

# Riego con agua tratada magnéticamente sobre tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculado con hongos micorrízicos arbusculares



<https://cu-id.com/2177/v32n4e07>

## Irrigation with Magnetically Treated Water on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Inoculated with Arbuscular Mycorrhizal Fungi

<sup>Ⓜ</sup>Daniel Rafael Vuelta-Lorenzo<sup>\*</sup>, <sup>Ⓜ</sup>Pedro Paneque-Rondón<sup>Ⓜ</sup>, <sup>Ⓜ</sup>Luis Ángel Paneque-Pérez<sup>Ⓜ</sup>,  
<sup>Ⓜ</sup>Siannah María Más-Diego<sup>Ⓜ</sup>, <sup>Ⓜ</sup>Gerardo Montero-Limonta<sup>Ⓜ</sup>, <sup>Ⓜ</sup>Miriela Rizo-Mustelier<sup>Ⓜ</sup>

<sup>Ⓜ</sup>Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Departamento de Agronomía, Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>Ⓜ</sup>Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>Ⓜ</sup>Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

**RESUMEN:** El objetivo del estudio fue determinar el efecto del agua tratada magnéticamente (ATM) con campo magnético estacionario sobre el rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) inoculado con tres cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) infestado con el nematodo *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. La investigación se desarrolló en un suelo pardo mullido sin carbonato, en la Unidad de Cultivo Protegido “Campo Antena”, perteneciente a la Empresa Estatal Socialista América Libre; entre noviembre 2018 y febrero 2019. La inoculación de los microorganismos se realizó en el momento del trasplante, en una proporción del 10% con respecto al volumen del cepellón. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar, con 8 tratamientos y cuatro réplicas, con un testigo sin inoculación de HMA, un tratamiento sin inoculación de HMA y riego con agua tratada magnéticamente, tres tratamientos con inoculación con *Glomus cubense*, *Rhizophagus irregularis*, *Fummeliformis mosseae*, y tres tratamientos con la inoculación de estas tres especies de HMA combinadas con riego con agua tratada magnéticamente con inducción de 0,07 T. Los datos obtenidos se procesaron en el paquete estadístico R Commander mediante un análisis de varianza simple, aplicándose la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan para  $p \leq 5$ . Los resultados obtenidos mostraron la eficiencia de los tratamientos aplicados en el rendimiento del tomate, destacando el tratamiento con *G. cubense* y ATM logrando 112,9 t·ha<sup>-1</sup>, brindándole una mayor protección a la planta contra el ataque de los nematodos, reduciendo el índice de agallamiento a uno.

**Palabras clave:** cultivo protegido, inducción magnética, micorrizas, nematodos.

**ABSTRACT:** The aim of the study was to determine the effect of magnetically treated water (ATM) with a stationary magnetic field on the yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) inoculated with three strains of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) infested with the nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood. The investigation began in a soft brown soil without carbonate, in the “Campo Antena” Protected Cultivation Unit, belonging to “América Libre” Socialist State Enterprise; between November 2018 and February 2019. The inoculation of the microorganisms was carried out at the time of the transplant, in a proportion of 10% with respect to the volume of the root ball. The experimental design was completely randomized blocks, with 8 treatments and four replicas, with a control without AMF inoculation, a treatment without AMF inoculation and irrigation with magnetically treated water, 3 treatments with inoculation with *Glomus cubense*, *Rhizophagus irregularis*, *Fummeliformis mosseae*, and 3 treatments with the inoculation of these 3 AMF species combined with irrigation with magnetically treated water with an induction of 0.07 T. The data obtained were processed in the statistical package R Commander by means of a simple analysis of variance, applying Duncan's Test of mean multiple comparison for  $p \leq 5$ . The results obtained showed the efficiency of the treatments applied in tomato yield, highlighting the treatment with *G. cubense* and ATM, which yielded 112.9 t·ha<sup>-1</sup> and provided greater protection to the plant against the nematode attack by reducing the galling index to 1.

**Keywords:** Protected Culture, Magnetic Induction, Mycorrhizae, Nematodes.

\*Author for correspondence: Daniel Rafael Vuelta-Lorenzo, e-mail: [dvuelta@uo.edu.cu](mailto:dvuelta@uo.edu.cu)

Recibido: 26/04/2023

Aceptado: 01/09/2023

## INTRODUCCIÓN

Se denomina ATM al agua que ha sido expuesta a un campo magnético, cuando esto ocurre se producen varios efectos fisicoquímicos y moleculares en esta, por ejemplo: se producen cambios en los puntos de solidificación y de ebullición, cambios en la tensión superficial, viscosidad, tasa de evaporación, constante dieléctrica e índice de refracción; también hay efectos en la formación de estructuras de agrupamiento a partir de cadenas de moléculas lineales y anulares enlazadas con hidrógeno. Estos efectos son indiferentes a la naturaleza (Krishnaraj *et al.*, 2017).

Las tecnologías que se han desarrollado a partir de métodos físicos no contaminantes de estimulación del crecimiento y el rendimiento de las plantas, constituyen una de las soluciones más prometedoras al 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, que trabaja en la aplicación del agua tratada magnéticamente con fines agrícolas, demostrando las bondades que tiene el tratamiento magnético del agua de riego en la germinación, fotosíntesis, y elevación de los rendimientos agrícolas (Elías-Vigaud *et al.*, 2020; Zamora-Oduardo *et al.*, 2020).

El tomate es la hortaliza de mayor importancia en el mundo, pues representa más del 30 % de la producción hortícola. El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es de gran importancia en el mundo por el volumen de producción, como por su aceptación en fresco, salsas, sopas, procesado, entre otras (Reyes-Pérez *et al.*, 2020).

Tradicionalmente se utilizan diferentes alternativas de control dirigidas a reducir y/o eliminar las poblaciones de nematodos. Durante muchos años, empleándose para su control una amplia gama de nematocidas químicos, muchos de los cuales son biocidas, de efecto negativo sobre los organismos benéficos presentes en el suelo. La aplicación de estos productos, causa fuertes problemas de contaminación ambiental (Álvarez *et al.*, 2016).

Las tendencias actuales en el manejo de Meloidogynespp. están basadas en el uso del Manejo Integrado de Nematodos (MIN) involucrando microorganismos del suelo en los que se agrupan los agentes de control biológico (ACB) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) (Benedetti *et al.*, 2021).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) constituyen un grupo funcional que es importante en la biota del suelo, ya que favorece al mejoramiento de la estructura, la multifuncionalidad del ecosistema y el desarrollo productivo de los cultivos (Vallejos-Torres *et al.*, 2019). 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 papel en la

protección del sistema radicular de agentes fitopatógenos, promoción de la nutrición mineral y facilitación de la absorción de agua, lo que contribuye al mejoramiento del crecimiento y supervivencia de las plantas (Urgiles-Gómez *et al.*, 2020).

Los HMA parecen no afectar la penetración ni el proceso de infección. Las reducciones de la infestación y reproducción producidas por los HMA son evidenciadas en densidad de nematodos o huevos por gramo de suelo. La buena nutrición con fósforo (P), mejoraría el vigor de la planta, y así disminuirían las pérdidas ocasionadas por nematodos, especialmente en suelos con bajos contenidos de P si las micorrizas se establecen temprano en el ciclo de vida del huésped, antes de la infección con nematodos (Nazareno-Saparrat *et al.*, 2020).

En estudios realizados que proponen el uso del campo magnético para enfrentar plagas refieren que las plantas sometidas al agua tratada magnéticamente, tienden a comportarse tolerantes a estos patógenos según Quiala-Pérez *et al.* (2011), aunque hay poca información hasta el momento. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del riego con agua tratada magnéticamente más la combinación con los HMA sobre el rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y las poblaciones de *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White) Chitwood en condiciones de cultivo protegido como una posible estrategia dentro del manejo de *M. incognita*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó 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 3½ Santa María, con coordenada de referencia (X: 60757330 Y: 156332149), en el municipio Santiago de Cuba, Cuba. Se utilizó como cultivo el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido HA 3057, y el ensayo se realizó en el periodo noviembre / 2018 - febrero / 2019.

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.

Rhizophagus irregularis. (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler)

Funneliformis mosseae. (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler)

Glomus cubense (Y. Rodr. & Dalp)

Se preparó una pasta homogénea en una proporción de 1 kg de cada inóculo por cada 10 kg de semillas, y con ella se recubrieron las semillas hasta que quedaron completamente cubiertas. Posteriormente se pusieron a secar en la sombra durante 5 a 10 minutos y se

procedió a la siembra en bandejas alveolares en la casa de posturas. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro réplicas y ocho tratamientos. Para la evaluación de los indicadores evaluados, se escogieron 25 plantas y 80 frutos al azar por cada tratamiento.

### Descripción de los tratamientos

1. Testigo sin inoculación de HMA
2. Cultivo sin inoculación de HMA + riego con agua tratada magnéticamente
3. Inoculación con *Rhizophagus irregularis*
4. Inoculación con *Funneliformis mosseae*
5. Inoculación con *Glomus cubense*
6. Inoculación con *Rhizophagus irregularis* + riego con agua tratada magnéticamente
7. Inoculación con *Funneliformis mosseae* + riego con agua tratada magnéticamente
8. Inoculación con *Glomus cubense* + riego con agua tratada magnéticamente

Para el agua tratada magnéticamente (ATM) se utilizó una inducción magnética de 0,07 Tesla (T). Para el tratamiento magnético se utilizó un magnetizador exterior de imanes permanentes o de campo magnético estático, los magnetizadores fueron diseñados en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. (CNEA).

La preparación de suelo se efectuó según los requerimientos de esta tecnología con un pase de cultivador (tiller), un subsolado, pase de grada, y por último, se realizó el acanteramiento. El marco de plantación fue 1,04 m x 0,30 m.

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

Se utilizaron plantas sanas de 25 a 28 días de sembradas, con una altura media de 12 cm, 5 hojas verdaderas y un grosor del tallo de 8 mm. La modificación fue de una hilera por cantero.

Este proceso se realizó en las primeras horas de la mañana para evitar en lo posible el estrés hídrico de las plantas, al mismo tiempo se hicieron hoyos más grandes que el cepellón de la postura, antes de colocar la misma se aplicó el inoculante micorrízico según metodología y una vez colocada la postura, se presionó ligeramente el suelo a su alrededor con la finalidad de fijar su sistema radicular.

### Estrés Hídrico pos trasplante

Posterior al primer riego, luego del trasplante, la plantación se sometió a un estrés hídrico durante los

primeros 12 días, siempre monitoreando la humedad existente con el objetivo de favorecer el desarrollo radical de la planta y un adecuado arraigue de la misma. Los fertirriegos con nutrientes según tecnología, comenzaron al tener la plantación un 75% de racimos florales emitidos.

### Retrasplante

Entre el 7mo y el 8vo día, toda la plantación deberá quedar uniformemente resellada y con el 100% de población.

### Aporque o tape de palo

Esta actividad se hace coincidir con el retrasplante y la primera fertilización de fondo, con el objetivo de garantizar un mayor sistema radical.

### Manejo de la plantación

#### Tutorado

La plantación se condujo a tres tallos, dos por debajo del primer racimo y uno por debajo del segundo racimo lográndose un total de 5 700 vástagos, los cuales fueron tutorados de manera tecnificada y se trabajó a cinco racimos por tallo y cuatro frutos por racimos, con el objetivo de mejorar la aireación general de la planta y favorecer el aprovechamiento de la radiación 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. Se doblaron las hojas opuestas al racimo para que el mismo pueda fotosintetizar. Después de cada labor de deshoje debe realizarse una aplicación de fungicida.

#### Decapitado

Después de definido el ciclo del cultivo, de 20 a 30 días antes de su demolición, se realizó el decapite de todas las yemas apicales de la planta, en función de favorecer el peso y la calidad de los frutos.

#### Cosecha y Postcosecha

Se determinó el momento óptimo para efectuar las cosechas, que es cuando el fruto tenga buena consistencia y alcance la madurez técnica, que en el caso específico del tomate es cuando cambia de color a partir del ápice del fruto. El horario más favorable para la cosecha es en horas tempranas de la mañana o en las últimas de la tarde, deberá realizarse con tijeras o cuchillos con buen filo, a fin de evitar desgarraduras o daños en frutos y plantas. Es importante que,

después de la cosecha, los frutos se manipulen siempre con sumo cuidado, para garantizar su calidad comercial.

La Unidad de Cultivo Protegido “Campo Antena” presenta alta incidencia de ataque de nematodos agalleros, en específico, de *Meloidogyne incognita*,

### Determinación del grado de infestación de nematodos

Se hizo análisis del suelo antes del trasplante y después de la cosecha (120 días), así como conteos de plantas dañadas con nódulos para determinar la gradología y afectación del cultivo.

El índice de infestación se determinó a través del método indirecto de bioensayo por planta indicadora, las raíces se extrajeron, se lavaron cuidadosamente y se les determinó el índice de agallamiento a través de la escala de [Taylor y Sasser \(1978\)](#) 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*. Los análisis del suelo para determinar los índices de infestación de la plaga se realizaron en el Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal.

### 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, con el objetivo de preservar los pelos absorbentes y obtener la mayor cantidad posible de información. Las muestras fueron enviadas para su procesamiento al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

Las raicillas muestreadas se lavaron con agua corriente, para eliminar todo el suelo y se secaron al aire. Se tomaron las raicillas más finas y se desmenuzaron. Para las determinaciones se pesaron aproximadamente 200 mg de raicillas que fueron secadas a 70°C, para ser teñidas según la metodología descrita por [Phillips y Hayman \(1970\)](#). La evaluación se realizó por el método de los interceptos, desarrollados por [Giovannetti y Mosse \(1980\)](#), mediante el cual se determinó el porcentaje de colonización micorrízica o frecuencia de colonización.

$$\% \text{ de infección} = \frac{\sum(1-5)}{\sum(0-5)} \cdot 100$$

### Variables del rendimiento y sus componentes

Para la evaluación de la altura de la planta y diámetro del tallo (realizada a los 45 días después del trasplante), peso promedio de los frutos, diámetro ecuatorial y polar del fruto y rendimiento.

Los datos experimentales para cada variable fueron sometidos a análisis de varianza de clasificación simple, y las comparaciones de medias se realizaron según la prueba de rango múltiple de Duncan para  $p \leq 0,05$ . El programa estadístico empleado fue R Commander versión 4.1.1 para Windows.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados revelaron que el uso de HMA con inoculación previa a la siembra es una práctica con resultados positivos puesto que se redujeron los niveles de infestación de la plaga, siendo aún mejor el comportamiento del cultivo cuando se combinaron los HMA (específicamente *G. cubense* y *R. irregularis*) con ATM ([Tabla 1](#)).

Esto parece deberse a que a los efectos que ejercen de forma individual ambas prácticas, se añade que de forma conjunta muestran un mayor potencial para el desarrollo del cultivo y una respuesta más efectiva contra el ataque de nematodos.

Las tres cepas de HMA presentaron funcionamiento fúngico con relación al testigo sin inoculación y al tratamiento sin inoculación + ATM, quedando la tendencia a valores superiores de % de colonización radical para *Glomus cubense* y *Rhizophagus irregularis* en combinación con ATM; respectivamente, destacándose *Glomus cubense* + ATM.

Este resultado pudo estar determinado por el pH-H<sub>2</sub>O (5,8 a 7,3) en que se desarrolló este proceso pues se vio influenciado por las neutralizaciones de los bicarbonatos contenidos en el agua de riego, que es más adecuado para el normal desarrollo de las cepas. Los valores pudieron estar dados por la capacidad que tienen las cepas eficientes de HMA para establecer un diálogo molecular con el macrosimbionte en estrecha relación con el ambiente edáfico del suelo y estimular mayor porcentaje de ocupación de la raíz. Resultados similares los obtuvieron [Rivera et al. \(2015\)](#) donde determinó la importancia del ambiente edáfico y del pH sobre la efectividad de las cepas de HMA.

Puede apreciarse que los efectos de los HMA en plantas atacadas por nematodos, en la mayoría se observa una disminución de la severidad de la infestación, debido posiblemente a que los nematodos parásitos de las plantas son antagonistas, biotrofos 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 ([Contreras y Mercado, 2019](#)).

Numerosos mecanismos se manifiestan cuando los HMA fomentan el biocontrol. Se pueden agrupar en dos: los que incluyen un efecto directo del hongo sobre el patógeno como la competencia por nutrientes, espacio y sitios de infección/colonización y los que incluyen efectos indirectos sobre el patógeno como la mejora en captación de nutrientes del hospedero, cambios en la arquitectura de las raíces, cambios en la interacción de los microorganismos de la rizosfera y activación de mecanismos de defensa de la planta ([Dar y Reshi, 2017](#)).

**TABLA 1.** Índice de agallamiento de *Meloidogyneincognita* en cada tratamiento en el cultivo de tomate y porcentaje de colonización radical por HMA

Tratamientos	IA inicial	IA final	Porcentaje de colonización radical
Testigo sin inoculación de HMA	2,8	3,8 a	7,75 g
Cultivo sin inoculación de HMA + ATM	2,8	2,3 b	15 f
<i>Rhizophagus irregularis</i>	2,8	1,5 de	29,25 d
<i>Funneliformis mosseae</i>	2,8	1,9 c	25 e
<i>Glomus cubense</i>	2,8	1,4 e	46 b
<i>Rhizophagus irregularis</i> + ATM	2,8	1,4 e	35 c
<i>Funneliformis mosseae</i> + ATM	2,8	1,6 d	28,75 d
<i>Glomus cubense</i> + ATM	2,8	1,1 f	50,75 a
ESx	-	0,1029	0,2114

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

IA- índice de agallamiento.

Trejo-Aguilar (2018) comprobaron en el cultivo del café (*Coffea arabica*) que con la inoculación de HMA se incrementa el sistema radical y se puede reducir la susceptibilidad y los daños causados por nematodos. Forghani y Hajihassani (2020) mencionan la existencia de mecanismos como una mayor absorción de nutrientes, alteración de la morfología de la raíz, competencia por espacio y los nutrientes e inducción de la resistencia sistémica de la planta.

Poveda *et al.*, (2020) plantean que los hongos micorrízicos utilizados contra nematodos como inductores de resistencia, son capaces de reducir el daño causado por los nematodos parásitos de las plantas, minimizan el daño, 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 pueden inducir resistencia contra los nematodos activando hormonas (ácido salicílico y jasmónico, estrigolactonas entre otras) como mecanismo de defensa de las plantas.

También existen estudios de Elaoud *et al.*(2019), que manifiestan que el ATM dota de mayor tolerancia a las plantas de cultivo ante el ataque de patógenos. Quiala-Pérez *et al.* (2011) refieren una disminución del grado de infestación por nematodos debido a la influencia del ATM que mejora la aptitud de la planta que sirve como huésped, pues la planta presenta buen vigor debido a una mayor disponibilidad de nutrientes.

En la Tabla 2 se aprecia que 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 *Rhizophagus irregularis*) y riego con agua magnetizada, en comparación con los mismos tratamientos sin riego. El mejor resultado se obtuvo con el empleo de *Glomus cubense* y ATM. Lo que permite inferir que existe un efecto sinérgico entre los HMA y ATM que potencian el desarrollo y

crecimiento de la planta, así como los parámetros productivos y el rendimiento, propiciando además una mejor respuesta de la planta ante el ataque de fitopatógenos de la raíz.

Esto puede deberse a una mejor nutrición de la planta producto a la rápida asimilación de agua y nutrientes de forma equilibrada 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 la cosecha, manifestándose un efecto combinado positivo al unirse los HMA (Zhang *et al.*, 2017 y Reyes-Pérez *et al.*, 2020).

*ense* y *R. irregularis* mostraron un mejor comportamiento para este tipo de suelo, lo que indica una mayor capacidad de adaptación a estas condiciones edáficas. En este sentido, Calero *et al.* (2019) refirieron mejoras notables en la producción de tomate utilizando microorganismos por lo que recomiendan su utilización en este cultivo.

Se considera que el agua magnetizada es mejor asimilada por las células, favoreciendo la intensidad del flujo de agua hacia el interior de la planta 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, asociada con los mecanismos de transporte de nutrientes, planteados por Lasso (2019), lo que le confiere una mayor resistencia o tolerancia contra los embates de las plagas (Boix *et al.*, 2019).

Los HMA causaron un incremento en el crecimiento y el desarrollo de las plantas desarrollando resistencia contra la infestación del nematodo, actuando como un agente efectivo y alternativo de biocontrol en contra del nematodo. Resultados similares fueron encontrados en sus investigaciones por Sharma *et al.* (2021).

**TABLA 2.** Efectos de los HMA y ATM sobre los parámetros de crecimiento y rendimiento de *S. lycopersicum* híbrido HA 3057 infestado con *M. incognita*

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Peso promedio de los frutos (g)	Diámetro Ecuatorial del fruto (cm)	Diámetro Polar del fruto (cm)	Rendimientos (t·ha <sup>-1</sup> )
Testigo sin inoculación de HMA	105,6 h	1,48 c	200,25 h	6,53 d	5,6 g	79,96 g
Cultivo sin inoculación de HMA + ATM	109,3 g	1,55 bc	204,25 g	6,56 d	5,68 fg	81,7 fg
<i>Rhizophagus irregularis</i>	125,2 d	1,64 ab	247,25 d	6,9 bc	6,32 d	96,2 d
<i>Funneliformis mosseae</i>	113,0 f	1,60 abc	207,5 f	6,58 d	5,73 f	83,5 f
<i>Glomus cubense</i>	127,2 c	1,67 ab	284,75 b	7,24 a	6,82 b	109,5 b
<i>Rhizophagus irregularis</i> + ATM	128,4 b	1,71 a	263,2 c	7,12 ab	6,48 c	99,2 c
<i>Funneliformis mosseae</i> + ATM	115,2 e	1,68 ab	227,5 e	6,67 cd	5,89 e	87,5 e
<i>Glomus cubense</i> + ATM	129,5 a	1,74 a	293,45 a	7,29 a	6,98 a	112,9 a
ESx	0,0517	0,0412	0,2555	0,0763	0,0315	0,5809

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

### CONCLUSIONES

El riego con ATM potencia los efectos positivos de los HMA en el manejo de *M. incognita* en el tomate lo que demuestra que su uso combinado puede ser una alternativa beneficiosa para el manejo de esta plaga en el cultivo.

Los HMA (principalmente *G. cubense*) permitieron una reducción considerable en la formación de agallas y en la capacidad reproductiva del nematodo. Además, la inoculación de HMA + ATM condujo a un incremento de los indicadores de crecimiento y desarrollo del cultivo aumentando su rendimiento.

### 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).

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, D.; CASANOVA-GRIJALBA, L.D.; CÓRDOBA-ARCINIEGAS, K.E.; OSORIO, O.: "Evaluación de postcosecha y calidad fisicoquímica de genotipos de lulo (*Solanum quitoense* lam.) tolerantes a *Meloidogyne* sp. / evaluation of post-harvest and quality physicochemical genotypes from lulo (*Solanum quitoense* lam.) tolerant *Meloidogyne* sp.", *Vitae*, 23(1): S785-S787, Publisher: Universidad de Antioquia, 2016, ISSN: 0121-4004, Disponible en: <https://www.proquest.com/43307052-2978-4a83-b2a0-e56e731be875>.
- BENEDETTI, T.; HUZAR-NOVAKOWSKI, J.; SORDI, E.; CARVALHO, I.R.; BORTOLUZZI, E.C.: "Microorganisms in the biological control of root-knot nematode: a metanalytical study", *Research, Society and Development*, 10(6): e39310615209, 2021, ISSN: 2525-3409, DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15209>.
- BOIX, Y.; DUBOIS, A.; ALEMÁN, E.; VICTÓRIO, C.; ARRUDA, R.; CUYPERS, A.; BEENAERTS, N.; AGUILERA, J.; ZUFFO, A.: "Static magnetic treatment of irrigation water on different plants cultures improving development", *Estudios interdisciplinarios nas ciências exatas e da terra e engenharias*, : 76-84, Atena Editora, 2019.
- CALERO, A.; QUINTERO, E.; PÉREZ, Y.; OLIVERA, D.; PEÑA, K.; CASTRO, I.; JIMÉNEZ, J.: "Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)", *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(1): 67-78, Publisher: Universidad de Nariño, 2019, ISSN: 0120-0135, DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.193601.99t>.
- CONTRERAS, J.R.; MERCADO, D.: "Micorrizas arbusculares: antagonistas naturales de los patógenos del suelo", *Revista Agroexcelencia*, 24(1): 22-24, Publisher: Capaciagro, México, 2019, Disponible en: <https://agroexcelencia.com/micorrizas-arbusculares-antagonistas-naturales-de-los-patogenos-del-suelo/>.
- DAR, M.; RESHI, Z.: "Vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi-as a major biocontrol agent in modern sustainable agriculture system", *Russian Agricultural Sciences*, 43(2): 138-143, Publisher: Springer, 2017, ISSN: 1068-3674, DOI: <https://doi.org/10.3103/s1068367417020057>.
- ELAUD, A.; NAHLA, B.S.; JALEL, R.; TURKI, N.: "Evaluation of the effect of the magnetic apparatus on the water, the plant and the state of the soil", *Int J Adv Ind Eng*, 9(4): 529-531, 2019, DOI: <https://doi.org/10.14741/ijcet/v.9.4.7>.
- ELÍAS-VIGAUD, Y.; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, P.; FUNG-BOIX, Y.; ISAAC-ALEMAN, E.;

- FERRER-DUBOIS, A.; ASANZA-KINDELÁN, G.: “Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en casa de cultivo semiprotegido bajo riego con agua magnetizada”, *Ciencia en su PC*, 1: 75-86, Publisher: Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba, 2020, ISSN: 1027-2887, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181363107006>.
- FORGHANI, F.; HAJIHASSANI, A.: “Recent advances in the development of environmentally benign treatments to control root-knot nematodes”, *Frontiers in Plant Science*, 11: 11-25, Publisher: Frontiers Media SA, 2020, ISSN: 1664-462X, DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01125>.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B.: “An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots”, *New phytologist*, : 489-500, Publisher: JSTOR, 1980, ISSN: 0028-646X, Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2432123>.
- KRISHNARAJ, C.; YUN, S.; KUMAR, A.V.K.: “Effect of magnetized water (Biotron) on Seed Germination of Amaranthaceae family”, *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)*, 5(10): 152-156, 2017, Disponible en: <http://jairjp.com/MARCH%202017/03%20KRISHNARAJ.pdf>.
- NAZARENO-SAPARRAT, M.C.; RUSCITTI, M.F.; ARANGO, M.C.: *Micorrizas arbusculares: Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal, [en línea]*, Ed. Editorial de la Universidad Nacional De La Plata. EDULP, 1ra Edición. Libro digital, PDF-(Libros de cátedra) ed., La Plata, 2020, Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/99599/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/99599/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=4&isAllowed=y).
- PHILLIPS, J.; HAYMAN, D.: “Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection”, *Transactions of the British mycological Society*, 55(1): 158-161, Publisher: Elsevier, 1970, ISSN: 0007-1536, Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3).
- QUIALA-PÉREZ, R. de los A.; ISAAC-ALEMÁN, E.; SIMÓN-RICARDO, F.; REGUEIFEROS, I.; FERNÁNDEZ, G.: “Efecto del agua tratada con campo magnético estático sobre *Meloidogyne* spp. en *Cucumis sativus* en condiciones de cultivo protegido”, *Centro Agrícola*, 38(4): 83-87, 2011, Disponible en: [http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V38-Numero\\_4/cag154111826.pdf](http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V38-Numero_4/cag154111826.pdf).
- REYES-PÉREZ, J.J.; ADLERCREUTZ, E.; RAMÍREZ-ARREBATO, M.A.; ZÚÑIGA VALENZUELA, E.; LARA-CAPISTRÁN, L.; HERNÁNDEZ-MONTIEL, L.G.: “Efecto del quitosano sobre variables del crecimiento, rendimiento y contenido nutricional del tomate”, *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(3): 457-465, Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2020, ISSN: 2007-0934.
- RIVERA, R.; GONZÁLEZ, P.; HERNÁNDEZ, A.; MARTÍN, G.; RUIZ, L.; FERNÁNDEZ, K.; SIMÓ, J.; GARCÍA, M.; PÉREZ, A.; RIERA, M.: “La importancia del ambiente edáfico y del pH sobre la efectividad y la recomendación de cepas eficientes de HMA para la inoculación de los cultivos”, En: *VIII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo*, vol. 2, La Habana, Cuba, 2015.
- SHARMA, M.; SAINI, I.; KAUSHIK, P.; ALDAWSARI, M.M.; AL BALAWI, T.; ALAM, P.: “Mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* application reduces root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) infestation in eggplant”, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(7): 3685-3691, Publisher: Elsevier, 2021, ISSN: 1319-562X, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.054>.
- TAYLOR, A.L.; SASSER, J.N.: “Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species).”, *Dept. Pl. Pathol. NC. State Univ*, 111, 1978, Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/abstract/19780844105>.
- TREJO-AGUILAR, D.: “Efecto de la micorriza arbuscular en plantas de café (*Coffea arabica* L.) Infechadas por el nematodo de la corchosis de la raíz”, *Agro Productividad*, 11(4), 2018, ISSN: 2594-0252, Disponible en: <https://revistaagroproductividad.org/index.php/agrop>.
- URGILES-GÓMEZ, N.; GUACHANAMÁ-SÁNCHEZ, J.; GRANDA-MORA, I.; ROBLES-CARRIÓN, A.; ENCALADA-CORDOVA, M.; LOJÁN-ARMIJOS, P.; AVILA-SALEM, M.; HURTADO-TREJO, L.; ALATA, N.S.; COLLAHUAZO-REINOSO, Y.: “Caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de la provincia de Loja, Ecuador”, *Bosques Latid. Cero*, 10: 137-145, 2020.
- VALLEJOS-TORRES, G.; ARÉVALO, L.; ILIQUIN, I.; SOLIS, R.: “Respuesta en campo de clones de café a la inoculación con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares en la región Amazonas, Perú”, *Información tecnológica*, 30(6): 73-84, Publisher: SciELO Chile, 2019, ISSN: 0718-0764, DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600073>.
- ZAMORA-ODUARDO, D.; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, P.; FERRER-DUBOIS, A.; FUNGBOIX, Y.; ISAAC-ALEMÁN, E.; ASANZA-KINDELÁN, G.: “Producción de tomate (*Solanum*

lycopersicum L.) bajo riego con agua magnetizada en casa de cultivo protegido”, *Ciencia en su PC*, 1: 60-74, Publisher: Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba, 2020, ISSN: 1027-2887, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181363107005>.

ZHANG, X.; YAREMA, K.; XU, A.; ZHANG, X.; YAREMA, K.; XU, A.: “Impact of static magnetic field (SMF) on microorganisms, plants and animals”, *Biological effects of static magnetic fields*, : 133-172, Publisher: Springer, 2017, ISSN: 9811035776.

*Daniel Rafael Vuelta-Lorenzo*, Máster en Desarrollo Agrario Sostenible, Ingeniero Agrónomo, Profesor Auxiliar, Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Departamento de Agronomía, Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: [dvuelta@uo.edu.cu](mailto:dvuelta@uo.edu.cu).

*Pedro Paneque-Rondón*, Dr.C., Inv. Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), Carretera de Tapaste y Autopista Nacional km 23 ½. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: [paneque@unah.edu.cu](mailto:paneque@unah.edu.cu).

*Luis Ángel Paneque-Pérez*, Ingeniero Agrónomo, Doctor en Ciencias de la Educación, Master en Ciencias Agrícolas, Master en Ciencias de la Educación, Profesor Auxiliar, Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Departamento de Agronomía, Santiago de Cuba, Cuba e-mail: [luispaneque@uo.edu.cu](mailto:luispaneque@uo.edu.cu).

*Siannah María Más-Diego*, Dr. en Ciencias Técnicas, Ingeniera Química, Investigadora y Profesora Titular, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: [siannah@uo.edu.cu](mailto:siannah@uo.edu.cu).

*Gerardo Montero-Limonta*, Ingeniero Agrónomo, Máster en Nutrición de las Plantas y Biofertilización, Profesor Auxiliar, Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Departamento de Agronomía, Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: [gmontero@uo.edu.cu](mailto:gmontero@uo.edu.cu).

*Miriela Rizo-Mustelier*, Máster en Administración de Negocios, Licenciada en Educación Especialidad Física y Electrónica, Profesora Auxiliar, Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Departamento de Agronomía, Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: [miriela@uo.edu.cu](mailto:miriela@uo.edu.cu).

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization:** D. Vuelta, S. Más, **Data curation:** D. Vuelta, L. Paneque. **Formal Analysis:** D. Vuelta, L. Paneque, S. Más. **Investigation:** D. Vuelta, G. Montero. **Methodology:** S. Más, G. Montero. **Project administration:** D. Vuelta, G. Montero. **Validation:** D. Vuelta, P. Paneque, L. Paneque, G. Montero. **Visualization:** D. Vuelta, P. Paneque, L. Paneque. **Writing-original draft:** D. Vuelta, M. Rizo. **Writing-review & editing:** D. Vuelta, P. Paneque, M. Rizo.

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/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.