

Hongos formadores de micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal en uchuva (*Physalis peruviana* L.)

*Arbuscular mycorrhizal-forming fungi and plant growth-promoting bacteria in cape gooseberry
(Physalis peruviana L.)*

Wilmar Alexander Wilches Ortiz¹
María Margarita Ramírez Gómez²
Diana Paola Serralde Ordoñez³
Andrea María Peñaranda Rolón⁴
Andrés Díaz García⁵
Luciano Ramírez⁶

Resumen

El cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) tiene una gran importancia en Colombia debido a la producción y exportación de frutos. Una de las principales limitantes en la productividad del cultivo está asociada a la susceptibilidad a la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph). El objetivo de este estudio fue

1 Investigador Máster Asociado. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia. CP 250047. wwilches@agrosavia.co, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2905-3347>. Autor de correspondencia.

Associate Master Researcher. Colombian Agricultural Research Corporation AGROSAVIA, Tibaitatá Research Center. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia. Corresponding author.

2 Investigadora PhD Senior. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia. CP 250047. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7407-7321>

3 Investigadora Máster Senior. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia. CP 250047. dserralde@agrosavia.co, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6422-5071>

Senior Master Researcher. Colombian Agricultural Research Corporation AGROSAVIA, Tibaitatá Research Center. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia.

4 Investigadora Máster. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia. CP 250047. apenaranda@agrosavia.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1231-646X>

Senior Master Researcher. Colombian Agricultural Research Corporation AGROSAVIA, Tibaitatá Research Center. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia. r.

5 Investigador Máster Asociado. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Sede Central. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia. CP 250047. adiaz@agrosavia.co ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8638-7968>

Associate Master Researcher. Colombian Agricultural Research Corporation AGROSAVIA, Tibaitatá Research Center. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia.

6 Profesional de apoyo a la investigación. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Tibaitatá. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia. CP 250047. luramirez@agrosavia.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0963-6737>

Research support professional. Colombian Agricultural Research Corporation AGROSAVIA, Tibaitatá Research Center. Km. 14 vía Mosquera - Bogotá, Mosquera - Cundinamarca, Colombia.

Recibido: 20/06/2023 - Aprobado: 16/01/2024

Wilches Ortiz, W. A., Ramírez Gómez, M. M., Serralde Ordoñez, D. P., Peñaranda Rolón, A. M., Díaz García, A., & Ramírez, L. (2023). Hongos formadores de micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal en uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Ciencia E Interculturalidad*, 33(2), 206-222. <https://doi.org/10.5377/rCi.v33i2.17726>

Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-NoDerivadas



evaluar el uso de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) de forma individual y en mezcla con un bioproducto basado en una Bacteria Promotora del Crecimiento Vegetal (BPCV), como estrategia para mitigar la enfermedad y a su vez mejorar la productividad. En un ensayo de validación en parcelas demostrativas con 9 tratamientos que corresponden a tres materiales (Agricultor, Comercial y Dorada) y tres inoculaciones (1. HFMA: *Rhizogloium irregulare* y *Acaulospora mellea*, 2. HFMA + BPCV: Natibac® - *Bacillus subtilis* y 3. Control: Sin inoculación), se realizaron evaluaciones de producción de frutos, incidencia y severidad de la marchitez vascular en parcelas de cultivo de uchuva en el municipio de Ubaté, Cundinamarca. Los resultados permitieron correlacionar las variables de producción del cultivo y la severidad de la enfermedad, obteniendo resultados promisorios con correlaciones positivas entre el uso de HFMA + BPCV en la producción y calidad del fruto (% exportación) y correlaciones negativas entre la severidad de la enfermedad y la inoculación con HFMA, lo que refleja el potencial de estos microorganismos para incrementar la tolerancia de las plantas de uchuva al ataque por *Fusarium oxysporum* sin afectar el rendimiento de cultivo.

Palabras clave: Cultivo, marchitez vascular, micorriza, rizobacteria, sostenibilidad.

Abstract

The cape gooseberry crop (*Physalis peruviana* L.) is significant in Colombia due to the production and export of fruit. One of the main limitations in crop productivity is associated with susceptibility to vascular wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph). This study aimed to evaluate using Arbuscular Mycorrhiza Forming Fungi (AMF) individually and in a mixture with a bioproduct based on Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) to mitigate the disease and improve crop productivity. In a validation trial in demonstration plots with nine treatments corresponding to three materials (Agricultor, Comercial, and Dorada) and three inoculations (1. HFMA: *Rhizogloium irregulare* and *Acaulospora mellea*, 2. HFMA + PGPB: Natibac® - *Bacillus subtilis* and 3. Control: No inoculation), evaluations of fruit production, incidence and severity of vascular wilt were carried out in plots of cape gooseberry crop in the municipality of Ubaté, Cundinamarca. The results allowed correlating crop production variables and disease severity, obtaining promising results with positive correlations between the use of HFMA + BPCV on fruit production and quality (% export) and negative correlations between disease severity and inoculation with HFMA, which reflects the potential of these microorganisms to increase the tolerance of cape gooseberry plants to attack by *Fusarium oxysporum* without affecting yield.

Keywords: Crop, mycorrhiza, vascular wilt, rhizobacteria, sustainability.

I. Introducción

La uchuva (*Physalis peruviana* Linnaeus, 1763) (Solanales: Solanaceae), es una planta perenne presente desde la época precolombina en los Andes peruanos (Legge, 1974), también conocida como baya Inca o de oro, es una fruta tropical de alto valor comercial en algunos países como Perú, Ecuador, Colombia y varios países no andinos, como Estados Unidos, India, Australia, Sudáfrica y Nueva Zelanda (Kumagai et al., 2021; Puente et al., 2011). La planta de uchuva es conocida por la producción de frutos dulces, siendo una de las frutas que lidera importantes tasas de exportación de materia fresca en varios países tropicales (Maruenda et al., 2018). De hecho, la uchuva se convirtió una de la más importantes frutas de exportación (Ramadan, 2011). El cultivo tiene un alto impacto en Colombia debido a la producción y exportación de frutos. El país se ha caracterizado por ser el principal productor de esta fruta exótica con una amplia difusión en el mercado internacional principalmente por su valor nutricional (Etzbach et al., 2018). La fruta de uchuva es fuente de fibra dietética, azúcares (sacarosa y fructosa), vitaminas A, C, B₃ y ácidos grasos, incluidos los ácidos linoleico, oleico, palmítico, y-linolénico y palmitoleico (El-Beltagi et al., 2019; Ramadan, 2020).

Por sus múltiples beneficios el cultivo de uchuva se ha convertido en una alternativa de producción viable en la economía de pequeños y medianos agricultores en Colombia. La principal limitante fitosanitaria de la uchuva es la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph), generando pérdidas de alrededor del 80% en el cultivo (Simbaqueba et al., 2018). Por otra parte, el uso de inoculantes microbianos y los biofertilizantes son estrategias eficientes que han demostrado mejorar el rendimiento de los cultivos bajo condiciones de estrés, al emplear mecanismos como cambios en la arquitectura del sistema radicular, inducción de resistencia sistémica y regulación de la expresión de genes de respuesta al estrés (Rad et al., 2022). Adicionalmente existen cepas microbianas que se destacan por su actividad en la protección de las frutas postcosecha contra diversos patógenos (Rad et al., 2022). Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) y los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) promueven el crecimiento de las plantas de forma individual y en forma conjunta. La actividad combinada de ambos organismos favorece sus beneficios para una mayor productividad, ya que se ha demostrado que la BPCV estimulan el papel benéfico de los HFMA y viceversa (Emmanuel y Babalola, 2020). Las BPCV promueven el desarrollo de las plantas (Olanrewaju et al., 2017) y los HFMA establecen simbiosis con las raíces de las plantas para mejorar la absorción de nutrientes y alteran su fisiología para resistir factores bióticos y abióticos (Nadeem et al., 2017). El presente estudio tiene como objetivo evaluar el uso de HFMA de forma individual y en conjunto con BPCV en el cultivo de la uchuva como estrategia para mitigar la marchitez vascular y a su vez mejorar la productividad en cosecha de frutos.

II. Materiales y métodos

Descripción y localización

Previo al establecimiento del cultivo se seleccionó un lote de agricultor en el municipio de Ubaté (Cundinamarca) y se realizó un muestreo georreferenciado tipo cuadrícula en puntos equidistantes para determinar la presencia de *Fusarium* y de HFMA. Las muestras de suelo se trasladaron al Laboratorio de Microbiología Agrícola del Centro de Investigación Tibaitatá¹. Para la determinación de Foph se realizó el crecimiento de diluciones en medio Komada y para la cuantificación de los HFMA se utilizó la técnica de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963). Posterior a la caracterización inicial del lote, se estableció un ensayo de validación con los siguientes tratamientos biológicos para cada material (Tabla 1).

Tabla 1.

Información de los tratamientos y fertilización en campo en los materiales Dorada, Comercial y Agricultor

Tratamiento	Descripción	Fertilización
T ₁	HFMA	
T ₂	HFMA + BPCV	Media (50%)
T ₃	Control sin inoculación	Completa (100%)

Se utilizaron los HFMA *Rhizoglyphus irregularis* (Schüßler y Walker, 2011; Sieverding et al., 2014) y *Acaulospora mellea* (Spain y Schenk) de la Colección de Microorganismos con Interés en Biofertilizantes (CMIB) pertenecientes al Banco de Germoplasma de la Nación bajo administración de Agrosavia. Con respecto a la cepa BPCV, se utilizó el bioproducto Natibac® a base de una cepa de *Bacillus subtilis* (Bsoo6), proporcionado por la Planta Piloto de Bioproductos de Agrosavia. La multiplicación de los HFMA se realizó durante 5 meses mediante “cultivo trampa” (Morton et al., 1995), utilizando plantas de cebolla (*Allium fistulosum* L.) en materas de 500 g, con sustrato estéril suelo: arena (3:1 v/v). Para el control de calidad de los HFMA se realizó la cuantificación de esporas del inóculo y se aseguró la inoculación de 70 esporas por plántula de uchuva en bandejas de 72 alveolos con una única dosis en el momento de siembra en casa de malla. La aplicación de la BPCV se realizó de acuerdo a las metodologías estandarizadas reportadas por Beltrán-Acosta et al. (2023), empezando desde la siembra de la semilla, con dos refuerzos hasta el momento del trasplante a campo y con dos refuerzos en campo cada 15 días una vez se alcanzó la floración del cultivo .

El manejo del cultivo se realizó teniendo en cuenta el potencial biofertilizante de los microorganismos, aplicando la mitad de la dosis recomendada de fertilización

¹ Las muestras de suelo se tomaron previa autorización firmada en acuerdo con el productor.

AGROPECUARIA

química en los tratamientos 1 y 2, y fertilización con la dosis completa en el tratamiento control (3), cabe resaltar que para la recomendación de la fertilización se tuvo en cuenta el análisis de suelo previo al establecimiento. El manejo fitosanitario del cultivo de uchuva se mantuvo según el criterio del productor y se realizó la evaluación del rendimiento del cultivo mediante mediciones de las variables de peso y cantidad de frutos en 10 plantas por unidad experimental (UE). Adicionalmente, se midió el peso total de frutos obtenido por parcela y el porcentaje de calidad tipo exportación.

Severidad de la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum* f.sp. *physali*)

En cada unidad experimental se obtuvieron datos de severidad de la enfermedad de la marchitez vascular mediante la evaluación de las 72 plantas con seguimientos del porcentaje de área afectada, por percepción visual en las plantas desde el tercio inferior hasta el superior, para lo cual se empleó la escala de severidad del marchitamiento vascular (0 a 5) reportada por Barbosa Medina (2013) y Moreno Velandia (2017), registrándose conjuntamente el porcentaje de severidad que va de 0 % = planta sana hasta 100 % = planta muerta (figura 1) (Boncukçu et al., 2023).

Figura 1.

Plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). A). Sana en producción sin afectación por Foph. B). Muerta por marchitez vascular.



Con los datos de severidad se determinó el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC, por sus siglas en inglés; *Area Under the Disease Progress Curve*), el cual es un resumen cuantitativo útil de la intensidad de la enfermedad a lo largo del tiempo. Se empleó el método trapezoidal, discretizando la variable del tiempo (días después de siembra) y la intensidad promedio de la enfermedad entre cada par de puntos de tiempo adyacentes (Madden et al., 2007). En la ecuación 1 se expresa el cálculo del AUDPC en donde los valores obtenidos son estandarizados sin unidades.

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{N_i-1} \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} (t_{i+1} - t_i)$$

[Ecuación 1]

Conversiones:

N: Número de mediciones en el tiempo de la enfermedad.

t_i : Puntos de tiempo de muestra en una secuencia (el intervalo de tiempo entre dos puntos de tiempo puede ser consistente o variar)

Para el área relativa bajo la curva de progreso de la enfermedad (rAUDPC) se calculó de acuerdo con la ecuación 2 (Fry, 1978).

$$rAUDPC = \frac{AUDPC}{Nf - Ni} \times 100$$

[Ecuación 2]

Conversiones:

AUDPC: Área bajo la curva del progreso de la enfermedad

Ni: Número de días de la primera lectura.

Nf: Número de días entre la última lectura.

Análisis estadísticos

Se aplicaron pruebas de comparación del control con los demás tratamientos mediante t de Student ($p \leq 0,05$). Adicionalmente se realizó análisis de correspondencia canónica entre las variables evaluadas con los tratamientos, utilizando el software estadístico R® (R Core Team, 2020) con las librerías corrplot (Wei et al., 2017), CCA (González y Déjean, 2021) y ggplot2 (Wickham, 2016).

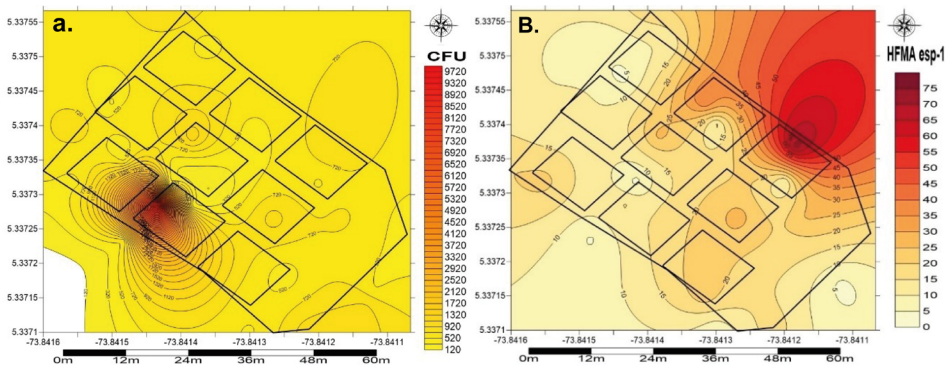
III. Resultados y discusión

Caracterización inicial del lote

Con los datos obtenidos de las muestras de suelo en laboratorio se identificó la distribución inicial de las poblaciones de HFMA y Foph en el lote. En la figura 2 se ilustran los mapas que representan gráficamente la densidad de los microorganismos en el suelo por medio de interpolación "IDW" (Ponderación de distancia inversa). La distribución de Foph en el lote estuvo en el rango de 120 a 9720 UFC.g suelo⁻¹, lo que permitió en el estudio asegurar la presencia del patógeno en el lote. Se encontró una presencia previa de HFMA con valores de 5-75 esp.g suelo⁻¹.

Figura 2.

Representación gráfica de la densidad de las poblaciones de microorganismos en el suelo y distribución de las unidades experimentales. a). Foph. b). HFMA.



Severidad de la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *physali* (Foph)

Al evaluar el desarrollo y progreso de la enfermedad de la marchitez vascular sobre los tres materiales (figura 3) se observó un porcentaje de severidad mayor en los tratamiento control (sin inoculación de microorganismos benéficos), lo cual se ratificó en los valores obtenidos en el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) como se muestra en la figura 4 en donde se presentaron diferencias significativas en los tratamientos control con respecto a los tratamientos de inoculación, siendo menor para la mezcla con microorganismos benéficos (HFMA+BPCV), seguido de los HFMA de forma individual.

Figura 3.

Severidad de la marchitez vascular en el cultivo de la uchuva. HFMA: *Rhizoglyphus irregularis*, *Acaulospora mellea*. BPCV: Natibac® - *Bacillus subtilis*.

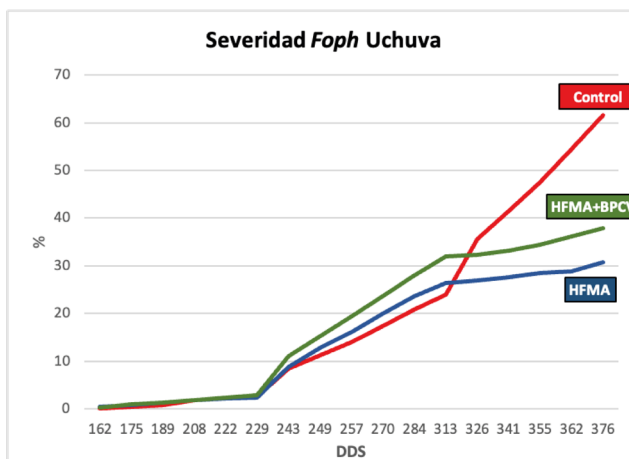
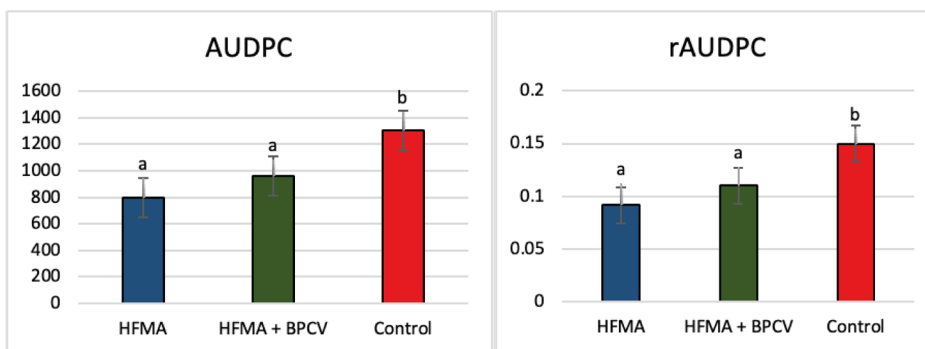


Figura 4.

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de la marchitez vascular (AUDPC) y su relativo (rAUDPC). HFMA: *Rhizoglyphus irregularis*, *Acaulospora mellea*. BPCV: Natibac® - *Bacillus subtilis*. Medias con letras iguales al tratamiento control no representan diferencias estadísticas significativas frente al mismo (t-student, $p \leq 0,05$).



En la figura 4 se observa un mejor comportamiento en el control de la enfermedad con los HFMA de forma individual y en mezcla (HFMA + BPCV) respecto al control sin inoculación con diferencias estadísticas en el valor del AUDPC y su relativo, lo que demuestra el potencial biocontrolador de la enfermedad por parte de estos

microorganismos. Se ratifican las afirmaciones de Jung et al. (2012) sobre el efecto biocontrolador de los HFMA en una amplia gama de especies de plantas y contra muchos patógenos, la mayoría de ellos hongos patógenos transmitidos por el suelo que causan pudrición o marchitamiento de las raíces. En este estudio se evidencia el potencial biocontrolador de los HFMA de la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *physali* (Foph) en el cultivo de uchuva. En estudios de Ramírez et al., (2016) encontraron con el uso de HFMA un buen desarrollo agronómico en plantas de uchuva en vivero con una menor incidencia y severidad de la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum* en comparación con el tratamiento control. Para *B. subtilis* (Bsoo6), en trabajos previos se demostró la actividad promotora de crecimiento vegetal en uchuva y cierto nivel de biocontrol contra el marchitamiento vascular causado por *Fusarium oxysporum* (Foph) (Díaz et al., 2013; Beltrán-Acosta et al., 2023), lo cual coincide en este estudio con el efecto sinérgico debida al uso simultaneo de Natibac® - *B. subtilis* con los HFMA evaluados (*R. irregularis* y *A. mellea*).

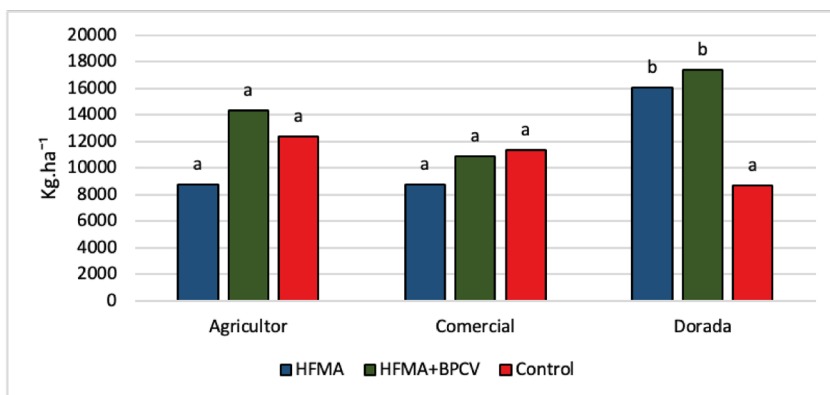
Producción del cultivo

En la figura 5 se observan los datos del rendimiento del cultivo en donde se destaca el material Dorada al presentar diferencias estadísticas (t de student, $p \leq 0,05$) entre el control y los demás tratamientos, siendo mayor en los tratamientos HFMA+BPCV seguido del tratamiento HFMA respecto al control, coincidiendo con Pathak et al., (2017) quienes afirman que el uso de HFMA y BPCV pueden mejorar el crecimiento y producción en cultivos, como el de papa (*Solanum tuberosum* L.) debido a las múltiples actividades directas/indirectas de estos microorganismos para promover el crecimiento de las plantas. En el estudio de (Guana et al., 2011) en plantas de uchuva en vivero con el uso de HFMA, identificaron el potencial de *Acaulospora mellea* en el incremento en la producción del fruto respecto al tratamiento control.

En los materiales Agricultor y Comercial no se encontraron diferencias significativas respecto al control en la producción (figura 5), sin embargo, en el material del agricultor las plantas inoculadas con la mezcla de los microorganismos presentaron un incremento de la producción del 16,7% con respecto al control, cabe resaltar que la fertilización de los tratamientos de inoculación fue del 50%, lo que se refleja para este material en una reducción de la mitad en los costos de fertilización en el cultivo, coincidiendo con Wilches-Ortiz y colaboradores (2022) quienes afirman que los HFMA pueden sustituir el 50% de la fertilización sintética, haciéndola más efectiva, con un mayor contenido de materia seca. Los resultados obtenidos concuerdan con los de Chiomento et al. (2022) en plantas de uchuva inoculadas con un consorcio micorrícico, *Glomus intraradices* y *Rhizophagus clarus* los cuales no presentan diferencias significativas en la producción entre tratamientos respecto al control, pero si un aumento en la producción de raíces y la calidad de los frutos.

Figura 5.

Rendimiento del cultivo de uchuva. HFMA: *Rhizoglo mus irregular e*, *Acaulospora mellea*. BPCV: Natibac® - *Bacillus subtilis*. Datos con letras iguales al tratamiento control no representan diferencias estadísticas significativas frente al mismo (t-student, $p \leq 0,05$).



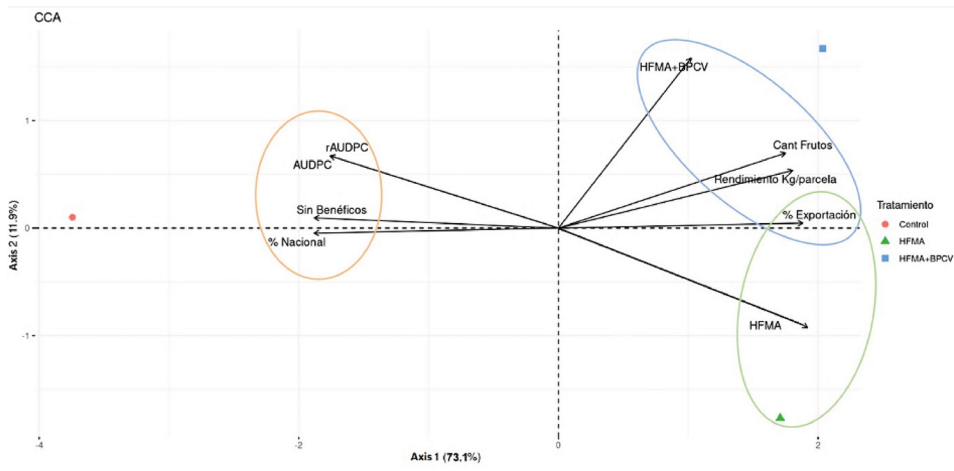
Correlación de los BPCV y HFMA con las variables evaluadas

En la figura 6 se observa el comportamiento e interacción en el cultivo de uchuva con los diferentes tratamientos. A través del análisis de correspondencia canónica (CCA) con una varianza total del 85% se confirmaron las correlaciones positivas entre variables y tratamientos, las cuales se encuentran encerradas en círculos dentro del gráfico, destacándose la alta afinidad entre los HFMA+BPCV con las variables de cantidad de frutos, porcentaje de exportación y rendimiento. También se observó relación de los HFMA con el porcentaje de exportación. Finalmente se presentó correlación en las plantas sin inoculación con las variables de AUDPC y su relativo, así como como con los frutos de menor calidad (nacional), variables que tienden a ser inversamente proporcionales a la inoculación con HFMA. Estos resultados coinciden con otros estudios como el de Ramírez et al., (2016) en donde encontraron con el uso de HFMA una menor incidencia y severidad de la marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum*. Estudios en otras solanáceas como el de Ismail y Hijri (2012) coinciden en que los HFMA (*R. irregular e*) inhiben significativamente la enfermedad causada por el patógeno *Fusarium sambucinum* en plantas de papa (*Solanum tuberosum L.*). Desai et al., (2020) demostraron en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) y chile (*Capsicum annum L.*) inoculadas con la BPCV *Bacillus sonorensis* y el HFMA *Funneliformis mosseae*, un estado fitosanitario sano y un crecimiento vigoroso en comparación con las no inoculadas. Adicionalmente, Schubert et al., (2020) señalaron que *R. irregular e* contribuye al mejoramiento de la producción y calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). En el presente estudio se vio potencializada la

relación con la mezcla de los HFMA y la BPCV contribuyendo en la producción de frutos de uchuva y la mitigación de la marchitez vascular causada por Foph.

Figura 6.

Análisis de correspondencia canónica de la inoculación de microorganismos benéficos con variables de producción y tolerancia a Foph en los tratamientos evaluados.



IV. Conclusiones

La inoculación de HFMA (*Rhizoglyphus irregularis* y *Acaulospora mellea*) ejerce un efecto biocontrolador a la enfermedad de la marchitez vascular causada por Foph.

La aplicación combinada de HFMA y el bioproducto Natibac® - *Bacillus subtilis* contribuyen en una mayor producción y rendimiento de frutos en el cultivo de la uchuva.

Se demostró que la ausencia de microorganismos benéficos favorece la presencia de la marchitez vascular causada por Foph así como una reducción en la producción de fruta y una menor calidad del fruto sin cumplir estándares de exportación.

Agradecimientos

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia – MADR, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Gobernación de Cundinamarca y al Sistema General de Regalías, por la financiación y ejecución del producto: Desarrollo, transferencia de Tecnología y conocimiento para la innovación que reduzca la baja

competitividad de uchuva derivada de la emergencia por el Covid-19, mediante la disminución del marchitamiento vascular en Ubaté y Granada, Cundinamarca. Convenio 2049. BPIN 2020000100700.

V. Referencias

- Barbosa Medina, J. D. (2013). *Identificación y descripción sintomatológica de la marchitez vascular causada por Fusarium oxysporum en uchuva (Physalis peruviana)*. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniería Agronómica. En Repositorio de Universidad de Cundinamarca.
- Beltrán-Acosta, C. R., Zapata-Narváez, Y. A., Millán-Montaño, D. A., y Díaz-García, A. (2023). Efecto de *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas migulae* sobre el crecimiento de plántulas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en semillero. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 50669. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50669>
- Boncukçu, S. D., Gebologlu, N., Sahin, F., y Yanar, Y. (2023). Determination of Verticillium and Fusarium wilt resistance levels of different interspecific hybrid eggplant lines. *Horticultural Science*, 50(2), 152–158. <https://doi.org/10.17221/62/2022-HORTSCI>
- Chiomento, J. L. T., Filippi, D., Krasnievich, G. M., De Paula, J. E. C., Fornari, M., y Trentin, T. S. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi potentiate the root system and the quality of goldenberry fruits. *Advances in Horticultural Science*, 36(4), 265–273. <https://doi.org/10.36253/ahsc13352>
- Desai, S., Bagyaraj, D. J., y Ashwin, R. (2020). Inoculation with Microbial Consortium Promotes Growth of Tomato and Capsicum Seedlings Raised in Pro Trays. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 90(1), 21–28. <https://doi.org/10.1007/s40011-019-01078-w>
- Díaz, A., Smith, A., Mesa, P., Zapata, J., Caviedes, D., y Cotes, A. M. (2013). Control of *Fusarium wilt* in cape gooseberry by *Trichoderma koningiopsis* and PGPR. *IOBC/WPRS Bulletin*, 86, 89–94. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133172497>
- El-Beltagi, H. S., Mohamed, H. I., Safwat, G., Gamal, M., y Megahed, B. M. H. (2019). Chemical Composition and Biological Activity of *Physalis peruviana* L. *Gesunde Pflanzen*, 71(2), 113–122. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00456-8>
- Emmanuel, O. C., y Babalola, O. O. (2020). Productivity and quality of horticultural crops through co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth

- promoting bacteria. *Microbiological Research*, 239, 126569. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126569>
- Etzbach, L., Pfeiffer, A., Weber, F., y Schieber, A. (2018). Characterization of carotenoid profiles in goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruits at various ripening stages and in different plant tissues by HPLC-DAD-APCI-MSn. *Food Chemistry*, 245, 508–517. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.120>
- Fry, W. E. (1978). Quantification of General Resistance of Potato Cultivars and Fungicide Effects for Integrated Control of Potato Late Blight. *Phytopathology*, 68(11). <https://doi.org/10.1094/phyto-68-1650>
- Gerdemann, J. W., y Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235–244. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(63)80079-0)
- González, I., y Déjean, S. (2021). CCA: Canonical Correlation Analysis. Package. R package version 1.2.1. *R Package Version*, 1, 14. <https://cran.r-project.org/web/packages/CCA/CCA.pdf>
- Guana, O. A., Rodríguez, A., Ramírez, M., y Roveda, G. (2011). Evaluación del efecto de la inoculación de plantas de Uchuva Con Hongos Formadores De Micorrizas Arbusculares. *Suelos Ecuatoriales*, 41(2), 122–127.
- Ismail, Y., y Hijri, M. (2012). Arbuscular mycorrhisation with *Glomus irregulare* induces expression of potato PR homologues genes in response to infection by *Fusarium sambucinum*. *Functional Plant Biology : FPB*, 39(3), 236–245. <https://doi.org/10.1071/FP11218>
- Jung, S. C., Martinez-Medina, A., Lopez-Raez, J. A., y Pozo, M. J. (2012). Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses. *Journal of Chemical Ecology*, 38(6), 651–664. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0134-6>
- Kumagai, M., Yoshida, I., Mishima, T., Ide, M., Fujita, K., Doe, M., Nishikawa, K., y Morimoto, Y. (2021). 4β-Hydroxywithanolide E and withanolide E from *Physalis peruviana* L. inhibit adipocyte differentiation of 3T3-L1 cells through modulation of mitotic clonal expansion. *Journal of Natural Medicines*, 75(1), 232–239. <https://doi.org/10.1007/s11418-020-01458-x>
- Legge, A. P. (1974). Notes on the history, cultivation and uses of *Physalis peruviana* L. *Journal of the Royal Horticultural Society*, 99(7), 310–314. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19740322190>

AGROPECUARIA

- Madden, L. V, Hughes, G., y Van Den Bosch, F. (2007). *The study of plant disease epidemics* (Issue 632.3 M33). Am Phytopath Society. <https://doi.org/10.1094/9780890545058>
- Maruenda, H., Cabrera, R., Cañari-Chumpitaz, C., Lopez, J. M., y Toubiana, D. (2018). NMR-based metabolic study of fruits of *Physalis peruviana* L. grown in eight different Peruvian ecosystems. *Food Chemistry*, 262, 94–101. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.032>
- Moreno Velandia, C. A. (2017). *Interactions between Bacillus amyloliquefaciens Bsoo6, Fusarium oxysporum Map5 and Cape gooseberry (Physalis peruviana)* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62781>
- Morton, J. B., Bentivenga, S. P., y Bever, J. D. (1995). Discovery, measurement, and interpretation of diversity in arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes). *Canadian Journal Botany*, 73(1), S25–S32. <https://doi.org/10.1139/b95-221>
- Nadeem, S. M., Khan, M. Y., Waqas, M. R., Binyamin, R., Akhtar, S., y Zahir, Z. A. (2017). *Arbuscular Mycorrhizas: An Overview*. In Q.-S. Wu (Ed.), *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants* (pp. 1–24). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4115-0_1
- Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., y Babalola, O. O. (2017). Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(11), 197. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>
- Pathak, D., Lone, R., y Koul, K. K. (2017). *Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Association in Potato (Solanum tuberosum L.): A Brief Review BT - Probiotics and Plant Health* (V. Kumar, M. Kumar, S. Sharma, y R. Prasad (eds.); pp. 401–420). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2_18
- Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., y Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733–1740. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>
- R Core Team. (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rad, A. K., Zarei, M., Astaikina, A., Streletskii, R., y Etesami, H. (2022). Chapter 1 - Effects of microbial inoculants on growth, yield, and fruit quality under

- stress conditions. In M. Seymen, E. S. Kurtar, C. Erdinc, y A. Kumar (Eds.), *Sustainable Horticulture* (pp. 1–38). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91861-9.00014-8>
- Ramadan, M. F. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. *Food Research International*, 44(7), 1830–1836. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.042>
- Ramadan, M. F. (2020). Bioactive phytochemicals of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Bioactive Compounds in Underutilized Fruits and Nuts*, 75–90. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30182-8_3
- Ramírez Gómez, M. M., Pérez Moncada, U. A., Serralde-Ordóñez, D. P., y Peñaranda Rolón, A. M. (2016). *Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on vascular wilt control caused by Fusarium oxysporum in cape gooseberry plantlets*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/22120>
- Schubert, R., Werner, S., Cirka, H., Rödel, P., Moya, Y. T., Mock, H. P., Hutter, I., Kunze, G., y Hause, B. (2020). Effects of arbuscular mycorrhization on fruit quality in industrialized tomato production. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijms21197029>
- Schüßler, A., y Walker, C. (2011). 7 Evolution of the ‘Plant-Symbiotic’ Fungal Phylum, Glomeromycota BT - *Evolution of Fungi and Fungal-Like Organisms* (S. Pöggeler y J. Wöstemeyer (eds.); pp. 163–185). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19974-5_7
- Sieverding, E., Da Silva, G. A., Berndt, R., y Oehl, F. (2014). *Rhizoglosum*, a new genus of the Glomeraceae. *Mycotaxon*, 129(2), 373–386. <https://doi.org/10.5248/129.373>
- Simbaqueba, J., Catanzariti, A., González, C., y Jones, D. A. (2018). Evidence for horizontal gene transfer and separation of effector recognition from effector function revealed by analysis of effector genes shared between cape gooseberry- and tomato-infecting formae speciales of *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology*, 19(10), 2302–2318. <https://doi.org/10.1111/mpp.12700>
- Wei, T., Simko, V., Levy, M., Xie, Y., Jin, Y., y Zemla, J. (2017). R package “corrplot”: Visualization of a Correlation Matrix. *Statistician*, 56, 316–324. <https://cran.r-project.org/package=corrplot>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>

AGROPECUARIA

Wilches-Ortiz, W. A., Ramírez Gómez, M. M., Méndez Reyes, L. M., Pérez Moncada, U. A., Serralde Ordoñez, D. P., y Peñaranda rolon, A. M. (2022). *Uso de Micorrizas Arbusculares en dos variedades de caña de azúcar para producción de panela en Suaita-Santander, Colombia*. 9, 1–14. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3802>