

Fertirriego e inoculación con *Glomus cubense* sobre crecimiento y productividad del pimiento en cultivo protegido

Fertigation and inoculation with Glomus cubense on growth and productivity of peppers in protected crops

Jaime Michels-Mighty, <https://orcid.org/0000-0003-1855-0978>; Pedro Rodríguez-Fernández; Gerardo Montero-Limonta

Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

Resumen

La investigación se desarrolló en un suelo Pardo sialítico mullido no carbonatado, en la Unidad de Cultivo Protegido “Campo Antena” en Santiago de Cuba, en el período de noviembre 2017 a febrero 2018. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la utilización del *Glomus cubense* como cepa eficiente de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y cuatro dosis de fertirrigación (100 %, 85 %, 75 % y 65 %) sobre el crecimiento y productividad del pimiento (*Capsicum annum* L.). Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos y cuatro réplicas. Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis de varianza simple y comparación múltiple de medias por el Test de Duncan al 5 %. Los resultados obtenidos mostraron mayor eficiencia en el rendimiento con el 75 % del fertirriego más inoculación con micorriza. Los impactos se constatan en la Facultad de Ingeniería Química y Agropecuaria.

Palabras clave: Fertirriego e inoculación, crecimiento y productividad, pimiento, cultivo protegido.

Abstract

The research was carried out in a non-carbonated fluffy Sialitic Brown soil, in the Protected Cultivation Unit “Campo Antena” in Santiago de Cuba, in the period from November 2017 to February 2018. The objective of the work was to evaluate the effect of the use of *Glomus cubense* as an efficient strain of arbuscular fungi (HMA) and four doses of fertirrigation (100 %, 85 %, 75 % and 65 %) on the growth and productivity of the pepper (*Capsicum annum* L.). An experimental randomized block design with four treatments and four replicates was used. The data obtained were processed by simple analysis of variance and multiple comparison of means by the Duncan. The impacts are verified in the Faculty of Chemical and Agricultural Engineering 5% Test. The results obtained showed the highest efficiency in performance with 75 % of the fertirrigation plus mycorrhiza inoculation.

Key words: Fertigation and inoculation, growth and productivity, pepper, protected crop.

Introducción

La producción de hortalizas a escala mundial, actualmente se debate entre las crecientes y urgentes necesidades de alimentación del hombre, las consecuencias del cambio climático, el comercio artificial de estos productos, además ya globalizado y las características de los suelos de cultivos. De manera que se deben atender complejas y diversas variables para obtener óptimos rendimientos hortícolas (Mujica *et al.*, 2018).

Dentro de la producción mundial de alimentos las Hortalizas ocupan un lugar destacado. Sin embargo, se ve limitada por diferentes factores climáticos que no favorecen la expresión de los potenciales productivos de algunos cultivos durante gran parte del año ya que el clima tiene una marcada influencia en los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas y por lo tanto en el rendimiento de muchas especies hortícolas (Casanova *et al.*, 2003).

El pimiento es una de las hortalizas cultivadas con la tecnología de los invernaderos, pues este se cultiva generalmente bajo un esquema de producción intensiva. El manejo del suelo es de vital importancia en la producción del cultivo, debido a que determina en gran medida el éxito de la producción, sin embargo, antes de pensar en tipos de suelos, se debe tener presente la interacción de una serie de factores o propiedades que optimizan su funcionalidad y papel en el sistema productivo de cultivos (Rodríguez *et al.*, 2011).

Estos sistemas de producción tienen como características fundamentales que los cultivos están protegidos de la acción directa de la radiación solar, escaso laboreo una vez que se establecen, ciclos de cultivo de hasta seis meses, empleo de híbridos altamente productivos, producción intensiva de plantas, aplicación de fertilizantes y plaguicidas químicos, así como la incidencia de nuevas plagas y la elevación de las poblaciones de otras a niveles incompatibles con la obtención de rendimientos aceptables (Rodríguez *et al.*, 2005).

Entre los países mayores productores de este cultivo se encuentran: México, China, España, Turquía y Estados Unidos. A pesar de su extendida producción, sus orígenes se centran en América del Sur, concretamente en el área de Perú y Bolivia, desde donde se expandió al resto de América Central y Meridional. Es un cultivo de alta demanda popular debido a sus múltiples usos, es por eso que anualmente se siembran en el mundo alrededor de 80 000 hectáreas que, junto a las demás hortalizas, juegan un papel muy importante en la alimentación humana, principalmente por los minerales y vitaminas, que son indispensables para la dieta.

Un correcto programa de fertilización constituye la base de la productividad del cultivo, análisis laboratoriales demuestran la presencia de altas cantidades de Ca+Mg en la solución, (Sánchez, 2017): afirma que el calcio activa y regula la división y el alargamiento celular; en consecuencia, resulta imprescindible para el desarrollo de órganos de crecimiento como raíces, brotes, frutos, etc.

Dibut y Ríos (2012) refieren trabajos de varios científicos vinculados al tema del impacto ambiental causado por el efecto del uso excesivo de fertilizantes minerales que pueden resumirse de la siguiente manera: su aplicación excesiva en el campo da lugar a la acumulación de sales, dificultando la absorción de nutrientes con la consiguiente contaminación de todos los factores del agroecosistema, influyendo de manera negativa sobre los cultivos, provocando una disminución de los rendimientos

En estudios realizados en la Unidad de Cultivos Protegidos de Campo Antena, perteneciente a la Empresa Estatal Socialista América Libre, en Santiago de Cuba, se verificó la poca disponibilidad de nutrientes en el suelo, junto a un inadecuado manejo del fertirriego, provocando bajos rendimientos en el pimiento es por ello que nuestro trabajo persigue el siguiente objetivo.

Objetivo: Evaluar el comportamiento de diferentes dosis de fertirriego e inoculación con *Glomus cubense*, sobre algunos indicadores del crecimiento y productividad del cultivo.

Materiales y métodos

El trabajo fue realizado en el Municipio Santiago de Cuba, en la Unidad de Cultivo Protegido “Campo Antena” perteneciente a la Empresa Estatal Socialista América Libre. La misma se encuentra ubicada en la autopista Nacional Km. 3 ½ Santa María con un área neta productiva de 1,522 ha, donde se encuentran ubicadas 23 casas de cultivos, destinadas a la producción de hortalizas.

El cultivo a investigar fue el pimiento (*Capsicum annun* L), en el periodo de noviembre/2017 a febrero/2018, sobre un suelo Pardo sialítico mullido no carbonatado, empleándose la variedad híbrida YA-1005 y la cepa micorrízica *Glomus cubense* en el momento del trasplante. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro réplicas. Los datos particulares fueron evaluados mediante análisis de varianza simple y comparación múltiple de medias por el test de Duncan al 5 %.

Cada réplica con los cuatro tratamientos se diseñó por casa de cultivo. Se utilizaron cuatro casas de 0,08 ha siendo el largo de 40 m y el ancho de 20 m, la cantidad de canteros por casas es de 10 canteros y el número de hileras fue de una, el marco de plantación de 1.0 m x 0.40 m cada una, y el número total de plantas por casa de 1923, para un total de área experimental de 0,32 ha. La duración del ciclo productivo fue de 120 días. La etapa evaluada fue desde el trasplante hasta la producción final.

Los tratamientos empleados fueron:

1-Testigo: Fertirriego por tecnología (FT 100 %)

2- (FT 85 %) + *Glomus cubense*

3- (FT 75 %) + *Glomus cubense*

4- (FT 65 %) + *Glomus cubense*

Para determinar las propiedades químicas del suelo: pH, MO, P, Ca, K, Na y Mg, se tomaron muestras antes de la siembra en forma de zigzag a lo largo y ancho de las áreas experimentales entre 0 y 20 cm de profundidad. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

Se utilizaron los métodos establecidos por Paneque y Calaña (2010), consistentes en: pH (H₂O) por el método potenciométrico, con relación suelo: solución de 1: 2,5. Materia orgánica del suelo por el método colorimétrico de Walkley y Black. P₂O₅ asimilable (mg kg⁻¹) por extracción con H₂SO₄ 0,1N con relación suelo: solución 1:2,5. Cationes intercambiables (cmol kg⁻¹) por extracción con NH₄Ac 1 MolL⁻¹ a pH 7 y determinación por complejometría (Ca y Mg) y fotometría de llama (Na y K).

Resultados

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación sobre uno de estos incide sobre el resto. Para la caracterización climática de la zona de estudio, se consideraron los indicadores temperatura, humedad relativa y precipitaciones tomado del Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba, el comportamiento climático en el periodo de los experimentos fue el siguiente (Tabla 1):

Tabla 1 Campaña 2017-2018

Campaña 2017-2018			
Meses	T.Media (°C)	H.Relativa %	Precipitaciones (mm)
Noviembre	26,5	78	167,5
Diciembre	25,5	73	107,7
Enero	24,9	76	127,7
Febrero	25,7	65	14,7

El experimento se desarrolló sobre un suelo pardo sialítico mullido no carbonatado, según la versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al*, 2015) y las principales características del suelo se presentan a continuación: predomina un relieve ligeramente ondulado a pesar de presentar área llana con una pendiente de 1 %, capa arable medianamente humificada, profundidad efectiva de 0,30 a 0,40 m, drenaje superficial e interno bueno, velocidad de infiltración de 33 %, contenido de materia orgánica 2,69 %, capacidad de campo: 45,7 %, densidad aparente: 1,59 g cm³, densidad real: 2,09 g cm³.

Se realizó un conteo de esporas nativas o residentes de HMA en el área experimental, para lo cual se muestreo en forma de zigzag y se evaluaron por la metodología de Phillip y Hayman (1970).

Como inoculante micorrízico se utilizó *Glomus cubense*, cepa procedente de la colección de HMA del INCA. Esta cepa se encontraba conservada en un sustrato desarrollado para estos fines por el laboratorio de micorrizas del INCA (Registro de patente No.2264) a 4°C. El inóculo de HMA utilizado en el experimento poseía un título promedio de 50 esporas g⁻¹de suelo fresco, certificado en el Laboratorio de Micorrizas del INCA.

Se usó la cepa eficiente de HMA (*Glomus cubense*) en relación con el volumen del cepellón, aplicándose en cada tratamiento una proporción del 10% del recubrimiento de los cepellones en el momento del trasplante. El análisis químico del agua se realizó para conocer las concentraciones de sales que pueden obstruir los goteros, además se hace necesario para balancear correctamente la solución nutriente, regulando el pH y neutralizando bicarbonatos. Se debe analizar el agua de riego, como mínimo, una vez en la época de seca y otra en la de lluvia, así como tantas veces varíe significativamente la C.E. de la misma.

Preparación de las soluciones nutrientes

La preparación de la solución nutriente se realizó efectuando un balance nutricional adecuado por fase de desarrollo del cultivo (Moreno, 2010) teniendo en cuenta:

- a) Análisis del agua de riego.
- b) Soluciones nutrientes ideales para cada fase de desarrollo del cultivo.

Los pasos a seguir en el balance nutricional están en dependencia de las condiciones de cada lugar, se detallan en la metodología establecida al efecto y comprende:

-Regulación del pH del agua, al neutralizar los bicarbonatos del agua de riego con la adición de ácidos fosfórico y nítrico hay que tener en consideración de siempre dejar sin neutralizar 0,5 miliequivalente por litro del ión bicarbonato ($0,5 \text{ meq/L HCO}_3^-$).

-Aporte de calcio, magnesio y sulfatos en función de su contenido en el agua de riego y lo que demanda la solución ideal.

-Aporte de nitrógeno, fósforo, potasio y microelementos en función de lo que demanda la solución ideal.

Metodologías empleadas en la realización de las diferentes evaluaciones. Trasplante

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 plántulas. 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 rápido desarrollo radical de las plántulas.

Se utilizaron posturas, con una altura media de 12 cm, 6 hojas verdaderas y un grosor del tallo de 3 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 la postura, al mismo tiempo se hicieron hoyos más grandes que el cepellón de la postura, antes de colocar la misma se aplicó el inoculante según metodología y una vez colocada la postura, se presionó ligeramente el suelo a su alrededor con la finalidad de fijar su sistema radicular.

Marco de plantación

Las densidades óptimas rondan entre 2 y 3 plantas/m², pero dependen principalmente del tipo de poda elegida y el vigor de la variedad. El marco de plantación fue 1,00m x 0,40 m.

Estrés Hídrico postransplante

Posterior al primer riego, luego del trasplante, la plantación se sometió a un estrés hídrico durante los primeros 15 días, siempre monitoreando la humedad existente con el objetivo

de favorecer el desarrollo radical de la planta y un adecuado arraigue de la misma. Después comenzaron los fertirriegos según la tecnología, solo provocándole un estrés a la plantación cuando esta emitió más del 75 % de un plano floral.

Manejo de la plantación

Tutorado. La plantación se condujo a tres tallos, se lograron un total de 5 769vástagos, los cuales fueron tutorados de manera tecnificada y se trabajó un fruto por axila, 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 repercutió en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

Poda. Después del trasplante se establecieron durante el ciclo vegetativo del cultivo tres tipos de poda bien diferenciadas:

Poda de frutos. Una primera poda se realizó para eliminar los frutos formados en la primera bifurcación de la planta, a fin de beneficiar su crecimiento y desarrollo. Se efectuó generalmente en las plantas poco exuberantes, con el fin de lograr frutos de mayor calidad comercial. Se realizaron otras podas para eliminar los frutos deformados, dañados y pequeños, no comerciales.

Poda de formación. Se suprimieron los brotes por debajo de la primera bifurcación de la planta, garantizando que estos nuevos brotes no establecieran una competencia por espacio, agua y nutrientes con la planta en desarrollo.

Poda de aclareo. Se eliminaron las ramas no productivas, esto se realizó después que la planta emitió el primer fruto y por debajo de estos últimos con el objetivo de que quedaran protegidos de posibles quemaduras por el sol o afectaciones de plagas y garantizar la calidad del fruto.

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. Después de cada labor de deshoje se realizó 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 Poscosecha. 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 pimiento es cuando está verde rayón. 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, a fin de evitar desgarraduras o daños en frutos y plantas. Es importante además después de la cosecha que los frutos se manipulen siempre con sumo cuidado, para garantizar su calidad comercial.

Variabes fúngicas evaluadas. En la fase de mayor nivel productivo del cultivo (floración–fructificación), se recogieron las raíces con sumo cuidado para proteger la mayor cantidad de raicillas, con el objetivo de no perder los pelos absorbentes y obtener la mayor cantidad posible de información.

Colonización radical. 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, desarrollado por Giovanetti y Mosse (1980), mediante el cual se determinó el porcentaje de colonización micorrízica o frecuencia de colonización.

Densidad Visual. La determinación del índice de densidad visual (DV) se realizó por la metodología de Trouvelot *et al* (1986), mediante la cual se evaluó la ocupación fúngica de cada intercepto y se le asignó un nivel. Posteriormente se realizó el cálculo según la fórmula: $DV = \Sigma A / \Sigma Z$, donde: Z es la sumatoria del número de los interceptos contados en cada nivel y A es el resultado de la multiplicación del número de los interceptos contados en cada nivel (Z), por el porcentaje de ocupación observada.

Contenido de esporas. Para obtener el contenido de esporas se tomó 100g de suelo en la zona de la micorrizosfera, para que se analizara la muestra en el laboratorio y así poder conocer la competitividad del inoculante.

Variabes componentes del crecimiento y desarrollo de la planta

Altura de la planta (cm). Esta evaluación se realizó a los 60 días después del trasplante (se realizó con la ayuda de una cinta métrica).

Variabes del rendimiento y sus componentes. Para la evaluación de estas variables se escogieron 80 frutos al azar por cada tratamiento.

Diámetro Polar del fruto (cm). El diámetro polar del fruto se midió en la primera cosecha a los 60 días después del trasplante (se realizó con la ayuda de un pie de rey).

Diámetro ecuatorial del fruto (cm). El diámetro ecuatorial del fruto se midió en la primera cosecha a los 60 días después del trasplante (se realizó con la ayuda de un pie de rey).

Altura de la planta (cm). En la Tabla 2 se expone la altura de la planta a los 60 días después del trasplante. En la misma se aprecia que, el mejor tratamiento fue el T3 (75% FT + Glomus cubense), quien obtuvo la mayor media, superando estadísticamente a los restantes Tratamientos.

Tabla 2. Altura de la planta (cm) a los 60 días del trasplante

Tratamientos	Descripción	Media
T1	100% Fertirriego (FT)	121 c
T2	85% FT + Glomus cubense	138 b
T3	75% FT + Glomus cubense	159 a
T4	65% FT + Glomus cubense	117 d
ESMedia		0,0152

Pulido (2002) y Finlay (2008) abordan aspectos relacionados con el efecto beneficioso que ejerce la simbiosis micorrízica sobre el crecimiento y productividad de los cultivos, asociado fundamentalmente a que existe una mayor absorción y translocación de los nutrientes y agua por parte de las plantas micorrizadas eficientemente.

Herrera (2011) indicó que el beneficio más evidente de los HMA está en su incidencia sobre la nutrición de las plantas, provocado a su vez por un marcado incremento en los procesos de absorción y translocación de nutrientes, flujo de masa o difusión; todo ello evidenciado en los efectos sobre el crecimiento y la producción de las plantas.

(Smith y Read, 2008) refieren la contribución de los HMA a la toma de nutrientes por parte de la planta, teniendo un efecto significativo en el crecimiento y desarrollo de esta

Reche (2010), refiere que los HMA funcionan mejor con una dosis de fertirriego que este entre 70 % y 90 %, además plantea que dosis de fertirriego por debajo de 65 % afecta el rendimiento del cultivo. Esto se debe a que los HMA no son capaces de solubilizar en el ciclo productivo del cultivo los elementos necesarios para el desarrollo suficiente de la planta.

Diámetro polar y ecuatorial del fruto (cm). En la Tabla 3 se expresan los diámetros polar y ecuatorial del fruto, observándose en ambos casos la mayor media para el T3 (75 % FT + Glomus cubense), la cual superó significativamente a los demás tratamientos.

Tabla 3. Diámetros polar y ecuatorial (cm) de los frutos

Tratamientos	Descripción	Diámetros
--------------	-------------	-----------

		Polar	Ecuatorial
T1	100% Fertirriego (FT)	6,9 c	5,3 c
T2	85% FT + <i>Glomus cubense</i>	9,1 b	7,4 b
T3	75% FT + <i>Glomus cubense</i>	13,0 a	9,2 a
T4	65% FT + <i>Glomus cubense</i>	6,7 c	5,1 c
ESMedia		0,2304	0,0544

Resultados similares fueron obtenidos por Contreras (2014), quien observó que la inoculación de pimiento con *Glomus cubense* y una dosis de fertirriego entre 70 % y 85 %, tuvieron un efecto positivo sobre el diámetro, grosor y peso del fruto. El incremento en diámetro del fruto puede ser resultado del aumento en la eficiencia de absorción de macro y microelementos para la nutrición de las plantas, además de su movilización a los tejidos vegetales.

Rendimiento agrícola en frutos (t.ha⁻¹). El rendimiento en frutos como resultado de todas las cosechas, se refleja en la Tabla3, apreciándose el mejor resultado para el T3 (75 % FT + *Glomus cubense*), superando estadísticamente al resto de los tratamientos.

Tabla 4. Rendimiento agrícola en frutos (t.ha-1)

Tratamientos	Descripción	Media
T1	100% Fertirriego (FT)	48,60 c
T2	85% FT + <i>Glomus cubense</i>	72,52 b
T3	75% FT + <i>Glomus cubense</i>	87,55 a
T4	65% FT + <i>Glomus cubense</i>	42,38 d
ESMedia		0,2642

Finlay (2008) y Guissou (2009) refieren que, el uso de cepas de HMA como alternativa agroecológica, puede aumentar los rendimientos productivos de los cultivos hasta un 20 %, siempre y cuando las condiciones edafoclimáticas sean óptimas para el desarrollo de la planta.

El rendimiento de la planta de pimiento dependerá del número y peso de dichos frutos a lo largo del ciclo productivo, ya sea ciclo corto o largo y, además, del tipo de pimiento a cultivar, de carne gruesa o fina. Igualmente influye en los rendimientos, como en todas las especies hortícolas, la fertilidad del suelo, la calidad del agua de riego, la densidad de plantación, las condiciones ambientales del invernadero y, por supuesto, la experiencia del agricultor (Condés *et al*, 2008).

El uso combinado de las diferentes dosificaciones del fertirriego y *Glomus cubense*, optimizan el proceso de absorción de nutrimentos y por lo tanto se estimula el desarrollo vegetal, aumentando el potencial productivo de las plantas. Con la investigación se demostró que, el tratamiento a base de (75 % FT + *Glomus cubense*), además de haber

arrojado mejores resultados en los indicadores evaluados, permitió además reducir la norma de fertilizante químico, con beneficios para la planta, el suelo y en el costo de la investigación.

Discusión

El principal componente del pimiento es el agua, seguido de los hidratos de carbono, lo que hace que sea una hortaliza con un bajo aporte calórico. Es una buena fuente de fibra y, al igual que el resto de las verduras, su contenido proteico es muy bajo y apenas aporta grasas. En cuanto a su contenido en vitaminas, los pimientos son muy ricos en vitamina C, sobre todo los de color rojo. De hecho, llegan a contener más del doble de la que se encuentra en frutas como la naranja o las fresas. Son buena fuente de carotenos, entre los que se encuentra la capsaicina, pigmento con propiedades antioxidantes que aporta el característico color rojo a algunos pimientos. También es destacable su contenido de provitamina A (Betacaroteno y Criptoxantina) que el organismo transforma en vitamina A, conforme lo necesita, folatos y de vitamina E. En menor cantidad están presentes otras vitaminas del grupo B, como la B6, B3, B2 y B1. Su contenido en las citadas vitaminas C y E, junto con los carotenos, convierten al pimiento en una importante fuente de antioxidantes, sustancias que cuidan de la salud (INFOAGRO, 2007).

En Cuba dicha producción se ha incrementado a partir de los programas de la agricultura urbana y el auge del turismo. En estos momentos las instalaciones de cultivo protegido aseguran altos rendimientos y suministros estables. La utilización de productos que ejercen funciones biorreguladoras y bioestimuladoras en el crecimiento de los cultivos constituye la base de la fertilidad del suelo (Rodríguez, 2011).

El incremento de la producción de alimentos es una de las principales metas que el país se ha trazado, manteniendo una agricultura sostenible y orgánica para la satisfacción de las necesidades alimenticias de la población, las cuales aumentan cada día (Tamayo, 2014).

En Cuba, el cultivo protegido constituye una tecnología promisoriosa para extender los calendarios de cosecha de las hortalizas tradicionales y asegurar su suministro fresco al turismo, mercado en frontera y a la población; inclusive en los períodos en que la oferta de la producción proveniente del campo abierto resulta en extremo limitada. Esta tecnología requiere de suelos altos, profundos y con buen drenaje interno y externo, con

un pH de 5,6 a 6,5, buena topografía, libre de obstáculos y comprobada sanidad en relación con la presencia de plagas y enfermedades (Casanova *et al.*, 2007).

Algunas de las problemáticas más acentuadas en la explotación de esta tecnología en el territorio santiaguero lo constituyen: las fuentes de abasto de agua, el tipo de suelo, la disponibilidad de materia orgánica, así como las propiedades de los nutrientes empleados en la fertirrigación del pimiento (Moreno, 2010). Por estas razones es indispensable buscar alternativas ecológicas que permitan obtener elevados rendimientos.

Los criterios de fertilización están basados principalmente en el tipo de sistema que se pretenda establecer, ya sea convencional, limpio o ecológico. Este es el punto de partida para implementar el método de fertilización más conveniente. No obstante, hay que tener en cuenta diversos factores que son relevantes para todos los sistemas de cultivo, entre los cuales se tiene: el contenido de elementos mayores, secundarios y menores, acidez, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica y textura del suelo. Para realizar una recomendación de fertilización, ya sea de fondo (presiembrado) o de mantenimiento, es necesario tener en cuenta tres aspectos fundamentales: el contenido nutricional de los materiales a utilizar (fertilizantes, abonos y/o enmiendas), los requerimientos nutricionales de las plantas y el contenido nutricional del suelo (Casilimas *et al.*, 2012).

La fertirrigación, que significa literalmente la aplicación simultánea del agua de riego y los fertilizantes, generalmente de manera localizada (por goteo) y con elevada eficiencia a los cultivos, es otro aspecto muy importante que define el crecimiento y desarrollo del cultivo, y debe estar encaminada a una nutrición mineral ajustada y acorde con cada estado fenológico del cultivo, ya que influye directamente en el rendimiento de la producción. La agricultura, está en continuo cambio tecnológico, encaminado a un perfeccionamiento en el manejo cultural con el objetivo de buscar el máximo aprovechamiento de los recursos naturales y aproximarse lo más posible al rendimiento potencial máximo del cultivo empleado, manteniendo en todo momento un equilibrio con el medio ambiente que evite la degradación de nuestras condiciones y recursos agroclimáticos (Moreno, 2016).

El término biofertilizantes es ampliamente utilizado y hace referencia al "inoculante biológico". Por lo general, se refiere a formulaciones de microorganismos vivos o latentes (bacterias u hongos, solos o combinados) y que son agregados a los cultivos agrícolas

para estimular su crecimiento y productividad y que pueden ser un sustituto parcial o completo para la fertilización química (Aguado-Santacruz, 2012).

El manejo inadecuado de los cultivos, los incorrectos esquemas de fertirrigación, la aparición de nuevas enfermedades, además de las severas pérdidas de cosecha y poscosecha, son los principales factores que afectan los rendimientos productivos en el país. (Rivera *et al*, 2012). Por estas razones, el Estado cubano introdujo inicialmente 26 instalaciones de tecnología israelí y española, capaces de producir volúmenes superiores a las 200 t/ha al año. Posteriormente, con el diseño y la generalización de la casa tropical cubana, con efecto de sombrilla, se extendió la superficie de cultivo protegido a 170 ha, con un rendimiento promedio de 150 toneladas por hectárea al año (IIHLD, 2010).

Se considera que la agricultura cubana se encuentra en una etapa de optimización de insumos agroquímicos, pues los resultados se obtienen de forma aislada y no se relacionan bajo una concepción agroecológica que permita aprovechar los mecanismos de sinergia, por ende, la integración de la tecnología de cultivos protegidos con el uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) como método eficiente y agroecológico, que se basa en el intercambio de metabolitos y nutrientes con las plantas, permitirá, con un adecuado esquema de fertirriego, asegurar el éxito de los sistemas agrícolas a largo plazo y, además, fomentaría el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agro ecosistemas (Rivera *et al*, 2003).

Los HMA son capaces de incrementar la absorción de nutrimentos (N, P, K, Ca, Cu, Mg, Mn, Zn, etc.), esto es debido a que incrementan el área de exploración radical, a través de la extensión de sus hifas en el suelo (Martin y Stutz, 2004). No obstante, los efectos benéficos de los HMA en el cultivo del pimiento pueden variar de acuerdo con las cepas de HMA empleadas (Parke y Kaeppler, 2000; Alonso *et al*, 2013).

La efectividad de los HMA se ha evaluado midiendo el incremento en biomasa o concentración de fósforo en las plantas, asumiéndose cierto grado de redundancia funcional. Sin embargo, es importante reconocer que los ecosistemas tienen grupos de especies con funciones específicas, y la desaparición de algunas de ellas puede causar modificaciones en la productividad del ecosistema (Rivera y Fernández, 2003).

Conclusiones

1. ***La dosis de fertirriego al 75 % e inoculación de *Glomus cubense* como cepa eficiente de hongo micorrízico, fue el más efectivo dentro de los tratamientos ensayados, reflejando los mejores indicadores de crecimiento y productividad del pimiento, con la menor media cuando se utilizó el 100 % del fertirriego sin inoculación del cultivo.***

Referencias bibliográficas

1. Aguado-Santacruz, G. A. (2012). *Uso de Microorganismos como Biofertilizantes. Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura*. México: INIFAP/SAGARPA.
2. Alonso, R., et al. (2013). Influencia de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y desarrollo de *Capsicum annuum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(1), 77–88.
3. Casanova, A., et al. (2007). *Manual para la producción protegida de hortalizas*. La Habana: Ministerio de la Agricultura.
4. Casilimas, H. et al. (2012). *Manual de producción de pimentón bajo invernadero*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
5. Finlay, D. (2008). Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany*, 59(5).
6. Instituto Nacional de Recursos Agrícolas. (2019). Recuperado de <http://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/search>
7. Marrero, Y. (2010). *Efecto de frecuencias de inoculación micorrízica y el laboreo sobre una secuencia de cultivos en un suelo Pardo Mullido Carbonatado*. (Tesis de maestría). INCA, La Habana, Cuba.
8. Moreno, V. J. (2016). *Procedimientos para el manejo de la nutrición y el Control de la fertirrigación en las Casas de Cultivos*. La Habana: Grupo Empresarial Frutícola.
9. Mujica P., Y., et al. (2018). Evaluación de la infectividad de *Glomus cubense* en formulación líquida sometida a diferentes presiones hidrostáticas. *Revista Cultivos Tropicales*, 39(4).
10. Paneque, V. M. y Calaña, J. M. (2010). *La fertilización de los cultivos. Aspectos teórico-prácticos para su recomendación*. (s.l.e.): Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas.
11. Reche, J. (2008). *Agua, Suelo y Fertirrigación de Cultivos Hortícolas en Invernadero*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
12. Rivera, R. y Fernández, K. (2003). *Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe*. La Habana: Eds. INCA.
13. Rodríguez, M., et al. (2005). *Meloidogyne* spp., plagas de las hortalizas: alternativas para su manejo en sistemas de cultivo protegido. *Rev. Protección Veg.* 20(1), 1-10.
14. Sánchez, I. (2017). *Importancia del calcio en las plantas*. Recuperado de <https://www.arvensis.com/blog/424-2/>
15. Tamayo A., Y. (2014). *Coinoculación de *Rhizobium* sp. y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en *Canavalia ensiformis* (L) D.C cultivada sobre suelo pardo sialítico mullido carbonatado*. Mayabeque: (s.e.).