente nematicida, si puede también estimular el crecimiento vegetal, o si dosis elevadas podrían generar fitotoxicidad o disturbios ecológicos; aspectos críticos para evaluar su viabilidad agronómica. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue necesario evaluar cómo distintas dosis de *C. procera* impactan a la papaya y a los nematodos del suelo para definir un uso seguro y eficiente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del ensayo

El experimento se realizó en un umbráculo perteneciente al Laboratorio de Nematología Agrícola del Departamento e Instituto de Zoología Agrícola de la Facultad de Agronomía (FAGRO) de la Universidad Central de Venezuela (UCV) en Maracay, estado Aragua.

### Material vegetal

Hojas grandes de algodón de seda (AS) en floración, se colectaron en los campos de la FAGRO-UCV. Posteriormente, se sometieron a un proceso de secado al natural bajo sombra por un periodo de 7 a 15 días. Una vez secas, se pulverizaron siguiendo la metodología de López *et al.* (2018), utilizando una licuadora industrial Waring CB-6 modelo 91-215. El polvo resultante se tamizó con una malla de 18 mesh (1000  $\mu\text{m}$ ) hasta obtener una enmienda de granulometría uniforme.

### Colecta y preparación del suelo

Se colectaron 20 muestras compuestas (MC) de suelo en un campo cercano al Departamento e Instituto de Zoología Agrícola de la FAGRO-UCV, con un peso total aproximado de 40 kg. Cada MC se conformó a partir de 10 a 15 submuestras tomadas al azar con una pala a una profundidad de 30 cm. En el Laboratorio de Nematología se prepararon las muestras de suelo, tamizando a 3 mm para eliminar restos vegetales y material pedregoso. Finalmente, se homogeneizó cuidadosamente para garantizar la uniformidad de las unidades experimentales (UE).

### Caracterización físico-química de la enmienda botánica y del suelo usado en el ensayo

Previo al establecimiento del ensayo, se realizó un análisis con fines de fertilidad de suelo a la muestra compuesta y un análisis de tejido vegetal a las hojas de algodón de seda en el Servicio de Análisis del Laboratorio General de Suelos y Afines de la FAGRO-UCV para su caracterización físico-química.

Las variables evaluadas en la enmienda fueron conductividad eléctrica (CE), pH [ambos en agua, relación 1:10 (p/v)], la materia orgánica (MO), la relación C/N, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) total. Adicionalmente, se cuantificaron los metales pesados: cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb) para evaluar su inocuidad agronómica (Cuadro 1).

La caracterización del suelo incluyó las mismas determinaciones, con las siguientes variantes principales: P y K disponible (mg/kg), distribución del tamaño de partícula, clase textura, CE y el pH mediante una relación suelo/agua (p/v) de 1:1 (Cuadro 1).

### Análisis nematológico preliminar del suelo usado en el ensayo

Para el análisis nematológico, se tomaron al azar tres alícuotas de 100 cm<sup>3</sup> del suelo previamente tamizado y homogenizado. Estas se dispusieron en mallas circulares con filtros de toalla facial (Crozzoli y Rivas, 1987) y luego se colocaron cuidadosamente en platos de Oostenbrink que contenían 200 cm<sup>3</sup> de agua corriente. El suelo se dejó en reposo durante 48 h, siguiendo el método de la bandeja de Whitehead y Hemming (embudo de Baermann modificado) por ser uno de los más utilizados en estudios ecológicos, por mejora la oxigenación del agua y reducir el número de nematodos que pueden quedar en la pared de un embudo *sensu stricto* incrementado de esta manera la eficiencia de extracción de los nematodos móviles presentes (Hallmann y Subbotin, 2018; Machado *et al.*, 2019; Hayden *et al.*, 2025).

Transcurridas las 48 h, se procedió al conteo e identificación de los principales grupos tróficos, familias y géneros (juveniles y hembras) mediante un microscopio estereoscópico (Leitz-Wetzlar modelo 511-94A). La identificación se basó en la morfología de la región labial, la cavidad bucal o estoma, el tipo de faringe y estructuras asociadas, la posición de la vulva, el tipo de aparato reproductivo y los aspectos generales de la región posterior (cola). Una vez determinada la abundancia relativa (%), se calculó la relación entre nematodos fungívoros y bacterívoros (NF/NB) para inferir la vía de descomposición de la materia orgánica (MO), así como el Índice de Madurez total ( $\Sigma\text{IM}$ ) como un indicador de perturbación basado en la comunidad de nematodos (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Caracterización físico-química del polvo seco de algodón de seda (enmienda) y del suelo.

| Determinaciones <sup>1</sup> y método                                   | Enmienda <sup>2</sup>                  | Suelo <sup>3</sup>                  |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|
| Distribución del tamaño de partícula (Bouyoucos)                        | NA                                     | A= 11%. L=36%, a= 53%               |
| Clase textural                                                          | NA                                     | Fa                                  |
| CE en agua 1:10 (Conductimétrico)                                       | 10,00 ± 0,01 ds.m <sup>-1</sup> (alta) | NA                                  |
| CE en agua 1:1 (Ídem)                                                   | NA                                     | 0,33 ± 0,01 ds/m (baja)             |
| pH en agua en 1:10 (Potenciométrico)                                    | 6,33 ± 0,006 (ligeramente ácido)       | NA                                  |
| pH en agua en 1:1 (Ídem)                                                | NA                                     | 7,43 ± 0,005 (ligeramente alcalino) |
| MO ( <sup>2</sup> Calcinación y <sup>3</sup> combustión húmeda)         | 69,52 ± 0,02 % (alta)                  | 5,81 ± 0,02% (alta)                 |
| Relación C/N                                                            | 17:1 (baja)                            | 12:1 (baja)                         |
| N <sub>Total</sub> (Kjeldahl)                                           | 2,32 ± 0,01 % (alto)                   | 0,29 ± 0,001% (alto)                |
| P ( <sup>2</sup> Digestión total y <sup>3</sup> Sol. extrac. Mehlich I) | 0,29 ± 0,00 % (alto)                   | 309,54 ± 0,41 ppm (alto)            |
| K ( <sup>2</sup> Digestión total y <sup>3</sup> Sol. extrac. Mehlich I) | 2,97 ± 0,01 % (alto)                   | 119,17 ± 1,53 ppm (medio)           |
| Metales pesados (Digestión total)                                       | 0 ppm (Cd, Cr, Ni y Pb)                | 0 ppm (Cd, Cr, Ni y Pb)             |
| Nematodos (Bandeja de Whitehead y Hemming)                              | NA                                     | 12% B; 3% D; 7% F; 55% H y 23% O    |
| Relación F/B                                                            | NA                                     | 0,62 ± 0,07                         |
| ΣIM                                                                     | NA                                     | 2,79 ± 0,31                         |

<sup>1</sup>Análisis realizados por triplicado en el Laboratorio General de Suelo y Afines y el Laboratorio de Nematología Agrícola de la FAGRO-UCV.

<sup>2</sup>Enmienda (P y K total); <sup>3</sup>Suelo (P y K disponible. Para la interpretación de niveles se usaron tablas resultantes de calibraciones estandarizadas con solución extractora Mehlich I). Leyenda: No aplica (NA), Nematodos bacterívoros (B), depredadores (D), fungívoros (F), herbívoros o parásitos de plantas (H) y omnívoros (O).

## Diseño del experimento

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones, totalizando 25 unidades experimentales (UE) iniciales de 946 cm<sup>3</sup> cada una. A lo largo del estudio, se registró la pérdida de tres plantas; dos se atribuyeron a la fitotoxicidad del polvo de algodón de seda (44 g·maceta<sup>-1</sup>), y una se atribuyó a la toxicidad del carbofurano. Los tratamientos se presentan a continuación.

Control absoluto (T0): Suelo sin enmienda (testigo).

Dosis baja de enmienda (T1): 11 g·maceta<sup>-1</sup> de polvo de AS (equivalente a 12,5 t·ha<sup>-1</sup>).

Dosis media de enmienda (T2): 22 g·maceta<sup>-1</sup> de polvo de AS (equivalente a 25 t·ha<sup>-1</sup>).

Dosis alta de enmienda (T3): 44 g·maceta<sup>-1</sup> de polvo de AS (equivalente a 50 t·ha<sup>-1</sup>).

Nematicida sintético (T4): 0,1 g·maceta<sup>-1</sup> de carbofurano (equivalente a 113 kg·ha<sup>-1</sup>; dosis supraóptima o no comercial).

Cada unidad experimental consistió en una maceta plástica transparente (diámetro = 10,6 cm) con 800 cm<sup>3</sup> de suelo. El suelo se trató por separado con la dosis de enmienda o el nematicida (control químico) siendo incorporados de forma homogénea. Las mezclas resultantes se regaron hasta humedecer y se sellaron herméticamente durante dos semanas para facilitar la descomposición de la biomasa vegetal recién incorporada y retener los compuestos volátiles resultantes. Las macetas se colocaron sobre los mesones en el umbráculo. Dos semanas después de la aplicación de los tratamientos, se trasplantó una plántula de papaya 'Maradol Roja' (de aproximadamente 6 cm de altura) en cada UE. Las plántulas fueron previamente mantenidas en bandejas de germinación de 50 celdas utilizando como sustrato el mismo suelo descrito anteriormente, pero, esterilizado en estufa Memmert U15 a 100 °C. El ensayo se mantuvo durante 67 días después del trasplante, período en el cual se registraron dentro del umbráculo rangos de humedad relativa de 36-70 % y de temperatura ambiental de 23-37 °C con un termohigrómetro EXTECH modelo 445702.

## Medición del crecimiento temprano y biomasa de plantas de papaya

Para evaluar el potencial del efecto de la enmienda sobre el crecimiento de las plantas de papaya 'Maradol Roja', se midió altura y diámetro del tallo (DT) al finalizar el ensayo. La altura se determinó desde la base del tallo hasta el ápice de la planta utilizando una cinta métrica graduada en cm, mientras que el DT se midió a 1 cm desde la superficie del suelo con un vernier digital EXXEL (precisión de 0,02 mm).

Para la determinación de la biomasa, se evaluó la biomasa aérea fresca (BAF), la biomasa radicular fresca (BRF), y la biomasa total fresca (BTF), esta última se obtuvo por la suma de las dos primeras variables. Para la obtención de la BAF, se cosechó la parte aérea de cada planta por UE y las muestras se pesaron de forma individual utilizando una balanza mecánica marca Ohaus Triple Beam (Serie 700) de precisión de 0,1 g. Una vez determinadas las biomásas frescas de cada repetición por tratamiento, las muestras se colocaron en bolsas de papel kraft y se llevaron a una estufa Memmert U30 a 80 °C. El secado se mantuvo hasta alcanzar un peso constante, momento en el que se determinó la biomasa aérea seca (BAS) mediante pesaje final (Pilco *et al.*, 2011).

## Extracción y cuantificación de los nematodos edáficos

La extracción y cuantificación de los nematodos edáficos al final del ensayo se realizó mediante el método de la bandeja de Whitehead y Hemming, de la misma forma que se describió en la etapa del análisis nematológico preliminar. La abundancia absoluta (densidad poblacional promedio total y por grupo trófico) se expresó como el número de nematodos por 100 cm<sup>3</sup> de suelo y la relativa como porcentaje (%).

## Clasificación ecológica de los nematodos

Los nematodos identificados en los taxones anteriormente mencionados se clasificaron de acuerdo con sus grupos tróficos [bacterívoros, depredadores (carnívoros), fungívoros, herbívoros (NPPs) y omnívoros] y sus estrategias de vida [colonizadores: *r*-estrategas (c) y persistentes: *K*-estrategas (p)]. Para esta clasificación se utilizaron los tipos de alimentación referidos por Yeates *et al.* (1993) y la escala c-p (escala de 1 a 5) de Bongers (1990).

Los nematodos de vida libre ubicados en el extremo inferior de la escala (1) fueron considerados como 'c' (oportunistas de ambientes enriquecidos) e indicaron la disponibilidad de nutrientes, mientras que aquellos en el extremo superior (5) fueron considerados como 'p' (redes tróficas complejas y estabilidad del ecosistema). Los nematodos NPPs (herbívoros) fueron clasificados en una escala de 2 a 5 utilizando el mismo sistema de estrategias de vida, pero se denotaron específicamente como p-p (Du Preez *et al.*, 2022).

### Huellas metabólicas de los nematodos edáficos

La huella metabólica de los nematodos se estimó como la cantidad de carbono (C) consumido (expresado en  $\mu\text{g}$  por  $100\text{ cm}^3$  de suelo) por los nematodos durante la respiración y reproducción. Los cálculos se realizaron utilizando el programa en línea Nematode Indicator Joint Analysis (NINJA) (Sieriebriennikov *et al.*, 2014). Se obtuvieron los valores de huella metabólica compuesta (HMC), enriquecimiento (HME), estructura (HMS), y las huellas de los grupos tróficos: bacterívoros (HMB), depredadores (HMD), fungívoros (HMF), herbívoros (HMH) y omnívoros (HMO).

Este valor refleja que una mayor magnitud de C utilizado por un grupo trófico en particular se correlaciona con una mayor magnitud de su función dentro del ecosistema edáfico (Ferris, 2010; Varela-Benavides, 2018).

### Diagnóstico de la salud edáfica con base a la comunidad de nematodos

El diagnóstico de la salud del suelo se efectuó mediante el cálculo de índices ecológicos que describen el estado de la red trófica edáfica a través de la nematofauna; sin embargo, es importante señalar que estos índices no miden procesos o funciones directamente (Ferris, 2010). Para este fin, se emplearon los Índices de Madurez, incluyendo el Índice de Madurez clásico (IM), el Índice de Parásitos de Plantas (IPP) y el Índice de Madurez total ( $\Sigma\text{IM}$ ).

El análisis de la red trófica se basó en el cálculo de tres indicadores principales: el Índice de Canal

(IC), el Índice de Enriquecimiento (IE) y el Índice de Estructura (IS); todos calculados con el programa en línea NINJA (Sieriebriennikov *et al.*, 2014; Biswal, 2022).

Finalmente, la condición de la red trófica en los suelos enmendados y no enmendados se categorizó usando el gráfico de perfil faunístico propuesto por Ferris *et al.* (2001). Esta categorización se determinó por la intersección de los valores promedio del IE y el IS dentro de uno de los cuadrantes (A, B, C o D). El esquema de interpretación se detalla a continuación (Cuadro 2).

### Procesamiento de los datos y análisis estadísticos

Posteriormente, todos los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), previa comprobación de los supuestos mediante las pruebas de Shapiro-Wilk (normalidad) y Bartlett (homogeneidad de varianzas). Cuando fue necesaria una transformación para estabilizar la normalidad y la homogeneidad, se recurrió al logaritmo natural  $\log(x + 1)$ .

El ANOVA se realizó con datos de 22 UE. La pérdida de 3 UE (plantas), equivalente al 12 % del total, no comprometió la representatividad del estudio, por lo que procedimos al análisis con los grados de libertad ajustados. Cuando no se cumplieron los supuestos de normalidad u homogeneidad, incluso con los datos transformados, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Para las comparaciones por pares de medias entre tratamientos, se empleó la prueba de Mínima Diferencia Significativa (MDS) cuando el ANOVA fue significativo. En los casos no paramétricos, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Conover-Iman. Los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de significancia de  $p < 0,05$  utilizando los programas STATISTIX 8.0 (NH Analytical Software, Roseville, MN, USA) y MedCalc 23.4 (MedCalc Statistical Software, Ostende, Bélgica).

**Cuadro 2.** Esquema de interpretación de la condición del suelo con base a la intersección de los valores promedio del Índice de Enriquecimiento y el de Estructura.

| Condición                   | Cuadrante A       | Cuadrante B       | Cuadrante C     | Cuadrante D |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------|
| Disturbio                   | Alto              | Bajo a moderado   | Sin disturbio   | Estresado   |
| Enriquecimiento             | Enriquecido con N | Enriquecido con N | Moderado        | Agotado     |
| Canal de descomposición     | Bacteriano        | Balanceado        | Fúngico         | Fúngico     |
| Relación C/N                | Bajo              | Bajo              | Moderado a alto | Alto        |
| Condición de la red trófica | Perturbado        | Madurando         | Estructurado    | Degradado   |

**Fuente:** Ferris et al. (2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto de la incorporación del polvo de algodón de seda sobre el crecimiento temprano de papaya var. ‘Maradol Roja’ y el suelo

La incorporación de diferentes dosis de polvo de algodón de seda (enmienda) y carbofurano (nematicida) al suelo afectó de manera significativa ( $p < 0,05$ ) el crecimiento y la biomasa de las plantas de papaya variedad ‘Maradol Roja’. Sin embargo, aquellas plantas cuyo suelo fue tratado con 11 g·maceta<sup>-1</sup> de enmienda mostraron los valores más altos y significativos ( $p < 0,05$ ) para casi todas las variables de crecimiento medidas (altura, diámetro del tallo, BAF, BTF y BAS) superando al tratamiento control (Cuadro 3).

El efecto positivo del algodón de seda sobre el crecimiento temprano de papaya var ‘Maradol Roja’ con la dosis más baja (11 g·maceta<sup>-1</sup>), podría atribuirse a que la incorporación en el suelo de esta biomasa (con un alto contenido de materia orgánica del 69,52 %) aportó nutrientes esenciales a las plantas, tras su descomposición y mineralización por la microbiota edáfica. Estos resultados coinciden con la literatura, la cual señala que, además del aporte de nutrientes, la aplicación de enmiendas orgánicas también puede inducir cambios positivos en el pH, la capacidad de

intercambio catiónico, la conductividad eléctrica, el contenido de carbono orgánico, y en la estructura y textura del suelo (Delgado-Londoño, 2017; Lugo et al. 2022; Matisic et al., 2024).

Por el contrario, la dosis de 44 g de polvo de algodón de seda que se incorporó al suelo causó un efecto fitotóxico sobre las plantas de papaya ya que estas mostraron valores de biomasa y crecimiento significativamente inferiores ( $p < 0,05$ ) respecto al control y la dosis de 11 g de la enmienda evaluada (Cuadro 3; Figura 1). Este efecto es consistente con los de Dafaalla y Osman (2019), quienes observaron una reducción significativa del crecimiento y la biomasa de plántulas de maíz (*Zea mays* L.), sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] y trigo (*Triticum vulgare* L.) en condiciones de maceta tras la incorporación del mismo material.

Por lo tanto, dosis o concentraciones excesivas de algodón de seda pueden causar toxicidad e inhibir el desarrollo en diferentes especies de plantas cultivadas y no cultivadas presumiblemente, debido a la liberación en el suelo de metabolitos secundarios (MS), tales como fenoles, flavonoides y heterósidos cianogénicos (Gulzar y Siddiqui, 2017; Radwan et al., 2019). Otros MS, como catequinas, cumarinas, esteroides y saponinas también han sido señalados en las hojas de esta planta (López et al., 2018; Kundu, 2021),

**Cuadro 3.** Efecto de la incorporación en suelo de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre el crecimiento temprano de papaya ‘Maradol Roja’.

| Tratamiento                           | Variables de crecimiento                            |                            |                             |                             |                             |                             |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                       | Altura (cm)                                         | DT (mm) <sup>1</sup>       | BAF (g/planta) <sup>2</sup> | BRF (g/planta) <sup>3</sup> | BTF (g/planta) <sup>4</sup> | BAS (g/planta) <sup>5</sup> |
| <b>T0</b>                             | 30,44 <sup>b</sup> ± 3,29                           | 10,56 <sup>b</sup> ± 0,67  | 20,76 <sup>b</sup> ± 5,29   | 7,70 <sup>a</sup> ± 1,49    | 28,46 <sup>b</sup> ± 6,23   | 1,98 <sup>b</sup> ± 0,33    |
| <b>T1</b>                             | 34,98 <sup>a</sup> ± 2,78                           | 12,28 <sup>a</sup> ± 0,50  | 26,90 <sup>a</sup> ± 2,93   | 9,20 <sup>a</sup> ± 1,48    | 36,10 <sup>a</sup> ± 4,13   | 2,56 <sup>a</sup> ± 0,11    |
| <b>T2</b>                             | 29,64 <sup>b</sup> ± 2,77                           | 11,42 <sup>ab</sup> ± 1,39 | 20,14 <sup>b</sup> ± 4,81   | 7,48 <sup>a</sup> ± 1,55    | 27,62 <sup>b</sup> ± 5,76   | 1,80 <sup>b</sup> ± 0,50    |
| <b>T3</b>                             | 22,50 <sup>c</sup> ± 4,46                           | 6,90 <sup>c</sup> ± 1,45   | 9,30 <sup>c</sup> ± 4,27    | 2,13 <sup>b</sup> ± 1,33    | 11,43 <sup>c</sup> ± 5,59   | 0,90 <sup>c</sup> ± 0,44    |
| <b>T4</b>                             | 17,73 <sup>c</sup> ± 3,66                           | 6,18 <sup>c</sup> ± 1,07   | 5,33 <sup>c</sup> ± 2,55    | 1,88 <sup>b</sup> ± 1,16    | 7,20 <sup>c</sup> ± 3,70    | 0,68 <sup>c</sup> ± 0,49    |
| <b>Valor crítico</b>                  | <b>Valores calculados del estadístico F (ANOVA)</b> |                            |                             |                             |                             |                             |
| <b>F<sub>0,05, 4, 17</sub> = 2,96</b> | 18,40                                               | 26,30                      | 19,10                       | 23,10                       | 23,10                       | 17,10                       |
| <b>p-valor</b>                        | 0,0001                                              | 0,0001                     | 0,0001                      | 0,0001                      | 0,0001                      | 0,0001                      |

Los valores señalados con la misma letra minúscula en cada columna no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba de MDS ( $p > 0,05$ ). **Leyenda:** <sup>1</sup>Diámetro del tallo. <sup>2</sup>Biomasa aérea fresca. <sup>3</sup>Biomasa radicular fresca. <sup>4</sup>Biomasa total fresca. <sup>5</sup>Biomasa aérea seca.

**Figura 1.** Efecto de la incorporación en suelo de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre el crecimiento de papaya ‘Maradol Roja’.

por lo que todos estos compuestos pueden alterar diversas funciones fisiológicas y metabólicas de las plantas como la absorción de nutrientes y agua, la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de ADN (Cheng y Cheng, 2015).

### **Efecto de la incorporación de polvo de algodón de seda sobre la abundancia total y trófica de los nematodos edáficos**

La abundancia total de nematodos y la estructura trófica de la comunidad de nematodos en el suelo, se vio afectada de forma significativa ( $p < 0,05$ ) tras la incorporación de las diferentes dosis de polvo de algodón de seda. El suelo tratado con la dosis más alta de enmienda ( $44 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$ ), mostró la mayor abundancia total ( $206,38 \pm 78,23$  Nematodos por  $100 \text{ cm}^3$  de suelo) en comparación con el suelo no enmendado y al resto de los tratamientos aplicados. Este incremento, se debió principalmente al aumento estadísticamente significativo ( $p = 0,0001$ ) en la abundancia absoluta y relativa de los nematodos que se alimentan de bacterias (Cuadro 4; Figura 2) y concuerda con lo señalado por la literatura donde la aplicación de enmiendas orgánicas (frescas o secas) al suelo aumenta la disponibilidad de C, N y P para las bacterias edáficas estimulando su actividad y, subsecuentemente, la de los nematodos bacterívoros (Shi *et al.*, 2023; Xu *et al.*, 2024).

Por otra parte, los resultados muestran una reducción altamente significativa ( $p = 0,0001$ ) de las poblaciones de NPPs (nematodos herbívoros) presentes en el suelo en todos los tratamientos con enmienda (Cuadro 4; Figura 2). La dosis más alta ( $44 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$ ) fue la más efectiva en la supresión de este grupo trófico al mostrar valores poblacionales de  $1,68 \pm 2,10$  NPPs por  $100 \text{ cm}^3$  de suelo, lo que representa una disminución del 96,60 % con respecto al control.

A pesar de que esta última dosis mostró una alta capacidad supresora, su efecto fitotóxico la descarta como una alternativa viable para el manejo poblacional de los NPPs. Por lo tanto, es importante señalar que la dosis de  $11 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$  de polvo de algodón de seda logró un balance entre la promoción del crecimiento de las plantas de papaya 'Maradol Roja' y una reducción significativa ( $p < 0,05$ ) de la abundancia absoluta de los NPPs respecto al tratamiento control; asimismo, su efecto fue estadísticamente similar al obtenido con el nematicida carbofurano; sin embargo, también se

apreció que la abundancia relativa de NPPs en el suelo tratado con el nematicida fue mayor que en los suelos enmendados. Esto probablemente se debió a la supresión de los grupos tróficos más sensibles (depredadores, fungívoros y omnívoros), lo que efectivamente provocó una drástica disminución de la abundancia total de la nematofauna (Cuadro 4; Figura 2). En Venezuela, la capacidad supresora del algodón seda (como abono verde a razón de  $5\ 000$  y  $10\ 000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) sobre NPPs fue demostrada por González *et al.* (2001) y Lugo *et al.* (2010) en tomate y melón, respectivamente. Sin embargo, ellos no evaluaron los efectos de la incorporación de este abono verde sobre el resto de los grupos tróficos de nematodos que pudieron haber estado presentes en el suelo.

Con relación a géneros particulares de nematodos edáficos, se observó un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) en la abundancia del nematodo bacterívoro y depredador facultativo *Butlerius* en los suelos enmendados, con valores superiores al control y carbofurano (Figura 3). La presencia de este género es ecológicamente relevante, ya que estos invertebrados se asocian a la MO en descomposición y desempeñan un papel crucial en la red trófica edáfica. Al alimentarse de bacterias y nematodos fitoparásitos, *Butlerius* contribuye al ciclo de nutrientes y ayuda a las plantas a resistir la presión de los herbívoros (Shokoohi y Abolafia, 2021; Xu *et al.*, 2024).

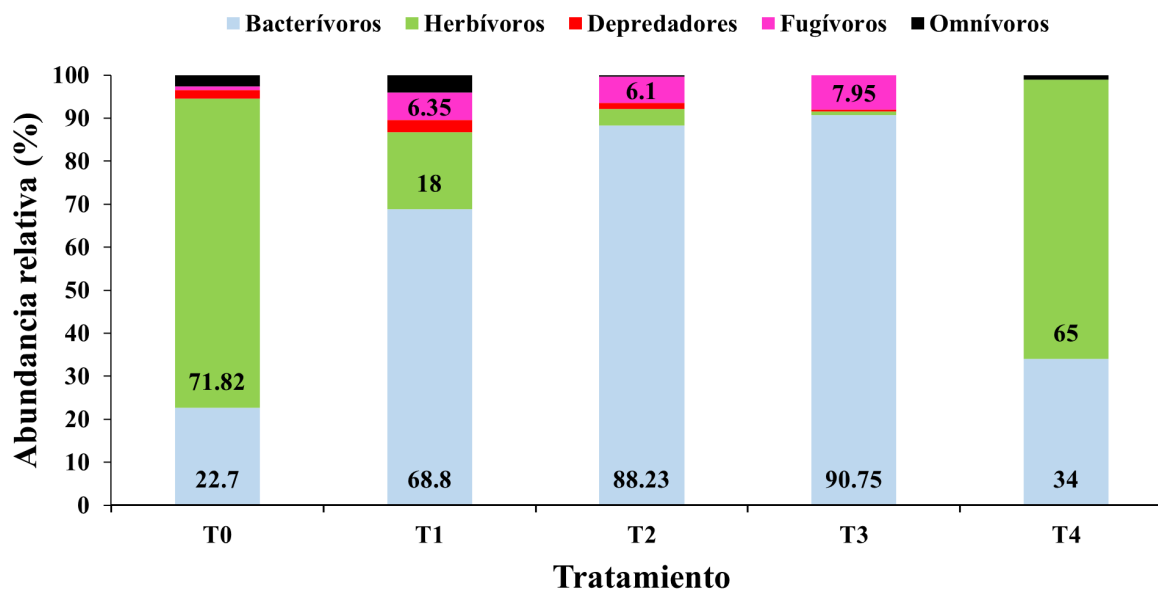
En contraste, la abundancia de *Rotylenchulus* (herbívoro), uno de los géneros de NPPs económicamente más importantes que afectan la papaya (Cabrera y El-Borai, 2018), disminuyó significativa y proporcionalmente ( $p < 0,05$ ) al incrementarse la dosis de la enmienda. La dosis alta ( $44 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$ ) fue la más efectiva en la supresión del nematodo (Figura 3), lo que confirma el potencial nematicida del algodón de seda señalado previamente en otros cultivos, aunque en este estudio se empleó una nueva formulación en forma de polvo seco.

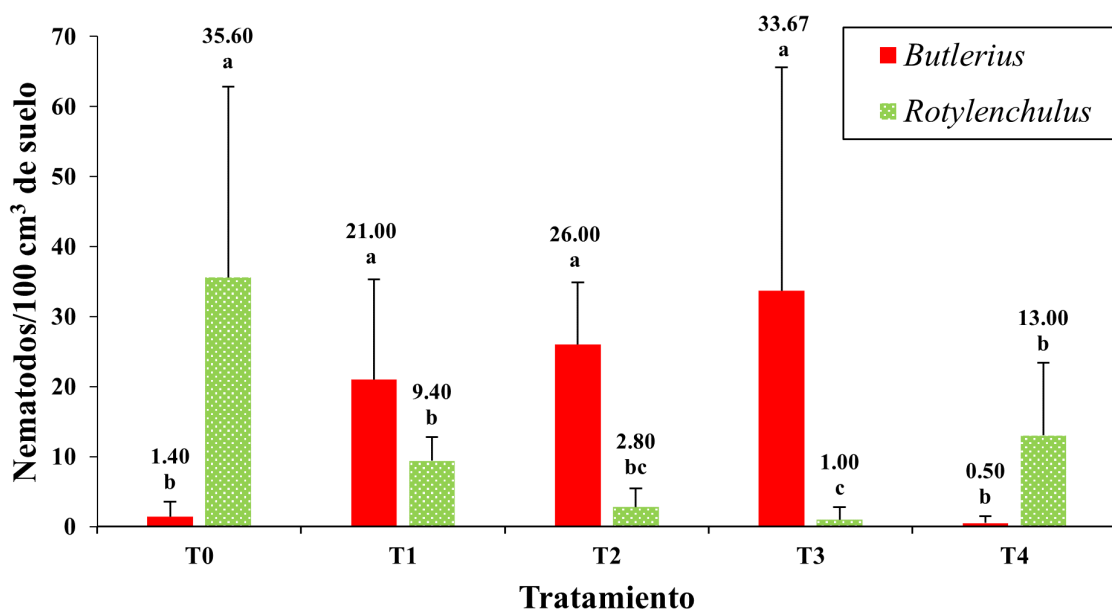
Este efecto se atribuye probablemente a la calotropina, sumada a la acción tóxica de compuestos volátiles (alcoholes y aldehídos) y de otros MS generados tras la biodescomposición de la MO (González *et al.*, 2001; Lugo *et al.*, 2022). No obstante, la alta eficacia de la dosis de  $44 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$  no debe ser considerada para uso agronómico, dada la fitotoxicidad (inhibición del crecimiento vegetal) observada en las plantas de papaya.

**Cuadro 4.** Efecto de la incorporación en suelo de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre la abundancia total y trófica de los nematodos edáficos.

| Tratamiento               | Abundancia absoluta (Nematodos por 100 cm <sup>3</sup> de suelo $\pm$ la desviación estándar ) |                                 |                                |                              |                                |                              |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|                           | Total <sup>1</sup>                                                                             | Bacterívoros <sup>1</sup>       | Herbívoros <sup>1</sup>        | Depredadores <sup>2</sup>    | Fungívoros <sup>2</sup>        | Omnívoros <sup>2</sup>       |
| T0                        | 68,78 <sup>b</sup> $\pm$ 25,08                                                                 | 15,61 <sup>c</sup> $\pm$ 15,79  | 49,40 <sup>a</sup> $\pm$ 27,20 | 1,38 <sup>a</sup> $\pm$ 0,89 | 0,59 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,89  | 1,80 <sup>a</sup> $\pm$ 2,17 |
| T1                        | 78,81 <sup>b</sup> $\pm$ 19,07                                                                 | 54,19 <sup>b</sup> $\pm$ 20,27  | 14,2 <sup>b</sup> $\pm$ 3,70   | 2,20 <sup>a</sup> $\pm$ 2,87 | 5,01 <sup>ab</sup> $\pm$ 4,85  | 3,20 <sup>a</sup> $\pm$ 2,57 |
| T2                        | 108,59 <sup>b</sup> $\pm$ 60,41                                                                | 95,81 <sup>b</sup> $\pm$ 63,57  | 4,18 <sup>c</sup> $\pm$ 3,26   | 1,59 <sup>a</sup> $\pm$ 1,30 | 6,62 <sup>ab</sup> $\pm$ 4,16  | 0,39 <sup>a</sup> $\pm$ 0,88 |
| T3                        | 206,38 <sup>a</sup> $\pm$ 78,23                                                                | 187,30 <sup>a</sup> $\pm$ 93,90 | 1,68 <sup>c</sup> $\pm$ 2,10   | 1,00 <sup>a</sup> $\pm$ 1,74 | 16,40 <sup>a</sup> $\pm$ 18,33 | 0,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00 |
| T4                        | 23,49 <sup>c</sup> $\pm$ 13,82                                                                 | 7,99 <sup>c</sup> $\pm$ 7,25    | 15,25 <sup>b</sup> $\pm$ 10,22 | 0,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00 | 0,00 <sup>c</sup> $\pm$ 0,00   | 0,25 <sup>a</sup> $\pm$ 0,50 |
| Valor crítico             | Valores calculados de los estadísticos F (ANOVA) o $\chi^2$ (Kruskal-Wallis)                   |                                 |                                |                              |                                |                              |
| $F_{0,05, 4, 17} = 2,96$  | 10,30                                                                                          | 12,30                           | 15,20                          | -                            | -                              | -                            |
| $\chi^2_{0,05, 4} = 9,49$ | -                                                                                              | -                               | -                              | 6,14                         | 11,61                          | 8,98                         |
| <i>p</i> -valor           | 0,0002                                                                                         | 0,0001                          | 0,0001                         | 0,1887                       | 0,0205                         | 0,0617                       |

Los valores señalados con la misma letra minúscula en cada columna no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba post-hoc de <sup>1</sup>MDS o la de comparación múltiple (no paramétrico) de <sup>2</sup>Conover-Iman ( $p > 0,05$ ).

**Figura 2.** Efecto de la incorporación en suelo de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre la abundancia relativa de los grupos tróficos de nematodos edáficos.



**Figura 3.** Efecto de la incorporación en suelo de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre la abundancia de *Butlerius* (bacterívoro/depredador facultativo) y *Rotylenchulus* (herbívoros). Los valores señalados con la misma letra minúscula sobre la barra de desviación estándar no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba de MDS ( $p > 0,05$ ). **Nota:** Las comparaciones se realizaron por separado.

El resultado más relevante es que la dosis más baja ( $11 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$ ) logró una disminución de la abundancia de NPPs similar a la del nematicida, lo que representa una alternativa agroecológica viable para el manejo poblacional de *Rotylenchulus* y otros fitoparásitos concomitantes, especialmente en vivero, con el beneficio adicional de promover el crecimiento y estimular la nematofauna benéfica que potencialmente podría ayudar a suprimir los NPPs.

#### Efecto de la incorporación de polvo de algodón de seda sobre la abundancia de los nematodos de acuerdo a sus estrategias de vida [colonizadores (c)-persistentes (p)]

La abundancia absoluta y relativa de los nematodos c-p 1 se incrementó de manera altamente significativa ( $p = 0,0001$ ) y en función de la dosis tras la incorporación del polvo de algodón de seda (Cuadro 5; Figura 4). La dosis más alta ( $44 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$ ) de la enmienda, mostró la mayor abundancia absoluta ( $187,33 \pm 93,33$  Nematodos por  $100 \text{ cm}^3$  de suelo), lo que representa un incremento del 1 300 % con respecto al control (suelo no enmendado).

Estos resultados concuerdan con la literatura, puesto que asocia esta estrategia de vida con nematodos oportunistas de enriquecimiento (c-p 1 y c-p 2) y que en el contexto de la ecología de nematodos se les denomina “presas amplificadas” porque responden rápidamente a una alta disponibilidad de recursos en el suelo (Ferris et al., 2012). En este sentido, la incorporación de la enmienda de polvo de algodón de seda rica en C estimula la biomasa bacteriana que favorece los procesos de mineralización de la MO lábil, haciendo disponibles nutrientes esenciales para las plantas, tales como el nitrógeno (Biswal, 2022; Du Preez et al., 2022).

Este incremento en la biomasa bacteriana y, subsecuentemente, en la abundancia de los nematodos c-p 1 es facilitado por la fuente de carbono suministrado por la enmienda que sirve como sustrato, cuya relación C/N fue de 17:1 (Cuadro 1), un valor óptimo que indique una rápida descomposición microbiana. Finalmente, el dominio de los nematodos c-p 1 tras la incorporación de la enmienda, es una clara evidencia de la simplificación de la red trófica del suelo en el corto plazo y, por ende, un indicio de perturbación biológica por enriquecimiento en los suelos enmendados con el polvo de algodón de seda.

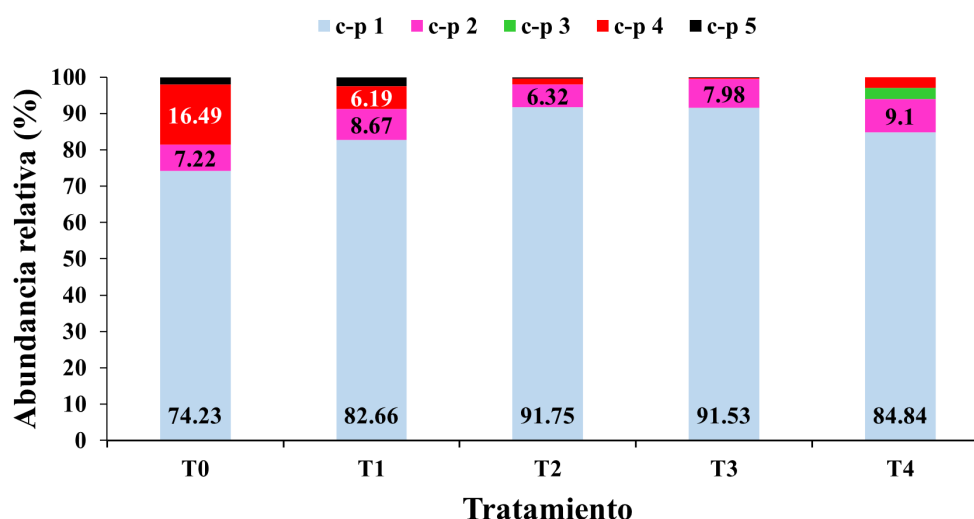
Para el resto de los nematodos c-p (c-p 2 a c-p 5), no se observaron cambios significativos en la abundancia absoluta ( $p > 0,05$ ) y relativa con respecto al control, a pesar de que cada dosis de la enmienda tuvo un marcado efecto enriquecedor para la microbiota del suelo (Cuadro 5; Figura 4).

Sin embargo, es posible que la abundancia y la biomasa de los nematodos c-p 1 (presas) aún no hayan alcanzado la estabilidad trófica necesaria para sostener y estimular ciclos reproductivos de nematodos más especializados, tales como los depredadores y omnívoros (c-p 4 y c-p 5). Este retardo temporal en la respuesta tras la incorporación de la enmienda se

**Cuadro 5.** Efecto de la incorporación en suelo de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre la abundancia de los nematodos de acuerdo a sus estrategias de vida [colonizadores (c)-persistentes (p)].

| Tratamiento                     | Abundancia absoluta (Nematodos por 100 cm <sup>3</sup> de suelo $\pm$ la desviación estándar) |                                |                              |                               |                              |                                |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|                                 | c-p 1 <sup>1</sup>                                                                            | c-p 2 <sup>1</sup>             | c-p 3 <sup>2</sup>           | c-p 4 <sup>2</sup>            | c-p 5 <sup>2</sup>           | p-p 3 <sup>1</sup>             |
| T0                              | 14,40 <sup>c</sup> $\pm$ 15,08                                                                | 1,40 <sup>a</sup> $\pm$ 1,34   | 0,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00 | 3,20 <sup>a</sup> $\pm$ 2,17  | 0,40 <sup>a</sup> $\pm$ 0,89 | 40,80 <sup>a</sup> $\pm$ 27,85 |
| T1                              | 53,40 <sup>b</sup> $\pm$ 20,72                                                                | 5,60 <sup>a</sup> $\pm$ 5,12   | 0,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00 | 4,00 <sup>a</sup> $\pm$ 3,16  | 1,60 <sup>a</sup> $\pm$ 1,82 | 12,00 <sup>b</sup> $\pm$ 3,39  |
| T2                              | 95,80 <sup>b</sup> $\pm$ 63,56                                                                | 6,60 <sup>a</sup> $\pm$ 4,16   | 0,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00 | 1,60 <sup>ab</sup> $\pm$ 1,34 | 0,40 <sup>a</sup> $\pm$ 0,89 | 3,80 <sup>c</sup> $\pm$ 2,95   |
| T3                              | 187,33 <sup>a</sup> $\pm$ 93,93                                                               | 16,33 <sup>a</sup> $\pm$ 18,34 | 0,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00 | 0,67 <sup>b</sup> $\pm$ 1,15  | 0,33 <sup>a</sup> $\pm$ 0,58 | 1,00 <sup>c</sup> $\pm$ 1,73   |
| T4                              | 7,00 <sup>c</sup> $\pm$ 6,83                                                                  | 0,75 <sup>a</sup> $\pm$ 0,50   | 0,25 <sup>a</sup> $\pm$ 0,50 | 0,25 <sup>b</sup> $\pm$ 0,50  | 0,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00 | 14,75 <sup>b</sup> $\pm$ 10,72 |
| Valor crítico                   | Valores calculados de los estadísticos F (ANOVA) o $\chi^2$ (Kruskal-Wallis)                  |                                |                              |                               |                              |                                |
| F <sub>0,05, 4, 17</sub> = 2,96 | 12,60                                                                                         | 2,32                           | -                            | -                             | -                            | 12,50                          |
| $\chi^2_{0,05, 4}$ = 9,49       | -                                                                                             | -                              | 4,50                         | 9,80                          | 4,72                         | -                              |
| p-valor                         | 0,0001                                                                                        | 0,0986                         | 0,3425                       | 0,0439                        | 0,3172                       | 0,0001                         |

Los valores señalados con la misma letra minúscula en cada columna no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba post-hoc de <sup>1</sup>MDS o la de comparación múltiple (no paramétrico) de <sup>2</sup>Conover-Iman ( $p > 0,05$ ).



**Figura 4.** Efecto de la incorporación en suelo de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre la abundancia relativa de los nematodos edáficos de acuerdo a sus estrategias de vida [colonizadores (c)-persistentes (p)]

debe a que estos nematodos presentan ciclos de vida más largos, baja fecundidad y una alta sensibilidad a las perturbaciones ambientales, características propias de los K-estrategas, por lo que es previsible que los cambios la abundancia absoluta y relativa no se manifiesten de forma inmediata (Sánchez-Moreno y Ferris, 2018; Du Preez *et al.*, 2022).

Los nematodos p-p 3 mostraron resultados congruentes con la disminución de la abundancia de los herbívoros discutida previamente (Cuadros 4 y 5), por lo que se omite su análisis detallado; se presentan sus valores de abundancia que son esenciales para el cálculo de los Índices de Madurez (IM y ΣIM), contribuyendo a explicar las diferencias observadas entre los tratamientos.

### **Efecto de la incorporación de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre la huella metabólica de los nematodos edáficos**

La incorporación de las diferentes dosis de la enmienda al suelo afectó de manera significativa ( $p < 0,05$ ) los valores de las huellas metabólicas de los nematodos edáficos con respecto al control. En particular, la incorporación del polvo de algodón de seda resultó en un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) de la HMB, mientras que la HMH mostró una disminución significativa y proporcional a la dosis ( $p < 0,05$ ). Con relación al tratamiento químico, se evidenciaron valores bajos en las huellas metabólicas de todos los grupos tróficos de nematodos, lo cual es consistente con la acción supresora del carbofurano al reducir la abundancia total de la nematofauna. Por otra parte, los resultados obtenidos con la enmienda confirman el incremento de la actividad de los nematodos bacterívoros a corto plazo, estimulada por la incorporación de una fuente de C rápidamente aprovechable por la biota del suelo; paralelamente, se observó una disminución del flujo de C de los NPPs dentro de la red trófica edáfica debido al efecto nematicida del polvo de algodón de seda (Cuadro 6).

En cuanto a la HMD y HMO, los suelos enmendados no mostraron diferencias estadísticas significativas entre sí ( $p > 0,05$ ). Mientras que el control y tratamiento con carbofurano presentaron los valores más bajos para la HMF, lo que indica que la incorporación del nematicida tuvo un marcado

efecto disruptivo sobre la comunidad de nematodos fungívoros, no así en la enmienda, que, de manera marginal, mantuvo su actividad (Cuadro 6). Estos resultados, especialmente aquellos relacionados con la canalización o uso del C (metabolismo) en nematodos depredadores y omnívoros, son predecibles, debido a que estos grupos tróficos se caracterizan por ser longevos y de baja fecundidad (Du Preez *et al.*, 2022). Por lo tanto, el impacto del enriquecimiento en el suelo al ser incorporada la enmienda no se manifiesta de forma inmediata en estos grupos especializados (nematodos K-estrategas).

Con respecto a la HMC y HME, se encontraron también diferencias altamente significativas ( $p = 0,0002$ ) y proporcionales a la dosis en los suelos enmendados. Este resultado indica que el polvo de algodón de seda está siendo rápidamente descompuesto por la microbiota del suelo, y que los nematodos oportunistas de enriquecimiento (principalmente bacterívoros c-p 1), están aprovechando este flujo de C dentro de la red trófica edáfica (Cuadro 7).

El valor alto de la HME observado con la dosis de  $44 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$  ( $236,31 \pm 113,16 \mu\text{g}$  de C por  $100 \text{ cm}^3$  de suelo) sugiere una mayor canalización de carbono por la vía de los nematodos c-p 1 (r-estrategas) y, por consiguiente, una significativa contribución a las funciones y servicios dentro del suelo enmendado (Ferris, 2010; Caixeta *et al.*, 2025). Por otra parte, el suelo tratado con carbofurano presentó el menor valor de HME ( $9,45 \pm 8,88 \mu\text{g}$  de C por  $100 \text{ cm}^3$  de suelo) debido a que la toxicidad del nematicida tuvo un marcado efecto supresivo sobre los nematodos c-p 1 y la biota asociada, lo que resulta en una menor canalización del C por esta vía.

Los valores de HMS (Cuadro 7) confirman que la incorporación de la dosis alta de la enmienda ( $44 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$ ) afectó de manera significativa ( $p = 0,0113$ ) la red trófica del suelo, favoreciendo el predominio de los nematodos oportunistas de enriquecimiento (c-p 1). Por consiguiente, esta dosis redujo la canalización del C por los depredadores y omnívoros (c-p 3 a c-p 5) en 84 % con respecto al control y fue estadísticamente similar al tratamiento con carbofurano, indicando una red edáfica menos compleja y madura en términos de sucesión ecológica (Ferris, 2010; Neher, 2010).

**Cuadro 6.** Efecto de la incorporación en suelo de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre la huella metabólica por cada grupo trófico de nematodos edáficos.

| Tratamiento               | Huellas metabólicas ( $\mu\text{g}$ de C/100 $\text{cm}^3$ de suelo $\pm$ desviación estándar) |                               |                              |                               |                              |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                           | HMB <sup>1</sup>                                                                               | HMH <sup>1</sup>              | HMD <sup>2</sup>             | HMF <sup>2</sup>              | HMO <sup>2</sup>             |
| T0                        | 19,32 <sup>cd</sup> $\pm$ 19,57                                                                | 29,18 <sup>a</sup> $\pm$ 9,37 | 0,82 <sup>a</sup> $\pm$ 0,67 | 0,06 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,09 | 3,85 <sup>a</sup> $\pm$ 4,19 |
| T1                        | 56,85 <sup>bc</sup> $\pm$ 23,26                                                                | 7,20 <sup>b</sup> $\pm$ 4,54  | 1,00 <sup>a</sup> $\pm$ 1,30 | 0,49 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,48 | 4,42 <sup>a</sup> $\pm$ 3,88 |
| T2                        | 112,17 <sup>b</sup> $\pm$ 95,11                                                                | 1,51 <sup>c</sup> $\pm$ 1,34  | 0,72 <sup>a</sup> $\pm$ 0,61 | 0,65 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,41 | 0,31 <sup>a</sup> $\pm$ 0,70 |
| T3                        | 234,71 <sup>a</sup> $\pm$ 114,96                                                               | 0,57 <sup>c</sup> $\pm$ 0,92  | 0,76 <sup>a</sup> $\pm$ 1,31 | 1,60 <sup>a</sup> $\pm$ 1,80  | 0,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00 |
| T4                        | 9,62 <sup>d</sup> $\pm$ 8,95                                                                   | 9,14 <sup>b</sup> $\pm$ 3,44  | 0,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,00 | 0,00 <sup>c</sup> $\pm$ 0,00  | 0,49 <sup>a</sup> $\pm$ 0,99 |
| <b>Valor crítico</b>      | <b>Valores calculados de los estadísticos F (ANOVA) o <math>\chi^2</math> (Kruskal-Wallis)</b> |                               |                              |                               |                              |
| $F_{0,05, 4, 17} = 2,96$  | 9,74                                                                                           | 30,10                         | -                            | -                             | -                            |
| $\chi^2_{0,05, 4} = 9,49$ | -                                                                                              | -                             | 6,04                         | 11,22                         | 8,73                         |
| <b>p-valor</b>            | 0,0003                                                                                         | 0,0000                        | 0,1959                       | 0,0242                        | 0,0683                       |

Los valores señalados con la misma letra minúscula en cada columna no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba post-hoc de <sup>1</sup>MDS o la de comparación múltiple de <sup>2</sup>Conover-Iman ( $p > 0,05$ ). **Leyenda:** Huella metabólica de nematodos bacterívoros (HMB), herbívoros (HMH), depredadores (HMD), fungívoros (HMF) y omnívoros (HMO).

**Cuadro 7.** Efecto de la incorporación en suelo de polvo de algodón de seda y carbofurano sobre la huella metabólica de la comunidad de nematodos edáficos.

| Tratamiento              | Huellas metabólicas ( $\mu\text{g}$ de C/100 $\text{cm}^3$ de suelo $\pm$ desviación estándar) |                                  |                               |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
|                          | HMC                                                                                            | HME                              | HMS                           |
| T0                       | 53,22 <sup>b</sup> $\pm$ 18,16                                                                 | 19,16 <sup>cd</sup> $\pm$ 19,49  | 4,74 <sup>ab</sup> $\pm$ 3,98 |
| T1                       | 69,95 <sup>b</sup> $\pm$ 20,02                                                                 | 57,19 <sup>bc</sup> $\pm$ 23,09  | 5,45 <sup>a</sup> $\pm$ 3,83  |
| T2                       | 115,37 <sup>b</sup> $\pm$ 94,79                                                                | 112,81 <sup>b</sup> $\pm$ 94,84  | 1,04 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,81 |
| T3                       | 237,64 <sup>a</sup> $\pm$ 114,20                                                               | 236,31 <sup>a</sup> $\pm$ 113,16 | 0,76 <sup>c</sup> $\pm$ 1,31  |
| T4                       | 19,25 <sup>c</sup> $\pm$ 12,16                                                                 | 9,45 <sup>d</sup> $\pm$ 8,88     | 0,53 <sup>c</sup> $\pm$ 1,06  |
| <b>Valor crítico</b>     | <b>Valores calculados del estadístico F (ANOVA)</b>                                            |                                  |                               |
| $F_{0,05, 4, 17} = 2,96$ | 9,19                                                                                           | 10,00                            | 4,53                          |
| <b>p-valor</b>           | 0,0004                                                                                         | 0,0002                           | 0,0113                        |

Los valores señalados con la misma letra minúscula en cada columna no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba post-hoc de MDS. **Leyenda:** Huella metabólica compuesta (HMC), de enriquecimiento (HME) y de estructura (HMS).

Si bien la HMS refleja un estado de inmadurez en una etapa temprana después de la incorporación del polvo de algodón de seda, estudios a largo plazo serán necesarios para evaluar si los nematodos K-estrategas recuperarán su abundancia relativa y biomasa dentro de la red edáfica una vez que el efecto inmediato (enriquecimiento) de la enmienda pase. Esta recuperación podría sugerir un beneficio adicional de resiliencia ecológica o de recuperación rápida de la complejidad estructural y funcional en contraste con otros escenarios de perturbaciones biológicas, físicas y químicas.

### Diagnóstico de la salud edáfica en suelo enmendado con polvo de algodón de seda

Los resultados de la evaluación de la comunidad de nematodos como indicadores biológicos de la salud edáfica en los suelos enmendados con polvo de algodón de seda se presentan en el Cuadro 8.

El Índice de Madurez (IM), el cual se basa exclusivamente en los nematodos de vida libre, no mostró diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos. Sin embargo, valores bajos ( $< 2$ ) como los observados en este estudio, indican un retroceso en la sucesión ecológica o, alternatively, pueden ser interpretados como un estado temporal de mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo (Sánchez-Moreno y Ferris, 2018).

Por otra parte, aunque el polvo de algodón de seda redujo la abundancia absoluta de NPPs (Cuadro 3), el Índice de Parásitos de Plantas (IPP) en los suelos enmendados no mostró cambios significativos ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos (Cuadro 8). Esto sugiere que, si bien la población disminuyó en número, la estructura relativa de la comunidad de NPPs no se vio alterada, manteniendo una composición dominada por nematodos endoparásitos o semi-endoparásitos (p-p 3) tal como lo indicó el valor de IPP  $> 2$ . El IPP es equivalente al IM, pero está aplicado a los nematodos herbívoros. Por lo general, este índice se incrementa en suelos enriquecidos, donde la mayor disponibilidad de carbono y energía en plantas vigorosas favorece la presencia de los NPPs (Lu *et al.*, 2020; du Preez *et al.*, 2022).

El Índice de Madurez total ( $\Sigma$ IM), que integra toda la valoración de la comunidad de nematodos

edáficos, mostró diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre el control (suelo no enmendado) y los suelos tratados con las diferentes dosis de la enmienda (Cuadro 8). Valores bajos ( $< 2$ ), como los presentados en el estudio, sugieren que la red trófica de los suelos enmendados pasó a un estado de inestabilidad y simplificación estructural, lo que es indicativo de una perturbación edáfica (Sánchez-Moreno y Ferris, 2018). Es importante señalar que el tratamiento con carbofurano mostró un efecto extremadamente letal sobre las poblaciones de nematodos edáficos (Cuadro 3); no obstante, la estructura relativa de toda la comunidad se mantuvo estable, tal como lo reflejó el valor de  $\Sigma$ IM = 2,36.

No se observaron diferencias significativas en el Índice de Canal (IC) entre tratamientos: los valores bajos ( $< 50$ ) permiten inferir que la principal vía de descomposición de la MO lábil en suelos enmendados y no enmendados estuvo dominada por las bacterias edáficas (Du Preez *et al.*, 2022).

Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticas ( $p = 0,9873$ ) en el Índice de Enriquecimiento (IE) entre tratamientos, lo que indica que la composición relativa de la comunidad de nematodos oportunistas sensibles al enriquecimiento (c-p 1) no cambió de manera significativa con respecto al control (Cuadro 8). Sin embargo, los valores de HME presentados anteriormente demostraron que el polvo de algodón de seda, evidentemente, incrementó el flujo de C de los nematodos c-p 1 (aumento de la abundancia absoluta y, por ende, de su biomasa) de forma significativa y proporcional a las dosis evaluadas (Cuadros 5 y 7). En todo caso, valores de IE  $\geq 60$  sugieren una alta disponibilidad de nutrientes en el entorno edáfico (Du Preez *et al.*, 2022; Ghaderi *et al.*, 2025). Ferris (2010) y Varela-Benavides (2018), señalan que los índices de madurez y los de red trófica tienen una función más bien descriptiva, y no evalúan de manera directa la participación de los nematodos en el flujo de energía (C) que es el factor que determina la magnitud de los servicios prestados por estos en el suelo.

Finalmente, la incorporación de la dosis alta de polvo de algodón de seda en el suelo resultó en una disminución significativa ( $p = 0,0452$ ) del Índice de Estructura (IS) con respecto al control. Estos resultados son consistentes con los de la HMS y reflejan

**Cuadro 8.** Indicadores de salud y perturbación del suelo basado en la comunidad de nematodos después de la incorporación de las diferentes dosis de polvo de algodón de seda y carbofurano en el suelo.

| Tratamiento                     | Índices de madurez                                                           |                          |                          | Índices de la red trófica |                              |                              |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                                 | IM <sup>1</sup>                                                              | IPP <sup>1</sup>         | ΣIM <sup>1</sup>         | Canal <sup>2</sup>        | Enriquecimiento <sup>1</sup> | Estructura <sup>2</sup>      |
| T0                              | 2,11 <sup>a</sup> ± 1,09                                                     | 2,79 <sup>a</sup> ± 0,15 | 2,46 <sup>a</sup> ± 0,35 | 1,16 <sup>a</sup> ± 1,92  | 96,30 <sup>a</sup> ± 3,92    | 88,38 <sup>a</sup> ± 12,10   |
| T1                              | 1,39 <sup>a</sup> ± 0,20                                                     | 2,88 <sup>a</sup> ± 0,16 | 1,66 <sup>b</sup> ± 0,17 | 2,87 <sup>a</sup> ± 2,68  | 96,91 <sup>a</sup> ± 2,73    | 82,88 <sup>ab</sup> ± 15,04  |
| T2                              | 1,17 <sup>a</sup> ± 0,11                                                     | 2,94 <sup>a</sup> ± 0,13 | 1,25 <sup>c</sup> ± 0,17 | 2,74 <sup>a</sup> ± 2,27  | 97,37 <sup>a</sup> ± 2,16    | 60,08 <sup>abc</sup> ± 30,95 |
| T3                              | 1,14 <sup>a</sup> ± 0,16                                                     | 2,38 <sup>a</sup> ± 0,53 | 1,15 <sup>c</sup> ± 0,15 | 3,91 <sup>a</sup> ± 5,71  | 96,43 <sup>a</sup> ± 5,14    | 19,59 <sup>c</sup> ± 33,93   |
| T4                              | 1,27 <sup>a</sup> ± 0,25                                                     | 2,90 <sup>a</sup> ± 0,16 | 2,36 <sup>a</sup> ± 0,50 | 0,00 <sup>a</sup> ± 0,00  | 96,56 <sup>a</sup> ± 2,21    | 28,74 <sup>bc</sup> ± 49,77  |
| Valor crítico                   | Valores calculados de los estadísticos F (ANOVA) o $\chi^2$ (Kruskal-Wallis) |                          |                          |                           |                              |                              |
| F <sub>0,05, 4, 17</sub> = 2,96 | 2,87                                                                         | 1,89                     | 17,50                    | -                         | 0,080                        | -                            |
| $\chi^2_{0,05, 4}$ = 9,49       | -                                                                            | -                        | -                        | 6,30                      | -                            | 9,73                         |
| p-valor                         | 0,0571                                                                       | 0,1606                   | 0,0000                   | 0,1779                    | 0,9873                       | 0,0452                       |

Los valores señalados con la misma letra minúscula en cada columna no presentan diferencias significativas entre sí, según la prueba post-hoc de <sup>1</sup>MDS o la de comparación múltiple de <sup>2</sup>Conover-Iman ( $p > 0,05$ ). **Leyenda:** Índice de madurez (IM), parásito de plantas (IPP) y de madurez total (ΣIM).

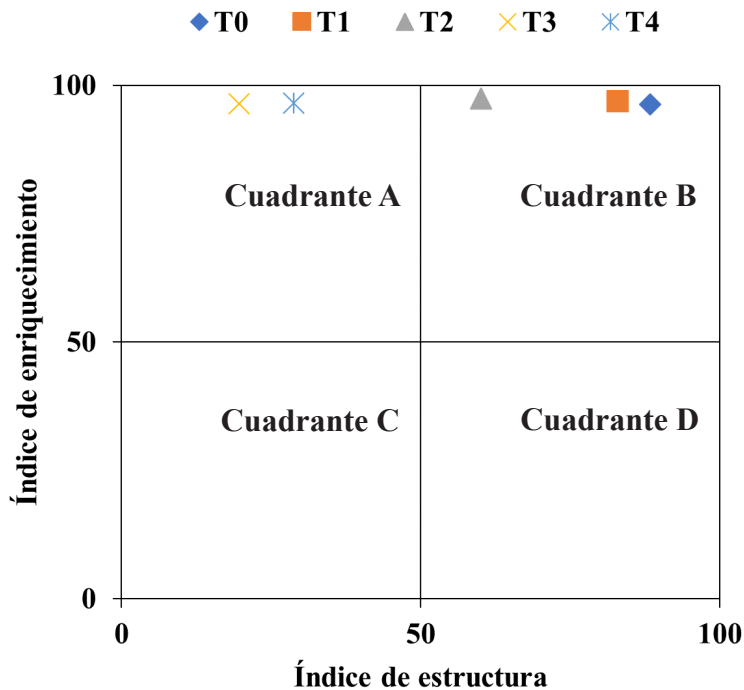
una disminución importante de las poblaciones de nematodos más sensibles (depredadores y omnívoros) a las perturbaciones ambientales dentro de la red trófica edáfica (Cuadro 6 y 7).

El diagnóstico final de la condición del suelo, determinado por la intersección de los valores promedio del Índice de Enriquecimiento (IE) y el de Estructura (IS), se ilustra en la Figura 5. La dosis alta (44 g·maceta<sup>-1</sup>) de la enmienda se posicionó en el Cuadrante A, lo que sugiere un alto nivel de disturbio (red perturbada) con un canal de descomposición predominantemente bacteriano y una baja relación C/N (Ferris *et al.*, 2001). De manera similar, la ubicación del tratamiento con carbofurano (0,1 g·maceta<sup>-1</sup>) en el mismo cuadrante confirma que el nematicida sintético también causó una fuerte perturbación en la red trófica del suelo, comparable a la dosis alta de la enmienda.

Los resultados de la dosis baja y media de la enmienda (11 y 22 g·maceta<sup>-1</sup>, respectivamente)

situaron la intersección de los índices en el Cuadrante B (Figura 5), lo que indica un nivel de disturbio de bajo a moderado y un canal de descomposición equilibrado (Ferris *et al.*, 2001). Esta condición es consistente con una red edáfica en vías de maduración o estabilidad, siendo comparable a la del suelo no enmendado (T0).

Este resultado es importante porque demuestra que, si bien la incorporación de enmiendas botánica con una relación C/N baja (< 20:1) en el suelo puede tener impactos agronómicos positivos (tales como la promoción del crecimiento, el ciclaje de nutrientes y la supresión de patógenos), es necesario considerar una dosis óptima para maximizar dichos beneficios, es decir, encontrar un punto de equilibrio en el nivel de enriquecimiento orgánico que promueva la maduración, complejidad (estructura) y resiliencia de la red trófica, minimizando así la alelopatía (fitotoxicidad) y los disturbios (van der Sloot *et al.*, 2022; Atira y Kakouli-Duarte, 2025) observados en las dosis más altas.



**Figura 5.** Diagnóstico de la condición de la red trófica edáfica (comunidad de nematodos) después de la incorporación de las diferentes dosis de polvo de algodón de seda y carbofurano en el suelo.

## DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés relacionado con la publicación y el contenido del presente trabajo.

## CONCLUSIONES

La aplicación de la enmienda botánica en el suelo mostró un comportamiento dosis-dependiente: mientras que la dosis baja ( $11 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$ ) optimizó un balance entre crecimiento vegetal y antagonismo biológico (supresión de NPPs), las dosis media y alta resultaron ser fitotóxicas ( $22$  y  $44 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$ , respectivamente), causando una inhibición significativa del crecimiento de la papaya.

La dosis baja al ser incorporada en el suelo causó un disturbio de bajo a moderado, lo cual es consistente con una red edáfica en vías maduración o estabilidad.

En la dosis de  $11 \text{ g} \cdot \text{maceta}^{-1}$  ( $12,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), el polvo de *C. procera* demostró ser una alternativa agroecológica viable para el manejo poblacional de NPPs en papaya en condiciones de maceta, al ofrecer un nivel de supresión comparable al carbofurano, pero sin riesgo de toxicidad ambiental.

## RECOMENDACIONES

Para futuros estudios, se sugiere realizar análisis de fertilidad a los suelos enmendados con el fin de conocer los aportes nutricionales del polvo de algodón de seda.

Incluir las determinaciones de C microbiano y respiración edáfica basal para evaluar el efecto directo de la incorporación de enmiendas botánicas sobre la actividad biológica del suelo.

Realizar investigaciones a largo plazo para determinar la dinámica de recuperación de las poblaciones de nematodos K-estrategas (abundancia y biomasa) en el ecosistema edáfico, una vez superada la etapa de enriquecimiento de nutrientes resultante de la enmienda.

## AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) por el apoyo financiero brindado para la ejecución del Proyecto CFP N° 2024000135 titulado **“Enmiendas orgánicas de origen botánico y sus efectos sobre los nematodos, el suelo y los cultivos”**.

A los doctores Barlin Olivares (Universidad de Córdoba, España), Lino Lugo (FAGRO-UCV), Mario Garrido (FAGRO-UCV) y Nereida Delgado (FAGRO-UCV), por las valiosas sugerencias y comentarios realizados que enriquecieron significativamente el manuscrito original.

Al personal del Servicio de Análisis del Laboratorio General de Suelos y Afines de la FAGRO-UCV, especialmente a la Prof. Audrey García y a la Ing. Linda Aular, por su apoyo técnico y colaboración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atira, L. S.; T. Kakouli-Duarte. 2025. Implications of fertilisation on soil nematode community structure and nematode-mediated nutrient cycling [En línea]. *Crops* 5(4): 1-33. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/crops5040050>.
- Badillo, V.; F. Leal. 2020. Taxonomy and botany of the Caricaceae. *Hortic. Rev.* 47: 289-323.
- Biswal, D. 2022. Nematodes as ghosts of land use past: Elucidating the roles of soil nematode community studies as indicators of soil health and land management practices. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 194(5): 2357-2417.
- Bongers, T. 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecología*, 83: 14-19.
- Cabrera, A.; F.E. El-Borai. 2018. Nematode parasites of subtropical and tropical fruit tree crops. In: Sikora, R. A.; D. Coyne; J. Hallmann; P. Timper (Eds.). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. Cambridge, UK. pp. 477-503.
- Caixeta, L.; J.E. Cares; J.V. da Silva; M. Tomazini. 2025. Avanços e perspectivas no uso de nematoides como bioindicadores da qualidade do solo e alterações ambientais [En línea]. *Rev. Anu. Patol. Plantas* 31: 7-25. <https://doi.org/10.31976/0104-038321v310001>.
- Cheng, F.; Z. Cheng. 2015. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy [En línea]. *Front. Plant Sci.* 6: 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>.
- Crozzoli, R. 2014. *La Nematología Agrícola en Venezuela*. Ediciones de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, estado Aragua. 500 p. (CD).
- Crozzoli, R.; D. Rivas. 1987. Uso de toallas faciales de producción nacional como alternativa al filtro de algodón en la limpieza de muestras nematológicas. *Fitopatol. Venez.* 1: 32-33.
- Dafaalla, A.B.; S.G. Osman. 2019. Allelopathic effects of sodom apple (*Calotropis procera* L.) on seed germination and seedling growth of some poaceous crops. *SJAR* 6(2): 555-564.
- Delgado-Londoño, D.M. 2017. Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica [En línea]. *Lámpsakos* 17: 77-83. <https://doi.org/10.21501/21454086.1907>.
- Du Preez, G.; M. Daneel; R. De Goede; M.J. Du Toit; H. Ferris; H. Fourie; S. Geisen; T. Kokauli-Duarte; G. Korthals; S. Sánchez-Moreno; J. H. Schmidt. 2022. Nematode-based indices in soil ecology: Application, utility, and future directions [En línea]. *Soil Biol. Biochem.* 169: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108640>.
- FEDEAGRO. 2026. Superficie, producción y rendimiento de papaya en Venezuela [En línea]. <https://fedegro.org/estadisticas-agricolas/produccion-agropecuaria/>. [Consultado: 20/06/2026].
- Ferris H. 2010. Form and function: Metabolic footprints of nematodes in the soil food web. *Eur. J. Soil Biol.* 46: 97-104.

- Ferris, H.; T. Bongers; R. De Goede. 2001. A framework for soil food web diagnostics: Extensión of the nematode faunal analysis concept. *Appl. Soil Ecol.* 18: 13-29.
- Ferris, H.; L. Pocasangre; E. Serrano; J. Muñoz; S. García; G. Perichi; G. Martínez. 2012. Diversity and complexity complement apparent competition: Nematode assemblages in banana plantations [En línea]. *Acta Oecol.* 40:11-18. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.02.003>.
- Ghaderi, R.; H.L. Hayden; R. H. Jayaramaiah; H.W. Hu; J.Z. He. 2025. An innovative framework fosters practical application of nematode-based indices in soil health assessment [En línea]. *Eur. J. Soil Sci.* 76(4): 1-15. <https://doi.org/10.1111/ejss.70149>.
- González, K.; R. Crozzoli; N. Greco. 2001. Utilización de enmiendas orgánicas en el control de *Meloidogyne incognita*. *Nematol. mediterr.* 29(1): 41-45.
- Gulzar, A.; M. B. Siddiqui. 2017. Allelopathic effect of *Calotropis procera* (Ait.) R. Br. on growth and antioxidant activity of *Brassica oleracea* var. *botrytis* [En línea]. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 16(4): 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.12.003>.
- Hallmann, J.; S.A. Subbotin. 2018. Methods for extraction, processing and detection of plant and soil nematodes. In: Sikora, R.A.; D. Coyne; J. Hallmann; P. Timper (Eds.). *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CAB International. Boston, USA. pp. 87-119.
- Hayden, H.L.; R. Ghaderi; C. Trollip; H.W. Hu; J.Z. He. 2025. Advancing the use of metabarcoding derived nematode-based indices as soil health bioindicators in agricultural and natural environments [En línea]. *Soil Biol. Biochem.* 205:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109772>.
- IIFT. 2023. Cultivo y comercialización de la papaya. Editorial del Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (IIFT). La Habana, Cuba. 129 pp.
- Kundu, S. 2021. A mini review on *Calotropis procera* and tapping its phytochemical and pharmacological potential [En línea]. *J. Phytopharmacol.* 10(4): 277-280. <https://doi.org/10.31254/phyto.2021.10411>.
- López, L.; H. Lima; G. Perichi; I. Matute. 2018. Efecto fagodisuasivo de extractos vegetales sobre la alimentación de la babosa gris y tamizaje fitoquímico. *Agron. Trop.* 68(3-4): 113-123.
- Lu, Q.; T. Liu; N. Wang; Z. Dou; K. Wang; Y. Zuo. 2020. A review of soil nematodes as biological indicators for the assessment of soil health [En línea]. *Front. Agr. Sci. Eng.* 7(3): 275-281. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020327>.
- Lugo, Z.; R. Crozzoli; N. Greco; A. Cortez; A. Fernández. 2010. Efecto de la solarización y de *Calotropis procera* en el control de *Meloidogyne incognita* en melón en el estado Falcón, Venezuela. *Nematol. mediterr.* 38(2): 121-127.
- Lugo, Z.; C. Ramírez; R. Montero; R. Crozzoli; J. Salas; Y. Aguirre; G. Perichi; L.C. Rosales; R. Barrios-Maestre. 2022. Estrategias agroecológicas para el control del nematodo dorado de la papa en el estado Mérida, Venezuela [En línea]. *Agronomía Tropical* 72:1-12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5080526>.
- Machado, A.; S. A. da Silva; L. C. Ferraz. 2019. Métodos em Nematologia Agrícola. Sociedad Brasileira de Nematologia. Piracicaba, Brasil. 206 pp.
- Mahmoud-Dogara, A. 2023. A systematic review on the biological evaluation of *Calotropis procera* (Aiton) Dryand [En línea]. *Future J. Pharm. Sci.* 9:1-19. <https://doi.org/10.1186/s43094-023-00467-3>.
- Maticic, M.; I. Dugan; I. Bogunovic. 2024. Challenges in sustainable agricultura – The role of organic amendments [En línea]. *Agriculture* 14(4): 1-25. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040643>.
- Murillo-Montoya, S.A.; A. Mendoza-Mora; C.J. Fadul-Vásquez. 2020. La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Rev. Colomb. Investig. Agroind.* 7:58-68.

- Neher, D. 2010. Ecology of plant and free-living nematodes in natural and agricultural soil. *Annu. Rev. Phytopathol.* 48: 371-394.
- Pilco, G.; R. Crozzoli; G. Perichi. 2011. Reacción de selecciones de batata al nematodo agallador *Meloidogyne javanica*. *Fitopatol. Venez.* 24(2):52-55.
- Radwan, A. M.; H. A. Alghamdi; S. H. Kenawy. 2019. Effect of *Calotropis procera* L. plant extract on seeds germination and the growth of microorganisms [En línea]. *Ann. Agric. Sci.* 64(2): 183-187. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2019.12.001>.
- Reina, Y.; R. Crozzoli; N. Greco. 2002. Efecto nematicida del extracto acuoso de hojas de algodón de seda (*Calotropis procera*) sobre diferentes especies de nematodos fitoparasíticos. *Fitopatol. Venez.* 15(2): 44-49.
- Renčo, M.; N. Ntalli; T. D'Addabbo. 2021. Short-time impact of soil amendments with *Medicago* plant materials on soil nematofauna [En línea]. *Plants* 10:1-12. <https://doi.org/10.3390/plants10010145>.
- Rosales, L. C. 2022. Nematodos fitoparasíticos que afectan cultivos agrícolas en Venezuela. *Revista Alcance (UCV)* 76: 1-23.
- Sánchez, V.; R. Crozzoli; N. Greco. 2006. Uso de *Calotropis procera* para el control de *Meloidogyne incognita* en pepino. *Fitopatol. Venez.* 19(1): 5-9.
- Sánchez-Moreno, S.; H. Ferris. 2018. Nematode ecology and soil health. In: Sikora, R.A.; D. Coyne; J. Hallmann; P. Timper (Eds.). *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CAB International. Boston, USA. pp. 62-86.
- Shi, G.; L. Luan; G. Zhu; Z. Zeng; J. Zheng, Y. Shi; B. Sun; Y. Jiang. 2023. Interaction between nematodes and bacteria enhances soil carbon sequestration under organic material amendments [En línea]. *Front. Microbiol.* 14: 1-12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1155088>.
- Shokoohi, E., Abolafia, J. 2021. Redescription of a predatory and cannibalistic nematode, *Butlerius butleri* Goodey, 1929 (Rhabditida: Diplogastridae), from South Africa, including its first SEM study. *Nematology* 23(9): 969-986.
- Sieriebriennikov, B.; H. Ferris; R. De Goede. 2014. NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring. *Eur. J. Soil Biol.* 61: 90-93.
- van der Sloot, M.; D. Kleijn; G.B. De Deyn; J. Limpens. 2022. Carbon to nitrogen ratio and quantity of organic amendment interactively affect crop growth and soil mineral N retention [En línea]. *Crop Environ.* 1(3): 161-167. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.08.001>.
- Varela-Benavides, I. 2018. Abundancia, diversidad y huella metabólica de comunidades de nematodos en diferentes zonas de vida en la Región Huetar Norte de Costa Rica. *Rev. biol. trop.* 66(4): 1709-1720.
- Wanjala, S.E.; W. Bert; M. Couvreur; J.O. Maosa; R.C. Ramkat; N.N. Pili. 2025. Nematode communities associated with papaya in Kenya: first report of *Meloidogyne javanica* and description of soil health in papaya fields [En línea]. *BMC Res. Notes* 18: 1-8. <https://doi.org/10.1186/s13104-025-07352-7>.
- Xu, X.; R. Jiang; X. Wang; S. Liu; M. Dong; H. Mao; X. Li; Z. Ni; N. Lv; X. Deng; W. Xiong; C. Tao; R. Li; Q. Shen; S. Geisen. 2024. *Protorhabditis* nematodes and pathogen-antagonistic bacteria interactively promote plant health [En línea]. *Microbiome* 12: 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40168-024-01947-1>.
- Yeates, G. W.; T. Bongers; R. De Goede; D. W. Freckman; S. S. Georgieva. 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera-An outline for soil ecologists. *J. Nematol.* 25(3): 315-331.