

# Efecto de hongos micorrízicos arbusculares y agua tratada magnéticamente sobre nematodo agallero en *Cucumis sativus* L.



<https://cu-id.com/2247/v38e03>

## Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and magnetically treated water on root knot nematode on *Cucumis sativus* L.

Daniel Rafael Vuelta Lorenzo<sup>1\*</sup>, Siannah María Mas Diego<sup>2</sup>,  
 Gerardo Montero Limonta<sup>1</sup>, Miriela Rizo Mustelie<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Oriente, Campus J. A. Mella. Avenida de Las Américas s/n. CP 90400. Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>2</sup>Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Universidad de Oriente. Avenida de Las Américas s/n. CP 90400. Santiago de Cuba, Cuba.

**RESUMEN:** La investigación se desarrolló en la Unidad de Cultivo Protegido “Campo Antena”, de la Empresa Estatal Socialista América Libre, Santiago de Cuba, Cuba, en un suelo pardo mullido sin carbonato; entre noviembre 2019 y febrero 2020. El objetivo fue determinar el efecto de tres cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y agua tratada magnéticamente (ATM) con campo magnético estacionario, sobre la población de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood y el rendimiento del pepino (*Cucumis sativus* L.). La inoculación de los HMA se realizó en el momento de la siembra, en una proporción del 10 % del peso de los inóculos con respecto al de la semilla. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar, con 12 tratamientos y cuatro réplicas, con un testigo sin inoculación de HMA, un tratamiento sin inoculación de HMA y riego con ATM con inducción magnética (IM) de 0,05 - 0,07 T, un tratamiento sin inoculación de HMA y ATM con IM de 0,10 - 0,12 T, inoculación con *Rhizophagus irregularis*, inoculación con *Fummeliformis mosseae*, inoculación con *Glomus cubense* y 6 tratamientos con inoculación de cada una de estas cepas de HMA, con riego con ATM con las dos IM objeto de estudio. Las variables analizadas fueron índice de agallamiento (IA), porcentaje de colonización radical, altura de la planta, longitud, diámetro y peso promedio del fruto y el rendimiento, partiendo de una infestación natural con IA = 1. Los datos obtenidos se procesaron en el paquete estadístico R Commander mediante un análisis de varianza simple. Para estimar las diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba Tukey para  $p \leq 0,05$ . Los resultados obtenidos mostraron la eficiencia de los tratamientos aplicados en el rendimiento del pepino; se destacó *G. cubense* y ATM con inducción de 0,05 - 0,07 T que alcanzó 46,1 t.ha<sup>-1</sup>, brindándole una mayor protección a la planta contra el ataque de los nematodos, con un IA final de 1,5.

**Palabras clave:** campo magnético, cultivo protegido, micorrizas, nematodo agallero.

**ABSTRACT:** The research was carried out on a soft brown soil without carbonate at the Protected Cultivation Unit “Campo Antena” of the Socialist State Enterprise “América Libre”, Santiago de Cuba, Cuba, from November 2019 to February 2020. The objective was to determine the effect of three strains of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and magnetically treated water (MTW) with a stationary magnetic field on populations of *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood and cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield. AMF inoculation was carried out at planting in a proportion of 10 % of the weight of the inoculum with respect to the weight of seeds. The experimental design was completely randomized blocks, with 12 treatments and four replicates, with a control without AMF inoculation, a treatment without AMF inoculation and irrigation with MTW with magnetic induction (MI) of 0.05 - 0.07 T, a treatment without inoculation of AMF and MTW with MI of 0.10 - 0.12 T, inoculation with *Rhizophagus irregularis*, inoculation with *Fummeliformis mosseae*, inoculation with *Glomus cubense* and 6 treatments with inoculation of each of these AMF strains with irrigation with MTW with the two MIs under study. The variables analyzed were galling index (GI); root colonization percentage; plant height; fruit length, diameter, average weight and yield, starting from a natural infestation with a GI of 1. The data obtained were processed in the statistical package R Commander by means of a simple analysis of variance. The Tukey test for  $p \leq 0.05$  was applied to estimate the significant differences between treatments. The results showed how effective were the treatments for the yield of cucumber, with outstanding results of the treatment with *G. cubense* and ATM with induction of 0.05 - 0.07 T, which reached 46.1 t.ha<sup>-1</sup>, giving the plants a greater protection against the attack of nematodes, with a final GI of 1.5.

**Keywords:** magnetic field, protected crops, mycorrhiza, root knot nematode.

\*Autor para correspondencia: Daniel Rafael Vuelta Lorenzo. E-mail: [dvuelta@uo.edu.cu](mailto:dvuelta@uo.edu.cu)

Recibido: 04/07/2023

Aceptado: 28/09/2023

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de hortalizas en todo el mundo se encuentra actualmente en conflicto entre las crecientes y urgentes necesidades alimentarias de la humanidad, los efectos del cambio climático, el comercio artificial de estos productos (que también se globalizó) y las características de los suelos en los que se cultivan. Estas variables, complejas y diversas, deben ser atendidas para lograr rendimientos hortícolas óptimos (1).

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una cucurbitácea nativa del norte de India, que se cultiva en condiciones tropicales y subtropicales alrededor del mundo (2). El rendimiento por planta varía entre 576,9 y 11600 g/planta para pepino largo; 1424 - 13409 g/planta para pepino mediano y 810- 13800 g/planta para pepino pequeño (3).

Los nematodos parásitos de plantas o fitoparásitos se caracterizan por obtener nutrientes de sus hospedantes a través de una estructura denominada estilete, que perfora las células y obtiene alimento, lo cual provoca importantes daños que pueden llevar a la destrucción total del material vegetal (4).

Los nematodos fitoparásitos se asocian a afectaciones en el desarrollo y producción de los cultivos agrícolas, reconociéndose como uno de los factores limitantes en los rendimientos (5). En Cuba, constituye uno de los problemas fitosanitarios más importante de los cultivos hortícolas (6). Dentro de los nematodos formadores de agallas, *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood es la especie que, de manera más común, se encuentra afectando los vegetales. Tradicionalmente, se utilizaron diferentes alternativas de control dirigidas a reducir y/o eliminar las poblaciones de nematodos. Los nematicidas químicos, cuya gama es amplia, se emplearon para su control, pero muchos de estos productos son biocidas de impacto negativo sobre los organismos benéficos presentes en el suelo. En la actualidad, se buscan otros métodos de manejo aplicando microorganismos y prácticas culturales (Manejo Integrado de Nematodos) (7), para disminuir las poblaciones de estos organismos y su impacto en los cultivos.

Vos *et al.* (8) y Schouteden *et al.* (9) plantearon que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) reducen, de manera significativa, la infestación por nematodos, ya que una asociación micorrízica puede reducir el establecimiento y reproducción de patógenos e inclusive, incrementar variables de desarrollo del cultivo asociado.

Existen estudios sobre los efectos de los HMA en plantas atacadas por nematodos (10,11). La mayoría arrojó que se produjo una disminución de la severidad de la infestación. El potencial de los HMA de afectar las relaciones huésped-patógeno, por mecanismos no relacionados a la adquisición de fósforo (P) parece ser mayor con biótrosfos obligados, más que con saprotrosfos facultativos. Los mecanismos están relacionados

al aporte de resistencia a la planta, la acción de los elicitores que desencadenan la activación de los mecanismos de defensa de la planta (12), las modificaciones en la fisiología del huésped y los cambios en los exudados radicales, que modificarían la atracción de los nematodos a las raíces (13).

La importancia del estudio de los HMA radica en que existe evidencia de asociación con más del 80 % de las plantas, así como a su función en la protección del sistema radicular frente a fitopatógenos, promoción de la nutrición mineral y facilitación de la absorción de agua y en la mejora del crecimiento y supervivencia de las plantas (14).

Las tecnologías desarrolladas a partir de métodos físicos no contaminantes para estimular el crecimiento y rendimiento de las plantas, constituyen una de las soluciones más prometedoras del problema antes planteado, y puede contribuir con el desarrollo de una agricultura sostenible. El Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) perteneciente a la Universidad de Oriente, Cuba, trabaja en la aplicación del agua tratada magnéticamente con fines agrícolas la cual, utilizada en el riego, demuestra las bondades que tiene en la germinación, fotosíntesis y elevación de los rendimientos agrícolas (15).

Otras investigaciones mostraron que la aplicación del campo magnético induce cambios favorables en varias especies vegetales de interés agronómico, facilita la absorción de nutrientes y favorece su crecimiento y desarrollo (16,17,18).

Estudios realizados sugieren el uso del campo magnético para enfrentar plagas. Los mismos refieren que las plantas que recibieron agua tratada magnéticamente, tuvieron la tendencia a comportarse tolerantes a patógenos (19,20); aunque todavía resulta escasa la información recopilada sobre este tema.

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de los HMA y el riego con agua tratada magnéticamente, sobre las poblaciones de *M. incognita* y el rendimiento del pepino en condiciones de cultivo protegido, como una posible estrategia dentro del manejo de este nematodo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el periodo noviembre / 2019 - febrero / 2020, en la unidad de cultivo protegido "Campo Antena", perteneciente a la Empresa Estatal Socialista "América Libre", ubicada en la autopista Nacional Santiago de Cuba Km 3 ½, Santa María, (X: 60757330 Y: 156332149) en el municipio Santiago de Cuba, Cuba.

El suelo de la unidad es pardo, mullido sin carbonato y presenta alta incidencia de nematodos agalleros, en específico, de *M. incognita*. Se utilizó el híbrido pepino 'YA 2005'. La preparación de suelo se efectuó según los requerimientos de esta tecnología con un pase de Tiller, un subsoleo, pase de grada y por último,

se realizó el acanteramiento de acuerdo a lo establecido en el Manual para la Producción Protegida de Hortalizas. (21).

Como inoculantes micorrízicos, se utilizaron cepas procedentes de la colección de HMA del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Al momento de su uso, los inóculos poseían un título promedio de 50 esporas.g<sup>-1</sup> de suelo fresco certificado en el Laboratorio de Micorrizas del INCA. Las cepas fueron *Rhizophagus irregularis*. (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler), INCAM - 11, *Funneliformis mosseae*. (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler), INCAM - 2 y *Glomus cubense* (Y. Rodr. & Dalp) INCAM - 4

Para el tratamiento de las semillas, se preparó una pasta homogénea con agua en una proporción de 1 kg de cada inóculo por cada 10 kg de semilla, y con ella se recubrió la semilla completamente, según la metodología de Fernández *et al.* (22) Posteriormente, se pusieron a secar en la sombra en un periodo de 5 a 10 minutos, y se procedió a la siembra.

La siembra en cepellones se realizó en bandejas de poli espuma (polietileno expandido) con 150 alvéolos. El sustrato utilizado fue de 80 % de humus de lombriz y 20 % de turba rubia. La siembra se realizó de forma manual, se colocó la semilla a una profundidad de 2 a 3 mm con un marcador que se presiona sobre el sustrato, a fin de lograr la profundidad deseada. Se colocó una semilla por alvéolo y dos en los extremos cortos de la bandeja, como reserva para sellar posibles fallos de germinación. Una vez realizada la siembra, las bandejas fueron colocadas en el cuarto oscuro. El tiempo que se mantuvieron en la oscuridad fue de 3 días. Luego, fueron colocadas en un área protegida con cubierta de polietileno flexible, cubiertas laterales de malla anti bemisia, porta bandejas separadas del suelo entre 60 y 100 cm, riego localizado o con regadera. A los 28 días ya estaban óptimas para el trasplante.

Para la desinfección de las bandejas, se agregó cloro a una dosis de 1 L por 200 litros de agua (5 ml por litro de agua) y fueron sumergidas las charolas en un recipiente que contenía la solución (23).

Para obtener el agua tratada magnéticamente (ATM) se utilizaron dos inducciones magnéticas de 0,05 - 0,07 Tesla (T) y 0,10 - 0,12 T. Para el tratamiento magnético se utilizaron dispositivos exteriores de imanes permanentes o de campo magnético estático. Los magnetizadores se diseñaron en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. (CNEA). Después del trasplante, el agua tratada magnéticamente, se comenzó a utilizar de inmediato, hasta finalizar el experimento.

La casa de cultivo protegido utilizada en la experimentación fue de Tipología 2. Las características de las casas en estudio son:

- Largo: 40 m
- Ancho: 20 m

- Área por casa: 800 m<sup>2</sup>
- Cantidad de canteros: 10
- Sistema de riego: por goteo

El marco de plantación utilizado fue de 1,5 m x 0,30 m. Se emplearon 2 casas de cultivo con 4 parcelas de 200 m<sup>2</sup> y en proporción de 444 plantas cada una.

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro réplicas y doce tratamientos.

### Descripción de los tratamientos

1. Testigo sin inoculación de HMA
2. Cultivo sin inoculación de HMA + riego con ATM (0,05-0,07 T)
3. Cultivo sin inoculación de HMA + riego con ATM (0,10-0,12 T)
4. Inoculación con *R. irregularis*
5. Inoculación con *F. mosseae*
6. Inoculación con *G. cubense*
7. Inoculación con *R. irregularis* + riego con ATM (0,05-0,07 T)
8. Inoculación con *R. irregularis* + riego con ATM (0,10-0,12 T)
9. Inoculación con *F. mosseae* + riego con ATM (0,05-0,07 T)
10. Inoculación con *F. mosseae* + riego con ATM (0,10-0,12 T)
11. Inoculación con *G. cubense* + riego con ATM (0,05-0,07 T)
12. Inoculación con *G. cubense* + riego con ATM (0,10-0,12 T)

Previo al trasplante, se aplicó un riego al área de plantación para garantizar la humedad adecuada en el terreno y evitar el estrés de las posturas. Una vez plantadas, se aplicó un riego ligero sin nutrientes a fin de proporcionar una adecuada humedad alrededor de las raíces y evitar los espacios de aire entre el cepellón y el suelo circundante, lo cual beneficia el desarrollo radical de las posturas.

### Trasplante de posturas con cepellones

Previo al trasplante, se aplicó un riego al área de plantación, en horas de la tarde, para garantizar la humedad adecuada en el terreno y así evitar el estrés de las posturas. Se utilizaron posturas de 25 a 28 días de sembradas, con una altura media de 12 cm, 5 hojas verdaderas y un grosor del tallo de 4 mm. La modificación fue de una hilera por surco para facilitar el tutorado.

## Retrasplante

Entre el 7mo y el 8vo día, toda la plantación quedó resellada de manera uniforme y con el 100 % de población.

## Manejo de la plantación

**Tutorado:** La plantación se condujo a un solo tallo, con tutores de varas de marabú (*Dichrostachys cinerea*) de 1,2 cm de diámetro, y se situaron en los surcos a una distancia de 1 m, unidas en forma de trípode con el objetivo de mejorar la aireación general de la planta, favorecer el aprovechamiento de la radiación solar y la realización de las labores culturales, lo que repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

**Deshoje:** Esta labor se realizó con el objetivo de eliminar las hojas dañadas, enfermas o caducas de la planta, a través de todo su ciclo vegetativo.

**Decapitado:** Se realizó en función de favorecer el peso y la calidad de los frutos.

**Riego:** El cultivo exige balance de humedad del suelo, por lo que fue necesario mantenerlo ligeramente humedecido hasta que concluyeron las cosechas. Este elemento y la evapotranspiración diaria se monitoreó constantemente, cuidando de el agua no faltara en las fases de floración y la fructificación.

**Cosecha y Poscosecha:** Cuando el fruto logró buena consistencia y alcanzó la madurez técnica, se efectuaron las cosechas en horas de la mañana o en las últimas horas de la tarde. Para ello se emplearon tijeras y cuchillos con buen filo, con el objetivo de evitar las desgarraduras o daños en frutos y plantas.

## Determinación del Índice de agallamiento de nematodos.

Se hizo análisis del suelo antes del trasplante y después de la cosecha (120 días). Las poblaciones de nematodos agalleros en el suelo, se estimaron a través del método indirecto de bioensayo, con el uso de planta indicadora. En este caso, se utilizó calabaza (*Cucurbita pepo*) (24). Las raíces se extrajeron, se lavaron con cuidado y se les determinó el índice de agallamiento a través de la escala de Taylor y Sasser (25) mediante el conteo de agallas bajo el estereomicroscopio (Zeiss) con 160 aumentos. Este índice de agallamiento fue el indicador de la población inicial de *Meloidogyne incognita*.

Al finalizar el ciclo del cultivo, se extrajeron 25 plantas por tratamiento y réplica, tomadas al azar, y se determinó el índice de agallamiento final (25). Los análisis del suelo para determinar los índices de agallamiento de la plaga, se realizaron en el Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal de Santiago de Cuba, Cuba.

## Colonización radical por HMA

Una vez terminado el ciclo productivo del cultivo, se recogieron las raíces, con sumo cuidado, para proteger la mayor cantidad de raicillas y de ese modo preservar los pelos absorbentes. Las muestras se enviaron al INCA para su procesamiento. En esa institución, las raicillas muestreadas se lavaron con agua corriente para eliminar todo el suelo y luego, se secaron al aire. Se tomaron las raicillas más finas y se desmenuzaron. Para las determinaciones, se pesaron aproximadamente 200 mg de raicillas que se secaron a 70°C, y se tiñeron según la metodología descrita por Phillips y Hayman (26). La evaluación se realizó por el método de los interceptos (27) mediante el cual se determinó el porcentaje de colonización micorrízica o frecuencia de colonización. Una vez tomadas y analizadas las muestras, se calcularon los datos según la fórmula para transformar los datos en % de colonización.

## Variables del rendimiento y sus componentes

Para la evaluación de la altura de la planta (realizada a los 45 días después del trasplante), masa promedio de los frutos, longitud y diámetro del fruto y rendimiento, se escogieron al azar 25 plantas y 80 frutos, por cada tratamiento.

Los datos experimentales para cada variable, se sometieron a análisis de varianza de clasificación simple. Para estimar las diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). El programa estadístico empleado fue R Commander versión 4.1.1 para Windows.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La inoculación de HMA, previa a la siembra, evidenció resultados positivos al reducirse los niveles de infestación de la plaga; mejorar el comportamiento del cultivo cuando se combinaron los HMA (específicamente *G. cubense* y *R. irregularis*) con ATM, donde se obtiene un agallamiento de 1,5 (*G. cubense* + ATM) y supera estadísticamente al testigo, aunque sin diferencias significativas respecto a los otros tratamientos. Las raíces de las plantas que recibieron inoculación de HMA, presentaron mayores porcentajes de colonización radical en relación a los tratamientos que no recibieron inoculación. (Ver [tabla 1](#))

Abd-Elgawad (28) afirmó que un grupo de hongos potenciales en el biocontrol de nematodos es el de los HMA, que funcionan como simbioses obligados de raíces de plantas. La planta ofrece carbono fotosintético para los simbioses; mientras ayuda a las raíces a absorber más nutrientes y estimula, tanto el crecimiento de las raíces, como la estructura foliar. Además, suelen competir por la nutrición y el espacio con patógenos del suelo. También, El-Nagdi (29) Zipfel y

**Tabla 1.** Índice de agallamiento provocado por *M. incognita* y % de colonización de HMA en raíces de pepino / *Meloidogyne incognita* gall index and root colonization % by AMF

Tratamientos	IA inicial	IA final	% de colonización radical
Testigo sin inoculación de HMA	1	4,2 ± 0,6 a	8,15 ± 2,20 j
Cultivo sin inoculación de HMA + ATM (0,05 - 0,07 T)	1	2,7 ± 0,4 ab	19,00 ± 3,30 i
Cultivo sin inoculación de HMA + ATM (0,1 - 0,12 T)	1	2,6 ± 0,6 ab	20,00 ± 2,60 h
<i>R. irregularis</i>	1	1,9 ± 0,5 ab	30,15 ± 6,30 f
<i>F. mosseae</i>	1	2,3 ± 0,2 ab	29,00 ± 4,50 g
<i>Gl. cubense</i>	1	1,8 ± 0,8 ab	40,00 ± 3,50 c
<i>R. s irregularis</i> + ATM (0,05 - 0,07 T)	1	1,8 ± 0,6 ab	39,00 ± 3,10 c
<i>R. irregularis</i> + ATM (0,1 - 0,12 T)	1	1,9 ± 0,8 ab	39,55 ± 7,10 c
<i>F. mosseae</i> + ATM (0,05 - 0,07 T)	1	2,0 ± 0,5 ab	32,25 ± 7,40 e
<i>F. mosseae</i> + ATM (0,1 - 0,12 T)	1	2,0 ± 0,8 ab	33,00 ± 4,40 d
<i>G. cubense</i> + ATM (0,05 - 0,07 T)	1	1,5 ± 0,7 b	54,65 ± 4,80 a
<i>G. cubense</i> + ATM (0,1 - 0,12 T)	1	1,5 ± 0,5 b	54,25 ± 6,60 a
ESx	-	0,0767	0,1833

Medias con letras iguales en una misma columna no difieren de forma significativa para  $p \leq 0,05$

IA, índice de agallamiento.

Oldoryd (30) y Gao (31) afirmaron que las plantas pueden inmunizarse contra los ataques de nematodos, ya que los HMA pueden inducir respuestas sistémicas de resistencia adquirida contra nematodos.

Las micorrizas permiten a las plantas absorber más fósforo, nitrógeno y agua; mejora su resistencia a condiciones ambientales extremas; le permite además, obstaculizar el ataque de patógenos que provocan enfermedades a la raíz, proteger el medio ambiente y evitar, por completo, el uso de agroquímicos (32).

Puede apreciarse que los efectos de los HMA, en la mayoría de las plantas atacadas por nematodos, una disminución de la severidad de la infestación, debido posiblemente, a que los nematodos parásitos de las plantas son antagonistas, biótrofos obligados, al igual que los HMA. Igualmente, se comprobó que existe una relación antagonista causada por los hongos micorrízicos arbusculares hacia los patógenos y que la reducción de daños por ataques de estos no se sustenta únicamente en una mayor cantidad de raíces (33).

Poveda *et al.* (34) plantearon que los hongos micorrízicos utilizados contra nematodos, son capaces de reducir el daño causado por los nematodos parásitos de las plantas, establecen competencia por el espacio y los recursos, proporcionan más nutrientes y mayor absorción de agua por la planta, modifican la morfología de la raíz y / o la rizosfera, lo que constituye una ventaja para el crecimiento de la planta. Además, los hongos actúan contra los nematodos activa hormonas (ácido salicílico y jasmónico, estrigolactonas entre otras) como mecanismo de defensa de las plantas.

Por otra parte, se informó que el ATM dota a las plantas de cultivo ante el ataque de patógenos (16). Quiala *et al.* (19) refirieron una disminución del grado de infestación por nematodos debido a la influencia del ATM, mejorando la condición de la planta

que sirve como huésped, la cual presenta buen vigor debido a una mayor disponibilidad de nutrientes.

Los mayores rendimientos y mejores resultados en cuanto al crecimiento y desarrollo de las plantas se lograron en los tratamientos que recibieron la combinación de HMA (*Glomus cubense*) y riego con agua magnetizada, comparado con los mismos tratamientos sin riego. El mejor resultado se obtuvo con el empleo de *Glomus cubense* y ATM con inducción magnética de 0,05 - 0,07 T. (Tabla 2)

Esto puede deberse a una mejor nutrición de la planta producto a la rápida y equilibrada asimilación de agua y nutrientes cuando está sometida a la inducción magnética, lo que demuestra que la ionización magnética previene los desbalances iónicos, dando solución a los problemas de nutrición del suelo, por lo que se produce un aumento el crecimiento y rendimiento de las plantas manifestándose un efecto combinado positivo al unirse los HMA y el ATM. Las especies *G. cubense* y *R. irregularis* mostraron un mejor comportamiento para este tipo de suelo, lo que indica una mayor capacidad de adaptación a estas condiciones edáficas.

Se considera que el agua magnetizada es mejor asimilada por las células, favoreciendo que la intensidad del flujo de agua hacia el interior de la planta se produzca de forma más rápida que en condiciones normales por los diferentes mecanismos de ósmosis y difusión, y comprende los mecanismos de alteración de la permeabilidad de la membrana, asociados con los mecanismos de transporte de nutrientes, planteados por Lasso (35) lo que le confiere una mayor resistencia o tolerancia contra los embates de las plagas (36).

Los HMA causaron un incremento en el crecimiento y el desarrollo de las plantas, desarrollando resistencia contra la infestación del nematodo. También, actúa como un agente efectivo y alternativo de biocontrol

**Tabla 2.** Efectos de los HMA y ATM sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento de *C. sativus* infestado con *M. incognita*. / Effects of AMF and MTW on growth and yield of *C. sativus* infested with *M. incognita*

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	Peso promedio de los frutos (g)	Longitud del fruto (cm)	Diámetro del fruto (cm)	Rendimientos (t·ha <sup>-1</sup> )
Testigo sin inoculación de HMA	98,4 ± 22,6 k	328,45 ± 34,60 l	15,35 ± 3,80 l	4,0 ± 1,2 h	37,2 ± 12,6 h
Cultivo sin inoculación de HMA + ATM (0,05 - 0,07 T)	104,5 ± 23,5 i	354,55 ± 38,60 j	16,98 ± 4,10 j	4,2 ± 1,0 g	39,1 ± 11,8 g
Cultivo sin inoculación de HMA + ATM (0,1 - 0,12 T)	101,2 ± 25,8 j	351,80 ± 41,20 k	16,36 ± 5,80 k	4,2 ± 1,1 g	38,9 ± 12,3 g
<i>Rhizophagus irregularis</i>	110,2 ± 28,4 g	360,50 ± 37,60 h	17,60 ± 4,70 h	4,4 ± 1,0 e	39,6 ± 14,4 fg
<i>Funneliformis mosseae</i>	107,5 ± 18,9 h	357,90 ± 36,50 i	17,47 ± 4,20 i	4,3 ± 1,2 f	39,2 ± 13,3 gh
<i>Glomus cubense</i>	117,1 ± 26,4 e	376,70 ± 36,70 e	18,44 ± 4,60 e	4,4 ± 1,1 e	41,2 ± 15,1 e
<i>Rhizophagus irregularis</i> + ATM (0,05 - 0,07 T)	124,3 ± 22,4 c	383,20 ± 41,20 c	20,42 ± 3,90 c	4,6 ± 1,0 c	44,6 ± 17,7 c
<i>Rhizophagus irregularis</i> + ATM (0,1 - 0,12 T)	121,1 ± 28,5 d	381,75 ± 42,60 d	19,16 ± 4,10 d	4,5 ± 1,2 d	42,9 ± 16,6 d
<i>Funneliformis mosseae</i> + ATM (0,05 - 0,07 T)	114,7 ± 41,3 f	372,25 ± 43,10 f	18,11 ± 4,30 f	4,3 ± 1,4 f	40,8 ± 11,4 ef
<i>Funneliformis mosseae</i> + ATM (0,1 - 0,12 T)	112,5 ± 39,5 f	363,40 ± 38,70 g	17,95 ± 5,10 g	4,6 ± 1,2 c	40,5 ± 10,6 f
<i>Glomus cubense</i> + ATM (0,05 - 0,07 T)	129,8 ± 28,9 a	387,65 ± 41,80 a	24,39 ± 4,80 a	4,9 ± 1,3 a	48,9 ± 11,7 a
<i>Glomus cubense</i> + ATM (0,1 - 0,12 T)	127,5 ± 31,5 b	385,25 ± 44,50 b	21,28 ± 4,20 b	4,8 ± 1,1 b	46,1 ± 10,9 b
ESx	0,0566	0,2775	0,0385	0,0275	0,3667

Medias con letras iguales en una misma columna no difieren significativamente para  $p \leq 0,05$

en contra del nematodo. A la vez que se potencia este efecto por el uso del ATM, se establece un efecto sinérgico con los HMA y se beneficia al cultivo, favoreciendo incrementos en todos los indicadores evaluados.

Las respuestas positivas a los HMA, en especial de *Glomus cubense*, se evidenciaron en el número de frutos, masa del fruto y rendimiento (Tabla 2) resultados similares a los informados por Reyes *et al.* (37) en dos variedades de pepino, donde las plantas tratadas con *G. cubense* registraron el mayor valor de masas frescas de planta. Igualmente, se evidenciaron efectos positivos sobre el número de frutos, masa del fruto y rendimiento, debido a la colonización micorrizica que produce cambios físicos, bioquímicos y fisiológicos en las raíces, que conducen a un mejor estado general de la planta, y por ende, tiene como resultado una mayor biomasa en las plantas con las que forman simbiosis.

*G. cubense* es el HMA que mejor adaptabilidad muestra a las condiciones edafoclimáticas de la localidad y específicamente, al tipo de suelo en que se trabajó: pardo mullido sin carbonato (38). Los beneficios de la simbiosis entre las micorrizas y el hospedero, se observan en supervivencia, productividad (cantidad y calidad) (39), morfología de planta y capacidad reproductiva (40).

Del Busto *et al.* (41) obtuvieron resultados similares en su evaluación de 6 híbridos de pepino en casas de cultivo protegido en la provincia de Pinar del Río, con

rendimientos que fluctuaron entre las 34 a 41 t.ha<sup>-1</sup>, en la mayoría de estos cultivares.

Varios estudios demostraron que la aplicación de HMA reduce la incidencia de *M. incognita* y mejora el crecimiento de las plantas (42, 43, 44), aunque la función exacta en la resistencia sistémica aún no se ha aclarado totalmente. El mecanismo a través del cual este aumento de la capacidad defensiva sistémica de las raíces se produce, está relacionado con la activación de los genes que codifican quitinasas, proteínas PR, enzimas involucradas en la desintoxicación de ROS (especies reactivas de oxígeno) (cuya acumulación se produce durante la hipertrofia y células muertas causada por nematodos) como la glutatión S-transferasa o la superóxido dismutasa (SOD) enzimas implicadas en la biosíntesis de lignina, y en la vía del shikimato que, a su vez, produce precursores de varios metabolitos secundarios aromáticos contra los nematodos (45).

Los resultados de esta investigación demostraron que, bajo las condiciones experimentales utilizadas, la aplicación del campo magnético estático entre 0,05 y 0,07 T en el agua de riego estimuló, de forma significativa, los rendimientos agrícolas. Según Ospina-Salazar *et al.* (45) el agua tratada magnéticamente no se comporta igual en todas las especies, ya que no muestra respuestas similares todas las hortalizas cuando se someten a esta condición.

Para el cultivo del pepino (*C. sativus*) *G. cubense* se comportó como la cepa de HMA más eficiente y

su combinación con riego con inducción magnética de (0,05 - 0,07 T) fue la más efectiva. Se puede inferir que existe un efecto sinérgico entre los HMA y el ATM que permite a la planta brindar una mejor respuesta al ataque de los nematodos, minimizándose los daños e incrementándose los rendimientos. Hasan *et al.*, (46) demostraron una reducción en la población de nematodos utilizando bionematicidas a base de *Bacillus megaterium* y *Trichoderma album* en combinación con agua tratada magnéticamente, lo que corrobora el efecto sinérgico del uso de microorganismos y ATM en el manejo integrado de nematodos.

### CONCLUSIONES

Los HMA (principalmente *G. cubense*) no impidieron el ataque de los nematodos a *C. sativus*; sí se observó una reducción considerable en la formación de agallas. La inoculación de HMA condujo a un incremento de los indicadores de crecimiento y desarrollo del cultivo con aumento del rendimiento. El riego con ATM potencia los efectos positivos de los HMA en el manejo de *M. incognita* en el cultivo del pepino con un efecto sinérgico, lo que demuestra que su uso combinado puede ser una práctica beneficiosa para el manejo de esta plaga en el cultivo.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los obreros de la Unidad Campo Antena por el apoyo en la ejecución del trabajo, al Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal de Santiago de Cuba y al Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Este trabajo forma parte de la tesis doctoral "Efecto combinado de los Hongos Micorrizicos Arbusculares y riego con agua tratada magnéticamente en el manejo de *Meloidogyne incognita*" del programa de doctorado en Ciencias Ambientales de la Universidad de Oriente, en Cuba. La investigación se presenta como resultado de los proyectos: "Incorporación de buenas prácticas en el empleo de microorganismos benéficos y sustancias orgánicas para la producción de alimentos y el logro de la soberanía alimentaria" y "Manejo holístico de agroecosistemas sostenibles aplicando prácticas con principios agroecológicos en diferentes condiciones edafoclimáticas".

### REFERENCIAS

1. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021-2022 / CEPAL, FAO e IICA. - San José, C.R.: IICA, 2021: 132 p.
2. Kapuriya VK, Ameta KD, Teli SK, Chittora A, Gathala S, Yadav S. Effect of spacing and training on growth and yield of polyhouse grown

- cucumber (*Cucumis sativus* L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017; 6 (8): 299-304.
3. Chacón-Padilla K, Monge-Pérez JE. Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero: comparación entre tipos de pepino *Cucumis sativus*. Tecnología en marcha. 2020; 33(1): 17-35.
4. Senthilkumar M, Anandham R, Krishnamoorthy R *Paecilomyces*. En Amaresan, Natarajan & Murugesan, Senthilkumar & Annapurna, K. & Kumar, Krishna & Narayanan, Sankara. (Editores). Beneficial Microbes in Agro-Ecology: Bacteria and Fungi. Academic Press, 2020, p. 793-808. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00041-1>
5. Peña-Prades M, Olivares-Reyes N, Rodríguez-Regal M, Peña-Rivera L, Cobas-Elías A, Cervera-Duverger G, Barquién-Pérez O. Nematodos fitoparásitos asociados al cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la provincia Guantánamo, Cuba. Cultivos Tropicales. 2018; 39(1): 7-14.
6. Miranda Cabrera I, Hernández-Ochandía D, Hernández del Amo Y, Martínez Coca B, Rodríguez Hernández MG. Modelación de la interacción *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood- *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg en garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Revista de Protección Vegetal. 2018; 31(3): 194-200.
7. Vuelta-Lorenzo DR, Rizo-Mustelier M, Aroche-Alarcón JA. Empleo de alternativas para el manejo de nemátodos en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*) en la finca Santo Tomás. Ciencia en su PC. 2019; 1(1): 1-15.
8. Vos CM, Tesfahun AN, Panis B, De Waele D, Elsen A. Arbuscular mycorrhizal fungi induce systemic resistance in tomato against the sedentary nematode *Meloidogyne incognita* and the migratory nematode *Pratylenchus penetrans*. Applied Soil Ecology. 2012; 61: 1-6
9. Schouteden N, De Waele D, Panis B, Vos CM. Arbuscular mycorrhizal fungi for the biocontrol of plant-parasitic nematodes: a review of the mechanisms involved. Frontiers in Microbiology. 2015; 6, 1280.
10. Trejo-Aguilar D. Efecto de la micorriza arbuscular en plantas de café (*Coffea arabica* L.) infectadas por el nematodo de la corchosis de la raíz. Agro Productividad. 2018; 11(4): 98-104.
11. Herrera PE, Ramos ZJ, Basto PC, Cristóbal AJ. Sweet pepper (*Capsicum annuum*) response to the inoculation of native arbuscular mycorrhizal fungi and the parasitism of root-knot *Meloidogyne incognita*. Revista Bio Ciencias. 2021; (8): e982, 1-17. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e982>

12. Figueroa OB. Resistencia de plantas a patógenos: una revisión sobre los conceptos de resistencia vertical y horizontal. Rev. argent. Microbiol. 2020; 52(3): 131-140. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0325-75412020000300131&lng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-75412020000300131&lng=es).
13. Simó-González JE, Ruiz-Martínez LA, Rivera-Espinosa R. Inoculación de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) y relaciones suelo pardo-abonos orgánicos en la aclimatización de vitroplantas de banano. Cultivos Tropicales. 2017; 38(3): 102-111.
14. Urgiles-Gómez N, Guachanamá-Sánchez J, Granda-Mora I, Robles-Carrió A, Encalada-Cordova M, Loján-Armijos P, Avila-Salem ME, Hurtado-Trejo L, Poma-López N. Caracterización morfológica de hongos micorrizicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de la provincia de Loja, Ecuador. Bosques Latitud Cero. 2020; 10(2): 137-145.
15. Zamora-Oduardo D., Rodríguez-Fernández P., Ferrer-Dubois A. E., Fung-Boix Y., & Isaac-Aleman E., Asanza-Kindelán G. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo riego con agua magnetizada en casa de cultivo protegido. Ciencia en su PC. 2020; (1). 1: 60-74.
16. Elaoud A, Ben Salah N, Jalel R, Turki N. Evaluation of the effect of the magnetic apparatus on the water, the plant and the state of the soil. International Journal of Engineering and Technology. 2019; (9) 4: 529-531.
17. Elías Vigaud Y, Fung Boix Y, Rodríguez Fernández P. Efecto del tratamiento magnético en la calidad del pepino. Revista Observatorio de las Ciencias Sociales en Iberoamérica. 2022; (3) 18: 14-30
18. El-Kholy MF, Samia S, Farag AA. Effect of magnetic water and different levels of NPK on growth, yield and fruit quality of Williams banana plant. Nat. Sci. 2015; (13) 7: 94-101.
19. Quiala RA, Isaac E, Simón FA, Regueiferos I, Montero G. Efecto del agua tratada con campo magnético estático sobre *Meloidogyne* spp. en *Cucumis sativus* en condiciones de cultivo protegido. Centro Agrícola. 2011; 38(4): 83-87. [http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V38-Numero\\_4/cag154111826.pdf](http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V38-Numero_4/cag154111826.pdf)
20. Saadoon M, Ahmed J, Samir G. Efficiency of using magnetized water in improving *Meloidogyne incognita* control by three concentration of *Aloe vera* extract on cucumber plant. Plant Archives. 2019; 19: 721-727.
21. Casanova AS, Hernández JC. Manual para la producción protegida de Hortalizas. 3ra edición. La Habana: Editorial Liliana Dimitrova. 2019. 262 pp.
22. Fernández F, Vanega L, Noval B, Rivera R. Producto inoculante micorrizógeno. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Oficina Nacional de Propiedad Industrial. 2000. Cuba. No. 22641.
23. Jaramillo J, Rodríguez V, Guzmán M, Zapata M, Rengifo T. Manual Técnico. Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de tomate bajo condiciones protegidas. FAO, Gobernación de Antioquia, MANA, CORPOICA, Centro de Investigación “La Selva”. 2007. 316 pp.
24. Rodríguez M. Identificación y caracterización de *Meloidogyne mayaguensis* en el café en Cuba. [Tesis en opción al Grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas]. [Universidad Agraria de La Habana]; 2000. 100 p.
25. Taylor AL, Sasser JB. Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species). Dept. Pl. Pathol. NC. State Univ., Raleigh; 1978. 111 p.
26. Phillips DM, Hayman DS. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc. 1970; 55: 158-161.
27. Giovanetti M, Mosse B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol. 1980; 84: 489-500.
28. Abd-Elgawad MMM. Optimizing Safe Approaches to Manage Plant-Parasitic Nematodes. Plants. 2021; 10, 1911. <https://doi.org/10.3390/plants10091911>
29. El-Nagdi WMA, Youssef MAM, Abd-El-Khair H, Abd-Elgawad MMM. Effect of certain organic amendments and *Trichoderma* species on the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* infecting pea (*Pisum sativum* L.) plants. Egypt. J. Biol. Pest Control. 2019; 29, 75.
30. Zipfel C, Oldoryd GED. Plant signalling in symbiosis and immunity. Nature. 2017; 543: 328-336.
31. Gao X, Guo H, Zhang Q. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enhanced the growth, yield, fiber quality and phosphorus regulation in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Sci. Rep. 2020; 10, 2084.
32. Goldense D. El uso de micorrizas reduce el uso de fertilizantes de fósforo hasta un 50 %. 2016. [Internet]. [Consultado 3 Jul 2022] Disponible en: <https://alltechspain.blogspot.com/2016/02/el-uso-de-micorrizas-re-ducen-el-uso-de.html>.
33. Contreras JR, Mercado D. Micorrizas arbusculares: antagonistas naturales de los patógenos del suelo. Revista Agroexcelencia. 2019; 24(1): 22-24
34. Poveda J, Abril P, Escobar C. Control biológico de nematodos fitoparásitos por hongos filamen-

- tosos inductores de resistencia: *Trichoderma*, hongos micorrízicos y endofíticos. *Microbiol frontal*. 2020; 11: 992. doi: [10.3389/fmicb.2020.00992](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00992)
35. Lasso N. Efectos positivos del campo magnético en plantas cultivadas. *Intropica*. 2019; 14(2): 1-13.
  36. Boix YF, Dubois AF, Alemán EI, Victório CP, Arruda R, Cuypers A *et al*. Static magnetic treatment of irrigation water on different plants cultures improving development. En: Correia Santos Cleberton (Organizador). *Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias*. Atena Editora; 2019. p. 76-84.
  37. Reyes Pérez JJ, Rivero Herrada M, Andagoya Fajardo CJ, Beltrán Morales FA, Hernández Montiel LG, García Liscano AE, Ruiz Espinoza FH. Emergencia y características agronómicas del *Cucumis sativus* a la aplicación de quitosano, *Glomus cubense* y ácidos húmicos. *Biotecnia*. 2021; 23(3): 38-44. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i3.1427>
  38. Toledo Cabrera B, Montero Limonta G, Bazán Delgado A. Efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA), en el rendimiento del Pimiento (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones protegidas. *Agrisost*. 2020; 26(1):1-12.
  39. Goverde M, Van Der Heijden MA, Wiemken A, Sanders IR, Erhardt A. Arbuscular mycorrhizal fungi influence life history traits of a lepidopteran herbivore. *Oecologia*. 2000; 125: 362-3 69 DOI: <https://doi.org/10.1007/s0044200 00465>
  40. Xiaohong L, Koide R. The effects of mycorrhizal infection on components of plant growth and reproduction. *New Phytologist*. 1994; 128: 211-218.
  41. Del Busto Concepción A, Santana Baños Y, González Breijo F, Domínguez García J, López Quintana Y, Díaz Barrio M, Hidalgo Valdés Y, Cabrera Rodríguez JE. Evaluación agronómica de híbridos de pepino en casa de cultivo, Pinar del Río, Cuba. *Centro Agrícola*. 2018; 45(1): 88-91
  42. Varkey S, Anith KN, Narayana R, Aswini S. A consortium of rhizobacteria and fungal endophyte suppress the root-knot nematode parasite in tomato. *Rhizosphere*. 2018; 5: 38-42. doi: [10.1016/j.rhisph.2017.11.005](https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.11.005)
  43. Cristóbal-Alejo J, Ramos-Zapata J, Basto-Pool C, Herrera-Parra E. Hongos micorrízicos arbusculares como control biológico del nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas de Yucatán. *Bioagrobiencias*. 2021; 14(1): 11-17. DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/BAC.3692>
  44. Basto Pool CI, Herrera Parra E, Cristóbal Alejo J, Zavala León MJ. Hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma* *Capsicum annum* disminuyen el daño inducido por *Meloidogyne incognita*. *Temas Agrarios*. 25 de julio de 2023 [citado 3 de septiembre de 2023]; 28(1): 37-45. Disponible en: <https://revista.s.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/3158>
  45. Balestrini R, Rosso LC, Veronico P, Melillo MT, De Luca F, Fanelli E *et al*. Transcriptomic responses to water deficit and nematode infection in mycorrhizal tomato roots. *Front. Microbiol*. 2019; 10:1807. DOI: [10.3389/fmicb.2019.01807](https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01807)
  46. Ospina D, Bolaños J, Zúñiga O, Muñoz C. Fotosíntesis y rendimiento de biomasa en ají, rábano y maíz sometidos a agua tratada magnéticamente. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 2018; 19(2): 291-305. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol19\\_num2\\_art:537](https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:537)
  47. Hassan H, Tantawy M, Younes A, Sayed M. The role of magnetized water in root-knot nematode integrated management programs associated with grapevines in Minia Governorate. *Journal of Modern Research*. 2023; 5(2): 50-52. DOI: [10.21608/jmr.2023.195449.11 03](https://doi.org/10.21608/jmr.2023.195449.11 03)

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no poseen conflicto de intereses

**Contribución de los autores:** Daniel Rafael Vuelta Lorenzo. **Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Visualización, Escritura - borrador original.** Siannah María Mas Diego. **Metodología, Administración, Supervisión.** Gerardo Montero Limonta. **Recursos. Validación.** Miriela Rizo Mustelie. **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/)