

# Efecto de biocarbones y *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare y Gams en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y la protección frente a nematodos



<https://cu-id.com/2247/v38e15>

## Effect of biochars and *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare & Gams on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant growth and protection against nematodes

✉ Jersys Arévalo Ortega\*, ✉ Danay Ynfante Martínez, ✉ Daine Hernández Ochandía, ✉ Rolisbel Alfonso de la Cruz, ✉ Mayra Rodríguez Hernández

Departamento de Sanidad Vegetal. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Carretera de Jamaica y Autopista Nacional. Apdo 10. CP 32700, San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba.

**RESUMEN:** El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación combinada de biocarbones y el hongo nematófago *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare y Gams sobre el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. 'Elbita', y la protección frente a *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood. Los biocarbones se produjeron a partir de cáscara de arroz (*Oryza sativa* L.), ramas de leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) y marabú (*Dichrostachys cinerea* Wight et Am.), semillas de mango (*Mangifera indica* L.) y fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) mediante la tecnología Kon-Tiki. Los biocarbones y *P. chlamydosporia* cepa IMI SD 187 (dosis de  $5 \times 10^3$  clamidosporas.g<sup>-1</sup> de sustrato) se adicionaron en la preparación de los sustratos consistentes en suelo ferralítico rojo: estiércol vacuno: biocarbón (2:1:1 v/v). El experimento se realizó en bandejas multiceldas de 60 alveolos y se distribuyeron al azar en aisladores biológicos. Se prepararon tratamientos controles sin el hongo. A los 30 días, se evaluó el crecimiento vegetativo y la colonización de *P. chlamydosporia* en el sustrato y las raíces. Posteriormente, se trasplantaron cinco plantas del tratamiento biocarbón de cáscara de arroz + *P. chlamydosporia*, hacia macetas de un kg de sustrato (suelo: estiércol vacuno 1:1 v/v) estéril, donde se inocularon 500 juveniles de una población pura de *M. incognita*, y controles sin nematodos, durante 60 días. Se evaluó el crecimiento vegetativo y el índice de agallamiento del nematodo. La aplicación de biocarbones y *P. chlamydosporia* no afectó la colonización del hongo en la rizosfera y mostró un efecto positivo en el crecimiento de las plantas de tomate. El hongo con el biocarbón de arroz logró la protección temprana frente a *M. incognita*.

**Palabras clave:** Control biológico, enmienda orgánica, hongo nematófago, *Meloidogyne incognita*.

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the effect of the combined application of biochars and the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare and Gams on growth of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) cv. 'Elbita' and their protection against *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. The biochars were produced from: rice husk (*Oryza sativa* L.), branches of leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) and marabou (*Dichrostachys cinerea* Wight et Am.), mango seeds (*Mangifera indica* L.), and coconut fiber (*Cocos nucifera* L.), using Kon-Tiki technology. The biochars and *P. chlamydosporia* strain IMI SD 187 (dose of  $5 \times 10^3$  chlamydospores.g<sup>-1</sup> of substrate) were added to the substrate consisting of red ferralitic soil: cattle manure: biochar (2:1:1 v/v). The experiment was carried out in 60 cell trays, which were randomly distributed in biological isolators. Control treatments without the fungus were included. After 30 days, vegetative growth and colonization of the substrate and roots by *P. chlamydosporia* were evaluated. Subsequently, five plants from the rice husk biochar + *P. chlamydosporia* treatment were transplanted to pots containing one kg of sterile substrate (soil: cattle manure 1:1 v/v), inoculated with 500 juveniles of a pure population of *M. incognita*, and to control pots without nematodes and left to grow for 60 days. The vegetative growth and the nematode gall index were evaluated. The application of biochars and *P. chlamydosporia* did not affect rhizosphere colonization by the fungus and showed a positive effect on growth of tomato plants. The fungus with rice biochar achieved early protection against *M. incognita*.

**Key words:** Biological control, organic amendment, nematophagous fungus, *Meloidogyne incognita*.

### INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) representa la segunda especie en importancia dentro del género *Solanum*, debido a su valor nutricional y a su amplio

consumo en casi todo el mundo, siendo también una de las principales hortalizas que se cultiva en Cuba, tanto a campo abierto como en los sistemas de producción protegida de hortalizas (1).

\*Correspondencia a: Jersys Arévalo Ortega. E-mail: [ajersys@gmail.com](mailto:ajersys@gmail.com)

Recibido: 02/11/2023

Aceptado: 15/12/2023

En los países tropicales, el tomate se cultiva en condiciones climáticas que limitan su desarrollo y bajo una alta incidencia de plagas; entre ellas, los nematodos formadores de agallas (*Meloidogyne* spp.) que constituyen uno de los fitoparásitos más nocivos del cultivo, con una distribución global y una gama muy amplia de plantas hospedantes (2). Estos nematodos parasitan las raíces e interfieren con los procesos de absorción y translocación de los nutrientes y agua, y constituyen la vía de entrada de agentes fitopatógenos; capaces de ocasionar enfermedades complejas y pérdidas económicas significativas en el cultivo (3).

Durante años, el incremento en los rendimientos del cultivo se basó fundamentalmente en el uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas químicos (sobre todo, nematicidas) los cuales ocasionaron alteraciones físicas, químicas y biológicas en los agroecosistemas; con impactos perjudiciales en la calidad del suelo, el ambiente y riesgos para la salud humana. Para mitigar estos efectos, en el manejo del cultivo, se requiere de alternativas sostenibles y ambientalmente seguras. Entre las prácticas más utilizadas, destacan el uso de enmiendas orgánicas y el control biológico, a partir de biopreparados de hongos como *Purpureocillium lilacinum* (Thom) Luangsa-ard, Hou-braken, Hywel-Jones y Samson (Ex *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson), *Trichoderma* spp., *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare y Gams, de gran eficiencia en el control de fitonematodos (4, 5).

En la actualidad, una de las enmiendas orgánicas más promisorias es el biocarbón, también denominado carbón vegetal o *biochar* (en inglés). Estudios anteriores resumieron la información sobre la adición de biocarbón, como medio para mejorar la fertilidad y salud del suelo y mitigar el cambio climático (6). Además, constituye un excelente sustrato para la obtención de plantas (7) y un vehículo para la inoculación de microorganismos benéficos, lo que promueve beneficios para el cultivo y defensa contra diversas plagas (8, 9).

El biocarbón es un material muy estable, rico en carbono y minerales, que se obtiene de diferentes fuentes de biomasa residual (vegetal o animal) mediante pirólisis, al ser sometidos a temperaturas entre 300 a 700°C y con limitado oxígeno. Sus características físico-químicas responden al tipo de biomasa de la que proviene, así como de las condiciones en las que se desarrolla la pirólisis (10, 11).

La aplicación de biocarbón en los suelos mejora la productividad de los cultivos y la calidad de las plantas. Esta práctica influye de manera positiva en las propiedades fisicoquímicas (aumento de la capacidad de intercambio catiónico, pH, cantidad de materia orgánica, retención de nutrientes, disminución de la lixiviación) y biológicas del suelo. También, favorece el desarrollo y diversificación de las comunidades microbianas del suelo, en tanto, induce la resistencia

en plantas contra las plagas, promoviendo su mejor crecimiento, nutrición y defensa (6, 8, 12).

El biocarbón se puede enriquecer o combinar con compost, humus, fertilizantes; así como, con microorganismos benéficos, para tener un mejor efecto en el suelo y el cultivo, debido a que se considera un catalizador, al favorecer el incremento en la cantidad y calidad del consumo de nutrientes y la absorción de agua en las plantas y microorganismos del suelo (13).

La incorporación de biocarbón, como enmienda al suelo, crea un espacio propicio para algunos grupos de microorganismos, debido a que les proporciona un hábitat favorable dentro de su estructura porosa, o altera la disponibilidad de sustratos y las actividades enzimáticas que están sobre o alrededor de las partículas del biocarbón. Diversos estudios revelaron, que la inoculación de microorganismos al suelo en presencia de biocarbón induce una mayor resistencia de las plantas contra plagas, lo cual puede constituir una herramienta promisoriosa en el manejo de los organismos nocivos de los cultivos (8).

El hongo nematófago *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare y Gams es uno de los principales agentes de control microbiano de nematodos del género *Meloidogyne*, que habita en suelo y es parásito facultativo de huevos de nematodos fitoparásitos (14, 15). Este hongo se ha estudiado extensivamente para el manejo sostenible de fitonematodos en cultivos de importancia económica (16), posee la capacidad de colonizar endofíticamente las raíces de una gran variedad de cultivos, como tomate, lechuga (*Lactuca sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.) y proporcionarle a la planta hospedante mejor adaptabilidad, bioestimulación vegetal y la defensa frente a patógenos (17).

En Cuba, se seleccionó la cepa IMI SD 187 de *P. chlamydosporia* var. *catenulata* y se desarrolló en materia comercial, como el bionematicida KlamiC®, con probada efectividad en sistemas intensivos de producción de hortalizas, al manifestarse en una amplia gama de sustratos, lo que facilita su uso en la agricultura (18). La aplicación de este bioplaguicida desde fases tempranas, favorece el crecimiento y la protección de las plantas frente a nematodos fitoparásitos. Su actividad se incrementa cuando se aplica en combinación con otras medidas de manejo, como las enmiendas orgánicas (5).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación combinada de diferentes biocarbones y el hongo nematófago *Pochonia chlamydosporia* sobre el crecimiento de plantas de tomate y la protección frente a nematodos, en condiciones semicontroladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en aisladores biológicos del Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA) (22°59'20,9"N; 82°09'10,2"W) ubicado en el municipio de San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

Los biocarbones utilizados se produjeron a partir de diferentes materiales vegetales: cáscara de arroz (*Oryza sativa* L.), ramas de leucaena (*Leucaena leucocephala* L.) y de marabú (*Dichrostachys cinérea* Wight et Am.) semillas de mango (*Mangifera indica* L.) y fibra de coco (*Cocos nucifera* L.). El biocarbón de cáscara de arroz se produjo en la finca La Magela, del municipio Quivicán, provincia Mayabeque, siguiendo la metodología descrita por Casanova *et al.* (19); mientras que, el resto de los materiales se pirolizaron en el CENSA, en un horno de metal, que cumple con los principios del Horno Kon-Tiki (20).

### **Efecto de biocarbón con *P. chlamydosporia* en la obtención de las plántulas**

Se prepararon diferentes sustratos con cada biocarbón de manera independiente, para la producción de plantas de tomate cv. 'Elbita' (proveniente del Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova, Cuba). Los sustratos contenían 25 % de biocarbón, como recomendaron Rodríguez *et al.* (7) consistentes en la mezcla de suelo ferralítico rojo: abono orgánico (estiércol vacuno): biocarbón, en proporción 2:1:1 (v/v).

El experimento se realizó en bandejas multiceldas de 60 alveolos con capacidad para 65g de sustrato; cada bandeja constituyó un tratamiento. Los biocarbones y el hongo se aplicaron y se mezclaron con el sustrato en el momento de la siembra. *P. chlamydosporia* cepa IMI SD 187, se aplicó en una dosis de  $5 \times 10^3$  clamidosporas.g<sup>-1</sup> de sustrato (viables), a partir de un lote del Bionematicida KlamiC<sup>®</sup> producido en el CENSA, con una concentración de  $1,20 \times 10^7$  clamidosporas.g<sup>-1</sup> y viabilidad 90 %. Los controles consistieron en tratamientos con los biocarbones sin el hongo, y un control absoluto con suelo: estiércol vacuno (3:1 v/v) en total 11 tratamientos.

Las semillas de tomate cv. 'Elbita' se sembraron, inmediatamente, en las bandejas: dos por cada alveolo. Posterior a la brotación de las plántulas, se procedió a dejar una por cada alveolo. Las bandejas se distribuyeron al azar en un aislador biológico y se realizó riego en días alternos, en dependencia de la humedad del sustrato.

A los 30 días después de la siembra, se seleccionaron 25 plantas al azar de cada tratamiento y se realizó la medición de las variables del crecimiento vegetativo: longitud de la parte aérea y radical (cm) con una regla milimetrada, número de hojas, diámetro del tallo (cm) con un pie de rey, masa fresca aérea y radical (g) en una balanza técnica (Sartorius<sup>®</sup>. Modelo BL1500: d=0,1 g).

Se evaluó la colonización de *P. chlamydosporia* en el sustrato y las raíces de las plántulas, a partir de seis plantas de cada tratamiento, mediante el método de dilución y siembra en medio semiselectivo y el conteo del número de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por gramo de muestra, de acuerdo al método

propuesto por Kerry y Bourne (21). Se determinó el porcentaje de colonización endofítica del hongo en las raíces, mediante la desinfección superficial con hipoclorito de sodio al 1% y siembra en medio semiselectivo (22).

### **Efecto de biocarbón con *P. chlamydosporia* sobre una población de *M. incognita***

Se trasplantaron cinco plantas de tomate de 30 días, obtenidas en el tratamiento con biocarbón (cáscara de arroz) y *P. chlamydosporia*, hacia macetas de un kg de sustrato estéril (suelo: estiércol vacuno 1:1 v/v) donde se inocularon 500 juveniles de una población pura de *M. incognita*, en cada maceta. La suspensión de nematodos se obtuvo por el método de Hussey y Barker (23). Se utilizaron como controles, las plantas de tomate obtenidas con biocarbón (cáscara de arroz) sin el hongo, un control absoluto de plantas solas y otro control de plantas inoculadas con nematodos. Las macetas se colocaron al azar en el aislador biológico, bajo riego en días alternos.

A los 60 días después del trasplante, se evaluaron los parámetros agronómicos y fúngicos descritos en el ensayo anterior y, adicionalmente, el número flores, número de frutos y el índice de agallamiento, según la escala de 0- 5 grados, propuesta por Taylor y Sasser (24).

En ambos ensayos, los datos de cada variable morfolométrica de las plantas, se analizaron mediante análisis de varianza simple y se compararon los tratamientos mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan, con un nivel de significación  $p \leq 0,05$ . Los datos de colonización de *P. chlamydosporia* en suelo y raíz (UFC suelo y UFC raíces) se transformaron previamente en Log (x+1) y los porcentajes de colonización endofítica en las raíces, se transformaron en Arcoseno  $\sqrt{(x/100)}$ . Se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2017 (25).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Efecto de biocarbón con *P. chlamydosporia* en la obtención de las plántulas**

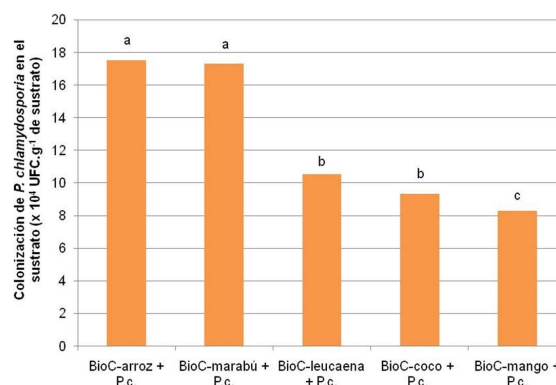
De forma general, el uso de biocarbones, tanto solos como combinados con el hongo nematófago *P. chlamydosporia* (IMI SD 187) tuvo un efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas de tomate cv. 'Elbita' a los 30 días en bandejas. Algunas de las variables del crecimiento de las plántulas, como la longitud de la planta y la raíz, el número de hojas, se vio ligeramente favorecido en los tratamientos con biocarbón + *P. chlamydosporia*, en comparación con sus respectivos controles donde se utilizaron los biocarbones solos, aunque, en la mayoría de los casos, desde el punto de vista estadístico, las diferencias no fueron significativas (Tabla 1).

La longitud de las plantas obtenidas en sustratos con biocarbón de cáscara de arroz (solo y combinado con *P. chlamydosporia*) fue superior, con diferencias significativas respecto al resto de los tratamientos y al control absoluto, seguido del biocarbón de semillas de mango (solo y combinado con *P. chlamydosporia*). Mientras, la longitud de la raíz fue superior en los tratamientos con biocarbón de semillas de mango, biocarbón de cáscara de arroz + *P. chlamydosporia* y biocarbón de ramas de marabú + *P. chlamydosporia*, con diferencias significativas respecto al control absoluto. En el resto de los parámetros no hubo influencia significativa del biocarbón ni de *P. chlamydosporia*, y tuvieron una respuesta variable (Tabla 1).

La diferencia en la respuesta del crecimiento de las plantas en los tratamientos con los diferentes biocarbones evaluados, pudiera estar relacionada con el tipo de biomasa de la cual proviene, así como de las condiciones de la pirólisis, que pueden influenciar las características físico-químicas de los biocarbones obtenidos (26, 27).

El hongo *P. chlamydosporia* colonizó los sustratos enriquecidos con los biocarbones, con adecuados niveles de colonización, en el rango de  $8,30 \times 10^4$  -  $1,76 \times 10^5$  UFC.g<sup>-1</sup> de sustrato. Los mayores niveles de colonización se obtuvieron en los tratamientos con los biocarbones de cáscara de arroz y ramas de marabú, con diferencias significativas respecto a los otros biocarbones utilizados (Figura 1).

Estos resultados demuestran que los biocarbones no afectaron la capacidad saprofítica del hongo en el suelo, similar a otras enmiendas orgánicas, las cuales favorecen su colonización y pueden constituir un vehículo para la aplicación del hongo en el suelo (28). Por otra parte, ciertas sustancias, resultado del proceso de pirólisis, que se encuentran en la superficie del



**Figura 1.** Colonización de *P. chlamydosporia* (IMI SD 187) en sustratos con diferentes biocarbones producidos por pirólisis en hornos de Kon Tiki, a los 30 días / Colonization of substrates with different biochars, produced by pyrolysis in Kon Tiki ovens, by *P. chlamydosporia* (IMI SD 187) after 30 days

biocarbón, pueden servir de sustrato como fuentes de carbono y energía para el hongo (26).

La colonización del hongo en las raíces de las plantas, también mostró adecuados niveles de colonización, en el rango de  $4,67 \times 10^3$  -  $9,64 \times 10^3$  UFC.g de raíz y la mayor colonización se observó en los tratamientos donde se aplicaron los biocarbones de fibras de coco y ramas de leucaena, sin diferencias significativas respecto a los tratamientos con los biocarbones de ramas de marabú y cáscara de arroz (Figura 2).

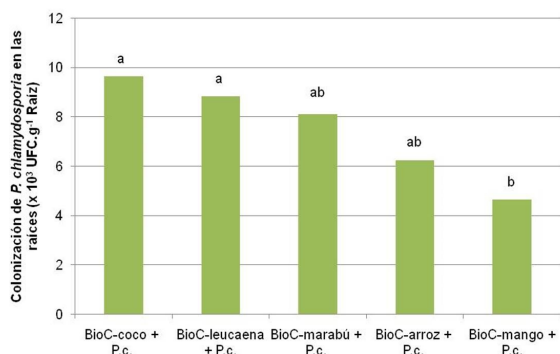
*P. chlamydosporia* (IMI SD 187) colonizó endofíticamente las raíces de las plantas de tomate cv. ‘Elbita’ entre un 65,28 -98,61 (%) en presencia de los biocarbones; los mayores porcentajes de colonización se observaron en los tratamientos con los biocarbones de cáscara de arroz y fibras de coco, sin diferencias significativas con los biocarbones de semillas de mango y ramas de leucaena (Figura 3).

**Tabla 1.** Efecto de biocarbones y *P. chlamydosporia* (KlamiC®) sobre el crecimiento de plantas de tomate cv. ‘Elbita’ a los 30 días / Effect of Biochars and *P. chlamydosporia* (KlamiC®) on growth of tomato plants cv. ‘Elbita’ at 30 days

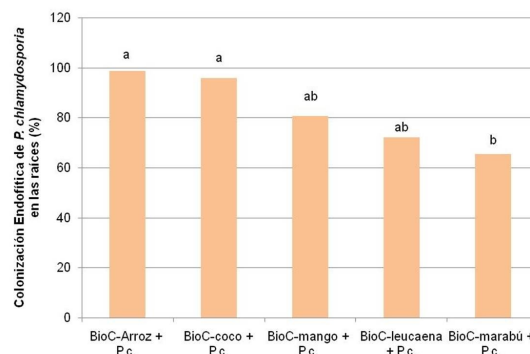
Tratamiento		Longitud de la planta ± ES (cm)	Longitud de Raíz ± ES (cm)	Diámetro del Tallo ± ES (mm)	Número de hojas ± ES	Masa fresca aérea ± ES (g)	Masa fresca Raíz ± ES (g)
Control sin <i>Pochonia</i>	Control absoluto	19,45 ± 1,30 c	6,93 ± 1,11 b	3,40 ± 0,20 ab	6,33 ± 0,21 a	3,64 ± 0,16 a	0,51 ± 0,04 a
	BioC-arroz	22,67 ± 0,57 a	7,25 ± 0,46 ab	3,30 ± 0,20 b	6,00 ± 0,45 abc	3,28 ± 0,07 ab	0,42 ± 0,03 abc
	BioC-coco	12,25 ± 0,31 g	7,52 ± 0,72 ab	2,60 ± 0,20 b	5,50 ± 0,34 bc	1,67 ± 0,10 g	0,25 ± 0,04 d
	BioC-leucaena	18,33 ± 1,08 cd	6,92 ± 0,63 b	2,60 ± 0,20 b	6,00 ± 0,26 abc	2,35 ± 0,23 de	0,28 ± 0,04 d
	BioC-mango	19,98 ± 0,95 bc	9,57 ± 0,66 a	6,60 ± 3,70 a	5,50 ± 0,22 bc	2,56 ± 0,08 d	0,43 ± 0,05 ab
Con <i>Pochonia</i>	BioC-marabú	12,98 ± 0,91 fg	7,62 ± 0,84 ab	2,60 ± 0,20 b	5,33 ± 0,33 c	1,76 ± 0,09 fg	0,34 ± 0,05 bcd
	BioC-arroz + P.c.	23,22 ± 0,49 a	9,55 ± 1,80 a	2,90 ± 0,20 b	6,17 ± 0,17 ab	2,72 ± 0,16 cd	0,22 ± 0,05 d
	BioC-coco + P.c.	16,30 ± 0,63 de	9,33 ± 0,78 ab	3,20 ± 0,20 b	6,33 ± 0,21 a	2,94 ± 0,12 bc	0,48 ± 0,07 a
	BioC-leucaena + P.c.	16,77 ± 0,69 de	8,20 ± 0,40 ab	2,30 ± 0,20 b	6,00 ± 0,26 abc	2,07 ± 0,16 ef	0,26 ± 0,03 d
	BioC-mango + P.c.	22,17 ± 0,61 ab	8,75 ± 0,45 ab	3,00 ± 0,00 b	6,00 ± 0,00 abc	2,62 ± 0,08 cd	0,33 ± 0,07 bcd
BioC-marabú + P.c.	14,85 ± 0,79 ef	9,58 ± 0,62 a	2,00 ± 0,00 b	5,67 ± 0,21 abc	1,78 ± 0,10 fg	0,28 ± 0,02 cd	

Leyenda: Biocarbón (BioC). *P. chlamydosporia* (P.c.).

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ )



**Figura 2.** Colonización de *P. chlamydosporia* (IMI SD 187) en raíces de plantas de tomate cv. 'Elbita' sobre sustratos con diferentes biocarbones, a los 30 días / Colonization of roots of tomato plants cv. 'Elbita' on substrates with different biochars by *P. chlamydosporia* (IMI SD 187) after 30 days



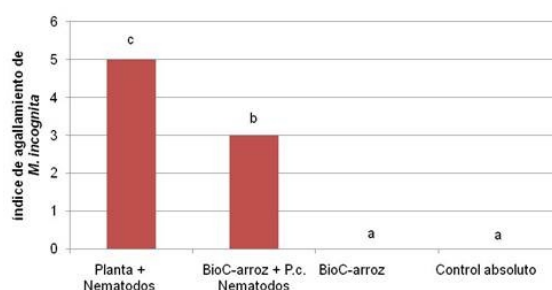
**Figura 3.** Colonización endofítica de *P. chlamydosporia* (IMI SD 187) en las raíces de plantas de tomate cv. 'Elbita' sobre sustratos con diferentes biocarbones, a los 30 días / Endophytic colonization of roots of tomato plants cv. 'Elbita' on substrates with different biochars by *P. chlamydosporia* (IMI SD 187) after 30 days

### Efecto de biocarbón con *P. chlamydosporia* sobre una población de *M. incognita*

A los 60 días después del trasplante, se constató que las plantas de tomate cv 'Elbita', obtenidas en las bandejas de semillero con biocarbón de cáscara de arroz en el sustrato solo o combinado con *P. chlamydosporia*, mostraron los mayores valores de crecimiento y producción, con diferencias significativas respecto a los tratamientos controles (Control absoluto y Planta + Nematodos). En el tratamiento de la planta sola con nematodos (Planta + Nematodos) se observaron los menores valores, con diferencias significativas, debido a que es un cultivar no tolerante a este nematodo (Tabla 2).

La mezcla del biocarbón de cáscara de arroz (carbocillo) con *Pochonia chlamydosporia* en plantas precolonizadas, provocó la disminución del índice de agallamiento a grado tres, con diferencias estadísticas respecto al control de la planta sola (planta + nematodo) donde se manifestó grado 5 (Figura 4).

Estudios realizados por Arshad *et al.* (29) indicaron que el biocarbón también estimuló el crecimiento de las plantas de tomate; e infirieron el efecto del biocarbón en la reducción del ataque de nematodos



**Figura 4.** Índice de agallamiento provocado por *M. incognita* en plantas de tomate cv. 'Elbita' sobre sustratos con biocarbón de arroz y *P. chlamydosporia* (IMI SD 187) / Root galling index caused by *M. incognita* in tomato plants cv. 'Elbita' on substrates with rice biochar and *P. chlamydosporia* (IMI SD 187)

fitoparásitos, no por efecto directo en la mortalidad del nematodo, sino que pueden estar presentes otros mecanismos, como modificación del pH del suelo, acumulación de microorganismos benéficos con efectos antagonistas frente a nematodos, o la inducción de respuestas de defensas de la planta por siliconas presentes en el biocarbón, que estimulan la producción de diferentes enzimas, entre otros, y de esta forma inhiben el establecimiento del nematodo en las raíces.

**Tabla 2.** Efecto de biocarbón de cáscara de arroz y *P. chlamydosporia* (KlamiC®) sobre el crecimiento de plantas de tomate cv. 'Elbita' a los 60 días después del trasplante/ Effect of Biochar from rice shell and *P. chlamydosporia* (KlamiC®) on growth of tomato plants cv. 'Elbita' at 60 days after transplanting

Tratamientos	Longitud de la planta ± ES (cm)	Longitud de raíz ± ES (cm)	Diámetro del tallo ± ES (mm)	Número de hojas ± ES	Número de flores ± ES	Número de Frutos ± ES
Planta + Nematodos	49,10 ± 8,80 c	5,10 ± 0,13 c	5,40 ± 0,24 c	5,20 ± 0,20 c	0,00 ± 0,00 d	0,00 ± 0,00 c
Control -absoluto	76,60 ± 4,14 b	6,50 ± 0,27 b	6,80 ± 0,37 b	9,40 ± 0,87 b	8,00 ± 0,71 c	0,20 ± 0,20 c
BioC-arroz	98,00 ± 2,02 a	7,86 ± 0,28 a	7,64 ± 0,35 ab	15,20 ± 1,39 a	17,80 ± 0,86 a	3,00 ± 0,95 a
BioC-arroz + P.c. + Nematodos	95,60 ± 2,16 a	7,02 ± 0,29 b	7,94 ± 0,10 a	14,20 ± 1,07 a	14,00 ± 0,71 b	1,20 ± 0,58 b

Leyenda: Biocarbón (BioC). *P. chlamydosporia* (P.c.).

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Por tanto, se requieren investigaciones adicionales para esclarecer la sinergia que se produce al aplicar biocarbones enriquecidos con el hongo nematófago *P. chlamydosporia*.

Los resultados del presente trabajo sugieren que el uso de biocarbones elaborados a partir de materiales de disponibilidad local, mezclados con *P. chlamydosporia* en sustratos para semilleros, puede tener efecto positivo sobre los parámetros agronómicos, aspecto de vital importancia para promover una adecuada adaptación y sobrevivencia de las plantas en campo. Resultados similares, se informaron sobre el crecimiento y la calidad de plantas en semilleros y viveros, en plantaciones hortícolas y otros cultivos como *Theobroma cacao* L. y *Coffea arabica* L., donde se emplea el biocarbón en mezclas de sustratos orgánicos, como medida de manejo agronómico más económica y sustentable (7, 30, 31).

La combinación del hongo con el biocarbón de arroz mostró un efecto positivo en las plantas y en la protección desde fases tempranas frente a *M. incognita*, lo que puede ser aprovechado dentro de la estrategia de manejo integrado de nematodos para garantizar la precolonización del hongo en las raíces de las plantas, previo al trasplante en el campo, como sugirieron Ceiro *et al.* (32) y Arévalo *et al.* (33).

De forma general, los resultados demostraron la compatibilidad de los biocarbones con el hongo nematófago *P. chlamydosporia* (IMI SD 187) lo cual abre futuras perspectivas en la investigación del uso combinado, como producto biológico portador de este agente de control biológico endófito, para el desarrollo de sustratos con mayor valor agregado en beneficio del suelo y de las plantas.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del Proyecto BioC (*Re-cycling of biomass nutrients and carbon for advanced organic fertilization in an ecosmart and climate positive agriculture on Cuba* (Bio-C), con financiamiento de SNSF, Suiza; FONCI y Programa Sectorial de Salud Animal y Vegetal, del MINAG, Cuba. Los autores desean expresar su agradecimiento al Especialista en nematología Roberto Enrique Regalado del CENSA, por su valiosa colaboración en la obtención de los biocarbones y la realización de este estudio.

#### REFERENCIAS

1. Álvarez M, Moya C, Florido M, Plana D. Resultados de la mejora genética del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y su incidencia en la producción hortícola en Cuba. Cultivos Tropicales. 2003;24(2):63–70.
2. Salazar-Antón W, Guzmán-Hernández TDJ. Efecto de las poblaciones de *Meloidogyne* sp. en el desarrollo y rendimiento del tomate. Agron Mesoam. 2013;24(2):419. DOI: [10.15517/am.v24i2.12542](https://doi.org/10.15517/am.v24i2.12542)
3. Talavera M, Salmerón T, Chiroso-Ríos M, Fernández M, Verdejo-Lucas S. Nematodos Fitoparásitos en cultivos hortícolas [Internet]. España: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera; 2014. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/322386863>
4. Fernández E. Manejo de fitonematodos en la agricultura cubana. Fitosanidad [Internet]. 2007; 11(3):57–60. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209116023008>
5. Hildalgo-Díaz L, Kerry BR. Integration of Biological Control with other Methods of Nematode Management. In: Ciancio A, Mukerji KG, editors. Integrated Management and Biocontrol of Vegetable and Grain Crops Nematodes. Dordrecht: Springer Netherlands; 2008. DOI: [10.1007/978-1-4020-6063-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6063-2_2)
6. Escalante A, Pérez G, Hidalgo C, López J, Campo J, Valtierra E, et al. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. Terra Latinoamericana. 2016;34(3):367–82.
7. Rodríguez M, González E, Linares J, Quiñonez C, González J, Hernández D, et al. Experiencias del uso de biocarbón enriquecido con abonos orgánicos en cooperativa urbana. In: Agroenergía y Economía circular/Convención AGROPAT 2022. [Internet]. Mayabeque, Cuba: Instituto de Ciencia Animal; 2022 [cited 2023 Jul 20]. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/366231267\\_Experiencias\\_del\\_uso\\_de\\_biocarbon\\_enriquecido\\_con\\_abonos\\_organicos\\_en\\_cooperativa\\_urbana](https://www.researchgate.net/publication/366231267_Experiencias_del_uso_de_biocarbon_enriquecido_con_abonos_organicos_en_cooperativa_urbana)
8. González-Marquetti I, Rodríguez MG, Delgado-Oramas B, Schmidt H. Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas. Revista de Protección Vegetal. 2020; 35(2):1–17.
9. Rodríguez MG, Enrique R, Calabuche G, Álvarez B, Alfonso R, Ynfante D, et al. Efectos del biocarbón y *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg en *Phaseolus vulgaris* L. en campo. Revista de Protección Vegetal [Internet]. 2022;37(3):1–6. Available from: <https://cu-id.com/2247/v37n3e04>
10. Pradhan S, Abdelaal AH, Mroue K, Al-Ansari T, Mackey HR, McKay G. Biochar from vegetable wastes: agro-environmental characterization. Biochar. 2020;2(4):439–53. DOI: [10.1007/s42773-020-00069-9](https://doi.org/10.1007/s42773-020-00069-9)

11. Pentón G, Velázquez M, Brea O, Milera M, Martín G. El biochar para optimizar el reciclaje de biomasa y su transformación en abonos de alta calidad. In: Memorias de la Convención de Producción Animal y Agrodesarrollo “AGROPAT”. Cuba: Instituto de Ciencia Animal; 2022. p. 1836.
12. Zhang Y, Wang J, Feng Y. The effects of biochar addition on soil physicochemical properties: A review. CATENA. 2021;202:105284. DOI: [10.1016/j.catena.2021.105284](https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105284)
13. Hunt J, DuPont M, Sato D, Kawabata A. The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment [Internet]. Hawaii, US: College of Tropical Agriculture and Human Resources (CTAHR); 2010 [cited 2018 Jun 10]. Available from: <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/SCM-30.pdf>
14. Kerry BR. Rhizosphere Interactions and the Exploitation of Microbial Agents for the Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes. Annu Rev Phytopathol. 2000;38(1):423–41. DOI: [10.1146/annurev.phyto.38.1.423](https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.38.1.423)
15. Hidalgo-Díaz L, Bourne JM, Kerry BR, Rodríguez MG. Nematophagous *Verticillium* spp. in soils infested with *Meloidogyne* spp. in Cuba: Isolation and screening. International Journal of Pest Management. 2000;46(4):277–84. DOI: [10.1080/09670870050206046](https://doi.org/10.1080/09670870050206046)
16. Manzanilla-López R, Esteves I, Finetti-Sialer M, Hirsch P, Ward E, Devonshire J, et al. *Pochonia chlamydosporia*: Advances and challenges to improve its performance as a biological control agent of sedentary endo-parasitic nematodes. Journal of Nematology [Internet]. 2013;45(1):1–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23589653>
17. Larriba E, Jaime MDLA, Nislow C, Martín-Nieto J, Lopez-Llorca LV. Endophytic colonization of barley (*Hordeum vulgare*) roots by the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* reveals plant growth promotion and a general defense and stress transcriptomic response. J Plant Res. 2015;128(4):665–78. DOI: [10.1007/s10265-015-0731-x](https://doi.org/10.1007/s10265-015-0731-x)
18. Hidalgo-Díaz L, Franco-Navarro F, de Freitas L. *Pochonia chlamydosporia* Microbial Products to Manage Plant-Parasitic Nematodes: Case Studies from Cuba, Mexico and Brazil. In: Manzanilla-López R, Lopez-Llorca L, editors. Perspectives in Sustainable Nematode Management Through *Pochonia chlamydosporia* Applications for Root and Rhizosphere Health. Cham: Springer International Publishing AG; 2017. DOI: [10.1007/978-3-319-59224-4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59224-4)
19. Casanova A, Hernández J, González F, Hernández M. Producción protegida de plántulas hortícolas en cepellones. In: Manual práctico para la producción protegida de hortalizas en Cuba. [Internet]. Cuba: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova” Grupo Agrícola\_PNUD; 2023. Available from: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-08/PNUD-Cuba-manual-hortalizas-protgida.pdf>
20. Schmidt H, Taylor P. Kon-Tiki flame cap pyrolysis for the democratization of biochar production. The Biochar-Journal [Internet]. 2014;14–24. Available from: <https://www.biochar-journal.org/en/ct/39>
21. Kerry B, Bourne J. A Manual for Research on *Verticillium chlamydosporium*: A Potential Biological Control Agent for Root-Knot Nematodes [Internet]. International Organization for Biological Control of Noxious Animals and Plants, West Palaearctic Regional Section; 2002. Available from: <https://repository.rothamsted.ac.uk/item/88y9v/a-manual-for-research-on-verticillium-chlamydosporium-a-potential-biological-control-agent-for-root-knot-nematodes>
22. Maciá-Vicente JG, Jansson H-B, Mendgen K, Lopez-Llorca LV. Colonization of barley roots by endophytic fungi and their reduction of take-all caused by *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. Can J Microbiol. 2008;54(8):600–9. DOI: [10.1139/W08-047](https://doi.org/10.1139/W08-047)
23. Hussey R, Barker K. A comparison of methods for collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. Plant Disease Report. 1973;57:1025–8.
24. Taylor A, Sasser J. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). USA: Cooperative publications, Dept. Plant Pathology, North Carolina State Univ. & U.S. Agency of International Development, Raleigh; 1978.
25. Di Rienzo J, Casanoves F, Balzarini M, González L, Tablada M, Robledo C. InfoStat versión 2017. Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba; 2017.
26. Sánchez S, Condoy A, Sisalima P, Barrezueta S, Jaramillo E. Uso de biocarbones en medios de cultivo para el crecimiento de *Trichoderma* spp. *in vitro*. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas. 2020;3(2):66–72.
27. Luo Y, Dungait JAJ, Zhao X, Brookes PC, Durenkamp M, Li G, et al. Pyrolysis temperature during biochar production alters its subsequent utilization by microorganisms in an acid arable soil. Land Degrad Dev. 2018;29(7):2183–8. DOI: [10.1002/ldr.2846](https://doi.org/10.1002/ldr.2846)
28. Hernández MA, Hidalgo Díaz L. KlamiC®: Bionematicida agrícola producido a partir del hongo *Pochonia chlamydosporia* var. *catenulata*.

- Revista de Protección Vegetal [Internet]. 2008 [cited 2024 Feb 23];23(2):131–4. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1010-27522008000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-27522008000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
29. Arshad U, Naveed M, Javed N, Gogi M, Ali M. Biochar application from different feedstocks enhances plant growth and resistance against *Meloidogyne incognita* in tomato. International Journal of Agriculture & Biology. 2020; 24(4): 961–8. DOI: [10.17957/IJAB/15.1522](https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1522)
  30. Cargua Chávez JE, Echeverría Arangundi CM, Cedeño García GA. Efectividad de biochar y biofertilizantes en el crecimiento y calidad de plántulas de cacao. Rev ESPAMCIENCIA. 2020; 11 (2):95–100. DOI: [10.51260/revista\\_espamciencia.v11i2.224](https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.224)
  31. Cargua Chávez JE, Luna Tamayo AK, González Sanango H, Cedeño García GA, Cedeño Sacón ÁF. Crecimiento y calidad de plantas de café Arábica con la aplicación de biochar y biofertilizantes en vivero. Chil j agric anim sci. 2022; 38 (1):3–14. DOI: [10.29393/CHJAAS38-1CCJA50001](https://doi.org/10.29393/CHJAAS38-1CCJA50001)
  32. Ceiro W, Puertas A, Arévalo J, Hidalgo-Díaz L. Efectos de la aplicación de *Pochonia chlamydosporia* var. *catenulata* Kamyscho ex Barron y Onions (Zare y Gams) sobre el desarrollo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Revista de Protección Vegetal. 2011;26(2):118–21.
  33. Arévalo J, Hernández M, Alfonso R, Montes de Oca N, Hidalgo-Díaz L. Validación de *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare y Gams en el manejo agronómico de vitroplantas de *Musa paradisiaca* L. en fase de adaptación *ex vitro*. Revista de Protección Vegetal. 2020;35(2):222–4697.

**Declaración y contribución de los autores:** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

**Contribución de los autores:** Jersys Arévalo Ortega: **Conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, validación, visualización, redacción del borrador original, redacción (revisión y edición).** Danay Ynfante Martínez: **Metodología, investigación, validación, visualización.** Daine Hernández Ochandía: **Metodología, investigación, análisis formal, validación.** Rolisbel Alfonso de la Cruz: **Análisis formal, investigación, metodología.** Mayra Rodríguez Hernández: **Conceptualización, metodología, supervisión, redacción (revisión y edición).**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)