



EFFECTO DEL ACOLCHADO PLÁSTICO Y LOMBRICOMPOSTA SOBRE LA EFICIENCIA DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN *Cucurbita pepo* L. †

[EFFECT OF PLASTIC PADDING AND VERMICOMPOST ON THE EFFICIENCY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN *Cucurbita pepo* L.]

Liliana Lara-Capistrán^{1,2}, José Leonardo Ledea-Rodríguez³,
Ramón Zulueta-Rodríguez², Graciela Dolores Ávila-Quezada⁴,
Fernando C. Gómez-Merino⁵ and Luis Guillermo Hernandez-Montiel^{6*}

¹Centro de Investigaciones Atmosféricas y de Ecología, Universidad Popular Autónoma de Veracruz, Guillermo Prieto #8, Col. 2 de Abril, Xalapa-Enriquez, Veracruz, C.P. 90030, México.

²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Lomas del Estadio S/N, Col. Zona Universitaria, Xalapa, Veracruz, C.P. 91000, México.

³Independent Research. Los Encinos Edif. 133 Apto. 404, Col. Solidaridad 23090, La Paz, B.C.S, Mexico.

⁴Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Campus 1, C. Escorza 900, Col Centro, Chihuahua, C.P. 31000, México.

⁵Colegio de Postgraduados, Carret. Córdoba-Veracruz km 348, Amatlán de Los Reyes, Veracruz, C.P. 94946, México.

⁶Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, km 1, Carret. A San Juan de la Costa "El Comitan", La Paz, Baja California Sur, C.P. 23205, México. Email: lhernandez@cibnor.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The vermicompost provides nutrients and increases the biological activity of the soil, while the mulch provides humidity and regulates the temperature by modeling its biological activity, and influences the morphology of the plants, however, studies on the effects of use are scarce. combination of vermicompost and padding in mycorrhizal functionality. **Objective:** To evaluate the effect of plastic mulch and vermicompost on the colonizing potential of arbuscular mycorrhizal fungi in Italian squash (*Cucurbita pepo* L. cv. 'Grey Zucchini') during winter-spring (W-S) and autumn-summer (A-S) cycles, in the field. **Methodology:** The study was developed in a block design of fixed effects in factorial arrangement with three repetitions to know the effect of the second-degree interaction between the factors: padding color, climatic period and fertilization variant on the colonizing activity of AMF and morphology foliar of *C. pepo*. A principal component analysis (PCA) was developed to know the contribution and relationship of the variables of chemical composition of the soil and vermicompost within each climatic period, on the colonizing activity of AMF in a cultivation system with padding. **Results:** The PCA showed in the W-S period effects due to the use of mulch in colonization by arbuscules (-0.84), while the contributions of vermicompost favored colonization by hyphae (0.95). In A-S, the colonization by hyphae was affected (-0.82) by the plastic padding, but the use of vermicompost, favored the colonization by vesicles (0.87) and arbuscules (0.97). **Implications:** The present study contributes to a better understanding of the mulch-activity relationship of AMF and mulch-crop under fertilization variants, being considered useful for the improvement of the production systems of *C. pepo* with the use of mulch and its effect on the biological performance of AMF. **Conclusions:** It is concluded that the effect of mulch on the biological activity of AMF varies by the climatic season in which it is used, likewise the use of mulch in A-S does not favor the biological activity of AMF, nor foliar development of the *C. pepo*.

Key words: Color of plastic padding; AMF, mycorrhizal colonization; propagules.

RESUMEN

Antecedentes: La lombricomposta aporta nutrientes e incrementa la actividad biológica del suelo, mientras que el acolchado provee humedad y regula la temperatura modelando su actividad biológica, e influye en la morfología de las plantas, sin embargo, son escasos los estudios sobre los efectos del uso combinado de la lombricomposta y acolchado en la funcionalidad micorrízica. **Objetivo:** Evaluar el efecto del acolchado plástico y lombricomposta sobre

† Submitted June 8, 2021 – Accepted October 18, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

el potencial colonizador de hongos micorrízicos arbusculares en calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L. cv. 'Grey Zucchini') durante los ciclos invierno-primavera (I-P) y otoño-verano (O-V), en campo. **Metodología:** El estudio se desarrolló en un diseño de bloques de efectos fijos en arreglo factorial con tres repeticiones para conocer el efecto de la interacción de segundo grado entre los factores: color de acolchado, período climático y variante de fertilización en la actividad colonizadora de HMA y morfología foliar de *C. pepo*. Se desarrolló un análisis de componentes principales (ACP) para conocer el aporte y relación de las variables de composición química del suelo y lombricomposta dentro de cada período climático, sobre la actividad colonizadora de los HMA en un sistema de cultivo con acolchado. **Resultados:** El ACP mostró en el período I-P efectos por el uso de acolchado en la colonización por arbusculos (-0.84), mientras que, los aportes de la lombricomposta favorecieron la colonización por hifas (0.95). En O-V la colonización por hifas se afectó (-0.82) por el acolchado plástico, pero el uso de lombricomposta favoreció la colonización por vesículas (0.87) y arbusculos (0.97). **Implicaciones:** El presente estudio contribuye a una mejor comprensión sobre la relación acolchado-actividad de HMA y acolchado-cultivo bajo variantes de fertilización, considerándose de utilidad para la mejora de los sistemas de producción de *C. pepo* con el uso de acolchado y su efecto en el desempeño biológico de los HMA. **Conclusiones:** Se concluye que el efecto del acolchado sobre la actividad biológica de los HMA varía por la época climática en el que este se utilice, así mismo el uso de acolchado en O-V no favorece la actividad biológica de los HMA, ni desarrollo foliar del cultivo de *C. pepo*. **Palabras clave:** Color del acolchado plástico; HMA; colonización micorrízica; propágulos.

INTRODUCCIÓN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) pertenecen al *Phylum Glomeromycota* y son considerados como el grupo fúngico de mayor importancia en los ecosistemas terrestres por su simbiosis con el 90% de las raíces de las plantas vasculares (Liang *et al.*, 2021). Esta simbiosis denominada micorriza, proporciona múltiples beneficios, principalmente incrementa la absorción de agua y nutrientes del suelo hacia la planta (Kobae, 2019; Madrid-Delgado *et al.*, 2021), mitiga los efectos del estrés abiótico (Zou *et al.*, 2021), reduce los efectos de la salinidad del suelo (Parvin *et al.*, 2020), influye sobre los mecanismos adaptativos de estimulación-aclimatación respiratoria (de brotes y raíces) a cambios en la temperatura ambiente (Zhu *et al.*, 2017), incrementa la protección hacia fitopatógenos (Dowarah *et al.*, 2021), aumenta la tolerancia a daños por herbivoría (Formenti y Rasmann, 2019), entre otros.

La funcionalidad micorrízica para aprovechar con eficiencia los beneficios de la simbiosis planta-endofito (Pickles *et al.*, 2020) esta condicionada a la capacidad de los propágulos (fragmentos de raíces colonizadas, esporas, micelio e hifas) de los HMA de colonizar las raíces de las plantas, sin embargo, la eficacia de los HMA depende de diversos factores ambientales y antropogénicos (Goss *et al.*, 2017). Las prácticas intensivas de manejo agrícola que incluyen componentes químicos y orgánicos influyen sobre la eficiencia de los HMA en las plantas (Field *et al.*, 2020; Koozehgar *et al.*, 2020).

El uso de fertilizantes y plaguicidas químicos, y diversas prácticas agrícolas (labranza y barbecho del suelo, acolchado plástico, rotación de cultivos, entre

otros) afectan el establecimiento de la simbiosis micorrízica y reducen la condición competitiva de los microorganismos en el suelo (Balderas-Alba *et al.*, 2019; Luna *et al.*, 2020), disminuyendo los efectos benéficos de los HMA en las plantas (Qin *et al.*, 2017). Una práctica común en el manejo de los cultivos es el uso del acolchado plástico de diversos colores, el cual, sirve para mantener la humedad del suelo, controlar malezas y plagas, regula la temperatura del suelo y eficientiza el riego por goteo (Chen *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019), sin embargo, afecta la abundancia y diversidad de los HMA al influir en el microclima del suelo (Dong *et al.*, 2017; Fu *et al.*, 2019) disminuyendo los efectos sobre el crecimiento y productividad de las plantas (Lara-Capistrán *et al.*, 2021).

Por otra parte, dentro de los componentes orgánicos más utilizados en el manejo de los cultivos está la lombricomposta (Huang *et al.*, 2020), la cual, aporta los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas (nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, manganeso, zinc, cobre, yodo, molibdeno, entre otros), mejora la porosidad, aireación y agregación del suelo, presenta una alta retención de agua (Zhang *et al.*, 2020; Baghbani-Arani *et al.*, 2021) y aumenta la actividad microbiana en el suelo, principalmente de bacterias y de HMA (Alkobaisy *et al.*, 2020).

El uso del acolchado plástico y la aplicación de lombricomposta son prácticas comúnmente utilizadas en la agricultura, sin embargo, son escasos los estudios sobre sus efectos en la funcionalidad micorrízica (Pérez-Gómez *et al.*, 2017; Liang *et al.*, 2018). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del acolchado plástico y lombricomposta sobre la eficiencia de hongos micorrízicos arbusculares en calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L.) en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se realizó en una parcela de suelo Migajón-arenoso, pH=6.3; NH_4NO_3^- =1; $\text{P}_{\text{extraíble}}$ =571 ppm; K =230 mg/kg⁻¹; 3.9% MO, sobre el que se cultivó *Cucurbita pepo* cv. Grey Zucchini de Sakata® Seed a cielo abierto. El área experimental se ubica en 19°29' latitud norte y 96°58' longitud oeste y una altitud de 1,600 msnm en Xalapa, Veracruz, México.

El estudio se desarrolló durante los ciclos invierno-primavera (I-P) y otoño-verano (O-V). El clima de la región es de transición entre clima templado C(fm)w^b(i^{**})g y clima semicálido (A)C(fm)w^b(i^{**})g con lluvias presentes durante todo el año (principalmente en verano), y una temperatura media anual entre 12 y 18°C (Soto *et al.*, 2001).

Tratamientos, diseño y variables experimentales

Se estableció un diseño de bloques al azar de efectos fijos en arreglo factorial con tres repeticiones, se consideraron como factores: estación climática (I-P y O-V), sustrato (lombricomposta), color de acolchado (blanco, rojo y negro), y su interacción (2x2x3), para un total de ocho tratamientos (SA = suelo sin acolchado y sin lombricomposta, L = lombricomposta, APB = acolchado plástico blanco, APB+L = acolchado plástico blanco más lombricomposta, APR = acolchado plástico rojo, APR+L = acolchado plástico rojo más lombricomposta, APN = acolchado plástico negro y APN+L = acolchado plástico negro más lombricomposta).

Manejo del cultivo

Se utilizó acolchado plástico InterGro, Inc. de colores (negro, blanco y rojo de calibre 90) de baja densidad (con una capa de aluminio y LDPE Monocapa o co-extrusión de polietileno) saturación hídrica-media y con protección contra UV. Se utilizó lombricomposta TerraNova® cuyo contenido en base seca según el fabricante es de 84.51% de MO; pH:7.40; fósforo orgánico: 0.108%, nitrógeno: 3.997%; potasio: 2.140%; calcio:1.72%; magnesio:0.80%; relación C/N: 12.219%; ácidos fúlvicos:10.595% y ácidos húmicos: 15.105%.

Las plantas fueron fertilizadas con 30 g de lombricomposta al momento del trasplante y en los tratamientos sin el abono orgánico, las plantas fueron fertilizadas con urea (CO[NH₂]₂), DAP (fosfato

diamónico, NP 18-46) y triple 17 (NPK 17-17-17) a los ocho días después del trasplante (DDT) a razón de 26 g-planta⁻¹. La segunda fertilización química se realizó a los 20 DDT con la misma dosis de agroquímico. Cada siete DDT, se aplicaron insecticidas naturales (extracto de neem y jabón potásico).

Caracterización física y química del suelo

Se colectó una muestra compuesta (conformada por 15 submuestras) de cada tratamiento en cada ciclo del cultivo, las cuales, se trasladaron al Laboratorio de Fertilidad y Nutrición Vegetal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Cotaxtla, Veracruz, México para determinar de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMANART, 2000); textura (Bouyoucos), pH (potenciómetro), porcentaje de materia orgánica (Walkley y Black), nitrógeno inorgánico (Micro-Kjeldahl), potasio (acetato de amonio) y fósforo (Bray P1) (Tabla 1).

Colonización micorrízica

De cada tratamiento se colectaron 10 muestras de 50 g de suelo rizosférico de *C. pepo*, y raíces a 15 cm de profundidad y 10 cm de distancia de la base del tallo de treinta plantas por tratamiento en ambos ciclos de cultivo (I-P y V-O). Las raíces fueron fijadas en FAA (100 mL formaldehído, 50 mL ácido acético, 500 mL alcohol en 350 mL H₂O) y posteriormente se realizó su clareo y tinción de acuerdo con la metodología de Phillips y Hayman (1970). Se fijaron en portaobjetos en porciones de 1 cm y se determinó con un microscopio compuesto (100×), el porcentaje de colonización total en hifas, vesículas y arbusculos, siguiendo la técnica de Giovanetti y Mosse (1980).

Potencial micorrízico (PM)

Para la determinación del PM en las muestras colectadas como estimación de la colonización micorrízica, se desarrollaron diluciones seriadas de los suelos de estudio tamizados más arena en proporción 1:9 (v/v), con diluciones preparadas desde 10⁻⁰ (asignada al suelo sin diluir) hasta 10⁻⁵. La evaluación incluyó cinco repeticiones por dilución y tratamiento, con una planta de maíz como unidad experimental en cada repetición. Transcurridas seis semanas, se calculó el PM de acuerdo con la Tabla VIII de Fisher y Yates (1965) y la fórmula propuesta por Sieverding (1991).

Tabla 1. Análisis fisicoquímico del suelo cultivado con calabaza italiana durante el ciclo I-P y V-O.

Parámetro	Tratamiento							
	SA*	L	APB	APB+L	APR	APR+L	APN	APN+L
	Ciclo de cultivo							
I-P								
pH	6.2	5.7	5.1	4.8	4.8	5.8	4.8	5.8
Nitrógeno inorgánico (NH ₄ +NO ₃ -)	1.48	1.81	1.97	1.9	1.72	2.3	1.9	1.82
Fósforo (ppm)	571	598	652	721	589	617	637	719
Potasio (mg·kg ⁻¹)	461	487	517	572	433	497	521	489
Materia orgánica (%)	1.2	1.7	1.5	1.8	1.9	2.1	1.7	1.7
O-V								
pH	6.6	5.7	6.4	6.1	6.0	6.6	5.5	5.5
Nitrógeno inorgánico (NH ₄ +NO ₃ -)	0.57	0.57	0.53	0.55	0.53	0.55	0.55	0.54
Fósforo (ppm)	ND [‡]	ND	ND	ND	ND	4.5	ND	4.6
Potasio (mg·kg ⁻¹)	0.41	0.60	2.2	0.69	0.25	0.80	0.35	0.81
Materia orgánica (%)	6.88	11.43	0.48	11.43	7.88	11.43	6.98	11.43
Textura	Migajón-arenosa							

[‡]ND = no detectable

*Tratamiento: SA = suelo sin acolchado y sin lombricomposta, L = lombricomposta, APB = acolchado plástico blanco, APB+L = acolchado plástico blanco más lombricomposta, APR = acolchado plástico rojo, APR+L = acolchado plástico rojo más lombricomposta, APN = acolchado plástico negro y APN+L = acolchado plástico negro más lombricomposta.

Mediciones en las plantas

Las plantas se mantuvieron a cielo abierto por 37 días y al final se cuantificó; índice de verdor (Í_{crc} = índice de contenido relativo de clorofila cuantificado de 0 a 999 nm con un medidor FieldScout CM 1000), área foliar (cm²), número de botones (U), diámetro de tallo (mm) y número de hojas (U).

Análisis estadístico

El procedimiento estadístico se desarrolló mediante el software Statistics v. 12.0. Se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante los criterios de Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1951) y Bartlett (1937), respectivamente, las variables porcentaje de colonización por hifas, vesículas y arbusculos fueron transformadas mediante $Arcosin = \sqrt{\frac{x}{100}}$, e índice de verdor y área foliar mediante $\log(x)$ y $\log(x+2)$, en roden, y $\sqrt{x+3.5}$ para número de botones, de hojas y diámetro del tallo.

Se realizaron análisis de varianza multifactorial y las medias se compararon según el criterio de Tukey. El modelo matemático empleado en cada uno de los ANOVAs fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + EC_j + CA_k + (S \times EC)_{ij} + (S \times CA)_{ik} + (EC \times CA)_{jk} + (S \times EC \times CA)_{ijk} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} = variable respuesta; μ = constante común para todas las observaciones; S_i = efecto del i -ésimo sustrato ($j=1, 2$); EC_j = efecto de la j -ésima estación climática ($k=1, \dots, 4$); CA_k = efecto de k -ésimo color del acolchado ($l=1, 2$); $S \times EC_{ij}$ = efecto combinado del i -ésimo sustrato en la j -ésima estación climática; $S \times AC_{ik}$ = efecto combinado del i -ésimo sustrato en el k -ésimo color de acolchado; $EC \times CA_{jk}$ = efecto combinado de la j -ésima estación climática en el k -ésimo color de acolchado; $S \times EC \times CA_{ijk}$ = efecto combinado del i -ésimo sustrato en la j -ésima estación climática del k -ésimo acolchado; e_{ijk} = error aleatorio $\sim N(0, \sigma^2e)$.

Para definir la relación del acolchado en la colonización de los HMA a partir de la composición química del suelo y lombricomposta, se utilizó la técnica multivariante de componentes principales, se comprobaron los supuestos de correlación entre variables originales mediante la KMO (Kaiser-Meyer-Olki) (Kaiser, 1974) y prueba de esfericidad de Bartlett (Bartlett, 1937). Se extrajeron los factores mediante una matriz de correlación basada en autovalor, y para la rotación de la base de datos se empleó el método Varimax con normalizada de Kaiser para minimizar los factores que definen el modelo (Torres *et al.*, 1993).

RESULTADOS

Se analizó mediante ACP la colonización micorrízica, variables químicas del suelo, lombricomposta y acolchado plástico dentro de cada período climático e inter-período (Figura 1). Se observó en I-P (Figura 1A), que el primer componente estuvo caracterizado por la fertilidad aportada por la lombricomposta e indicadores biológicos de los HMA, logrando explicar el 30.89% de la varianza acumulada. El factor acolchado convergió negativamente dentro del período, indicando afectaciones en la colonización por arbusculos de los HMA y disponibilidad de NH_4NO_3 , sin embargo, los valores de MO y P_{org} de la lombricomposta sugirieron, mediante una convergencia positiva, su aporte a la fertilidad del suelo.

El segundo componente que explicó el 31.79% de la varianza para un acumulado de 64.68%, relacionó positivamente el aporte mineral (P , K) y relación C/N de la lombricomposta con la colonización por hifas. Mientras que el tercer componente con un carácter de aporte a la fertilidad mineral por la lombricomposta indicó que la disponibilidad de nitrógeno, calcio y magnesio total se ve favorecida por el período climático y efectos del acolchado (Figura 1A). En su conjunto contribuyeron a explicar con un 24.24% el 88.92% de la varianza explicada acumulada. Variables como pH, P, K y MO del suelo, y L_{pH} , L_{ACf} , L_{ACh} de la lombricomposta en conjunto con la colonización por vesículas recibieron puntajes inferiores a 0.70 dentro de la conformación de los componentes, por lo que fueron eliminadas del análisis al afectar el KMO. Este indicador sugiere un valor cercano a uno, para expresar la incorrelación de las

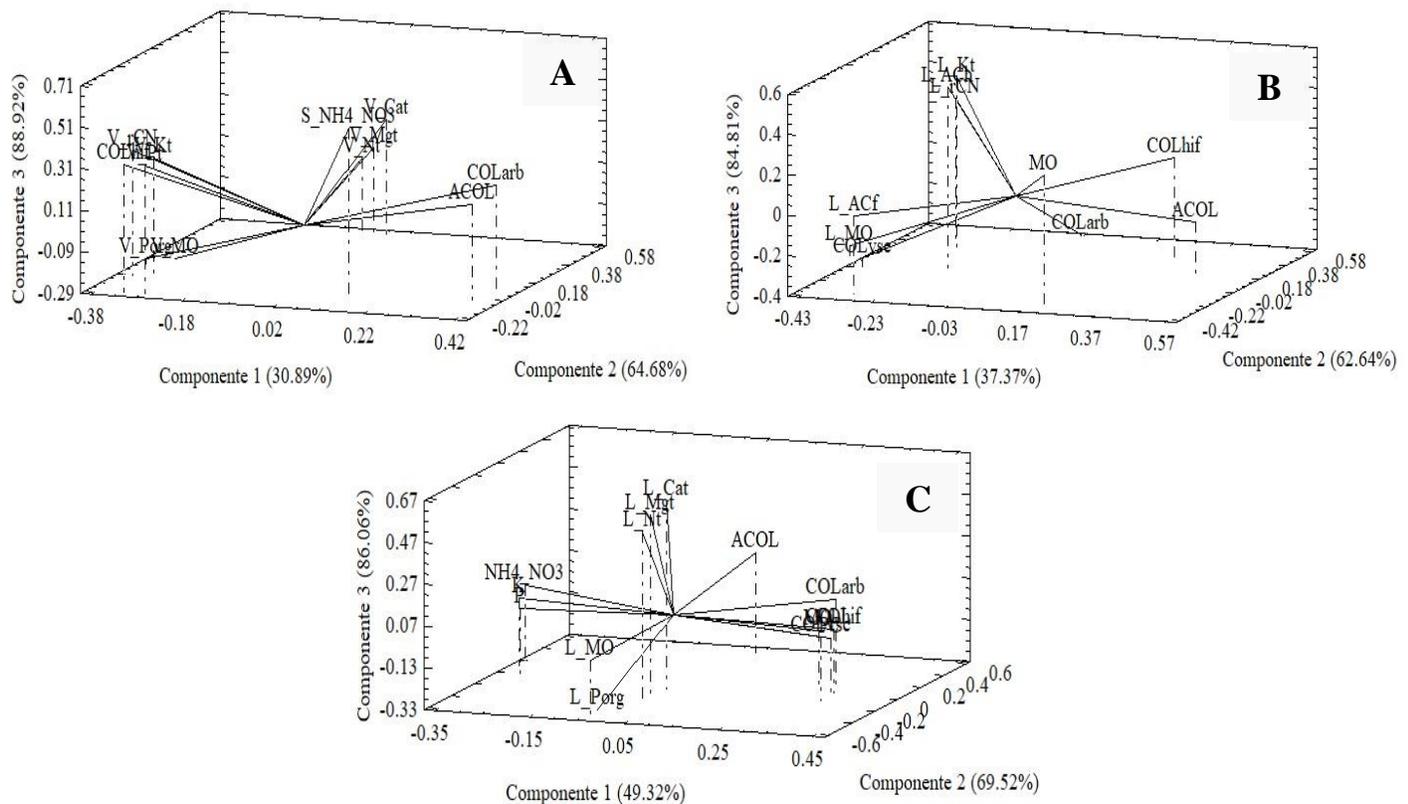


Figura 1. Pesos de componentes de colonización micorrízica, variables químicas del suelo y acolchado en I-P (A), V-O (B) e interperíodos climáticos (C). Experimento con calabaza italiana cv. “Grey Zucchini” (Peso de componentes y componentes principales se detallan en anexos 1, 2 y 3).

AB: Abundancia; RQ: Riqueza; COL_{hif} : Colonización de hifas; COL_{vsc} : Colonización de vesículas; COL_{Arb} : Colonización de arbusculos; ACOL : Acolchado; pH: pH suelo; NH_4NO_3 : Nitrato de amonio en suelo; K: Potasio en suelo; MO: Materia orgánica en suelo; L_{MO} : Materia orgánica de la lombricomposta; L_{pH} : pH del lombricomposta; V_{Porg} : Fósforo orgánico del lombricomposta; L_{Pt} : Fósforo total del lombricomposta; L_{Nt} : Nitrógeno total de la lombricomposta; L_{Kt} : Potasio total del lombricomposta; L_{Cat} : Calcio total del lombricomposta; L_{Mgt} : Magnesio total del lombricomposta; L_{ACf} : Ácido fúlvico de la lombricomposta; ACh : Ácido húmico de la lombricomposta.

variables dentro del ACP, por lo que, el grupo de variables relacionados no son de considerar en estudios que apliquen para la relación con la actividad biológica de los HMA en condiciones y/o suelos similares al del presente estudio.

En el período O-V (Figura 1B) identificado como cálido dentro de la caracterización climática de la región, modificó el aporte del grupo de variables iniciales para la formación de los componentes, señalándose las variables pH; P; K; NH_4NO_3^- del suelo y L_{pH} ; $L_{\text{P}_{\text{org}}}$; L_{N_i} ; L_{Ca_i} ; L_{Mg_t} de poco peso (<0.70) dentro de las componentes y por tanto afectado del índice KMO. En la conformación de los componentes, el primero señaló que el acolchado continuaría ejerciendo un efecto negativo sobre la actividad biológica de los HMA, con precisión en la colonización por hifas, mientras que potenciaría el desarrollo saprófito de los HMA a partir de la colonización por vesículas, lo cual se vería potenciado por la disponibilidad de MO y ácido fúlvico de la lombricomposta, lo antes mencionado contribuyó en un 37.37% a la explicación de la varianza acumulada. La segunda componente, por su parte, agrupó de forma positiva parte del perfil químico de la lombricomposta (L_{ACh} , L_{rCN} y L_{K_i}), contribuyendo en 25.26% a que se explicara el 62.64% de la varianza acumulada.

La tercera componente señaló una convergencia positiva para la colonización por arbusculos, y disponibilidad de MO del suelo para complementar con un 22.17% a que se explicara el 84.81% de la varianza acumulada del análisis. Al condensar la variabilidad diferencial de los períodos I-P y O-V en un período climático mediante ACP (Figura 1C), se pudo observar que las variables, pH del suelo y de la lombricomposta, así como fósforo total, potasio total, ácidos fúlvicos y húmicos de la lombricomposta, no tuvieron aportes importantes en función del peso de la componente afectando la K y MO. En el primer componente se expresó de forma positiva que el período climático tiene una gran influencia sobre la actividad biológica de los HMA (colonización, hifas, vesículas y arbusculos), mientras que afecta disponibilidad de NH_4NO_3^- , P, K y MO contenidos en el suelo, posibilitando el 50.79% de la expresión de la varianza acumulada. Mientras que en el segundo componente explicó el 20.30% para 71.10% de la varianza acumulada, relacionando en convergencia negativa la variante de cultivo (acolchado), con la disponibilidad de MO, fósforo orgánico y relación C/N de la lombricomposta, y la tercera componente sugirió mediante el aporte de 14.78% que las variables químicas de la lombricomposta (nitrógeno, calcio y

magnesio total) no se afectarán por el efecto del período climático para un total de 85.88% de la varianza acumulada (Figura 1C).

Al cuantificar los valores de colonización de HMA mediante vesículas, micelio y arbusculos (Figura 2), se pudo constatar mediante ANOVA factorial (interacción entre color de acolchado, tipo de sustrato y período climático) (Figura 3), afectaciones en la capacidad de colonización de los HMA mediante hifas (Figura 3A) y vesículas (Figura 3B) en *C. pepo*.

La presencia de hifas en las raíces se vio disminuida significativamente ($P \leq 0.001$) con el acolchado plástico de colores en suelo dentro del período I-P. Aumentó su porcentaje cuando se aplicó la lombricomposta en las plantas SA, el menor valor de colonización se cuantificó en las plantas con APN en el ciclo de cultivo I-P y V-O con el uso de suelo, mientras que con lombricomposta fue en I-P. En relación con el porcentaje de vesículas en las raíces de calabaza italiana, el contenido fue significativamente ($P \leq 0.001$) mayor en las plantas SA y sin lombricomposta (Figura 3B).

Se contabilizaron los porcentajes de colonización por vesículas más bajos en las raíces de las plantas sobre APN con y sin lombricomposta durante el ciclo de cultivo O-V. La colonización por arbusculos resultó significativa cuando interactuó el período climático con el tipo de acolchado (Figura 4).

En el análisis del número de propágulos micorrízicos (NMP/100 g de suelo) provenientes de suelos con acolchado y las variantes con lombricomposta (Tabla 2), se observó que para el ciclo O-V se presentaron valores más altos a diferencia del ciclo I-P. El tratamiento de APR+L presentó el mayor NMP en los dos ciclos de cultivo (O-V e I-P), seguido de APB+L; y el APN en las variantes con suelo y con lombricomposta presentó los valores más bajos de colonización en ambos ciclos de cultivo.

Los criterios anteriormente comentados en función del color del acolchado en la colonización micorrízica, tuvieron una influencia determinante en la morfofisiología de la planta, la cual fue analizada mediante un arreglo factorial entre período climático, tipo de fertilización y color de acolchado (Tabla 3). El uso de APB combinado con lombricomposta o suelo en el período I-P favoreció la expresión del índice verde, diferenciándose del resto de los promedios ($P \leq 0.001$), el valor significativamente ($P \leq 0.001$) inferior de obtuvo con el uso de APN en el período O-V sobre suelo.

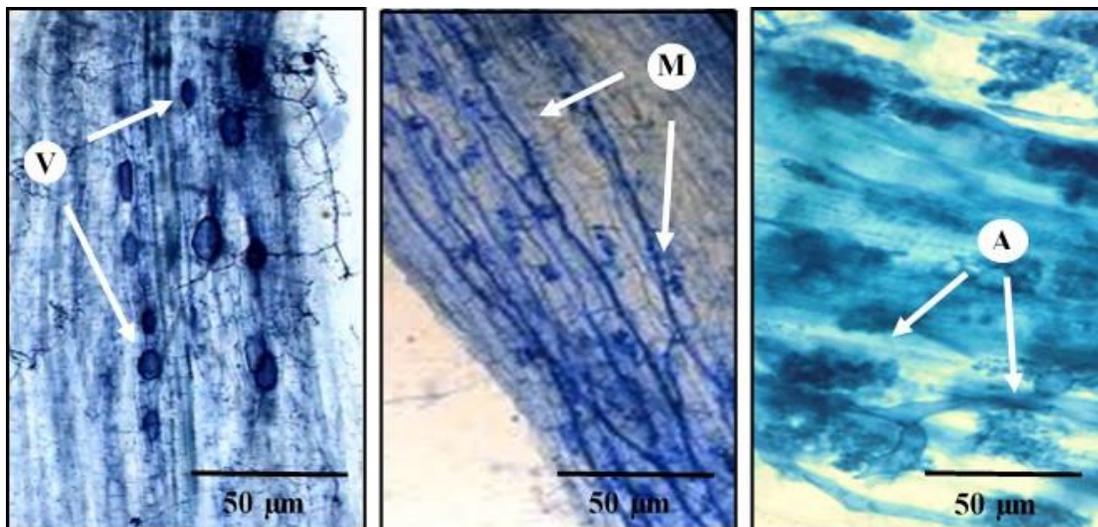


Figura 2. Colonización de HMA en raíces de *C. pepo* cv. “Grey Zucchini”. V= vesículas, M= micelio y A= arbusculos.

En el número de botones, el valor significativamente ($P \leq 0.001$) superior se obtuvo en el tratamiento con lombricomposta y APB en el ciclo de cultivo I-P y el más bajo fue para las plantas en suelo sin acolchado (SA) en el ciclo de cultivo V-O. Para el número de hojas, se obtuvo los valores ($P \leq 0.004$) más altos con el uso de lombricomposta y APR en los ciclos de cultivo I-P y V-O. Los valores significativamente inferiores se observaron sobre suelo SA y suelo más APB en el ciclo de cultivo V-O. Para el área foliar y diámetro del tallo la interacción en estudio no reflejó diferencias significativas para $P=0.67$ y $P=0.90$, respectivamente.

DISCUSIÓN

La combinación de temperatura y humedad por el efecto del acolchado modifica las tasas de descomposición y/o mineralización de elementos químicos del suelo y agregados (Bi *et al.*, 2018), lo cual tiene efectos positivos en el incremento de la longitud de las hifas de los HMA (Ren *et al.*, 2021), análisis que coinciden con lo obtenido en el presente estudio. La disponibilidad de NH_4 y NO_3^- son considerados precursores de la actividad biológica de los HMA (Gaur *et al.*, 1973), sin embargo, fue afectada por el efecto del acolchado, lo cual, pudo estar relacionado con la limitada colonización efectiva, expresada en la colonización por arbusculos al manifestarse esta en una convergencia negativa. En este sentido, se podría considerar que el contenido de MO (84.5%) aportado por la lombricomposta, predispuso una acelerada tasa de descomposición que se incrementó por los efectos del acolchado modificando el pH, lo cual con intervención de bacterias solubilizadoras de fosfatos,

pueden haber influido que el P_{org} de la lombricomposta se mineralizara a ortofosfatos, quedando disponible para los HMA y estos desarrollar la colonización de hifas (Shamari *et al.*, 2021).

Los compuestos minerales disponibles del suelo constituyen la materia prima fundamental para una representación abundante de los HMA, de esta forma los minerales agrupados en la segunda componente (rCN , P_t y K_t) del período I-P contribuyen al desarrollo de la colonización por hifas debido a las diferentes formas de presentación de los compuestos intermedios y finales del metabolismo del suelo para los HMA (Gaur *et al.*, 1973), así mismo, la presentación de P_t (orgánico e inorgánico) contribuye fundamentalmente en el desarrollo de redes de hifas, mientras que el papel de K_t y su efecto en los HMA aún no está descrito, tampoco los mecanismos concretos mediante los cuales los HMA absorben, lixivian o metabolizan los diferentes compuestos minerales (He *et al.*, 2021), precisándose de estudios que complementen las formas de asimilación mineral y su efecto en la biología de los HMA.

Es importante mencionar que a pesar de poder considerarse elevado (571 ppm) el contenido de fósforo extraíble en el período I-P (Tabla 1), y que su reducción fue por acolchado, las hipótesis planteadas para explicar afectaciones en la colonización por altas concentraciones de fósforo en diversos cultivos como *Carica papaya* (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2012), no han sido posibles, ya que en otros estudios se han detectado especies nativas de HMA tolerantes a altos niveles de

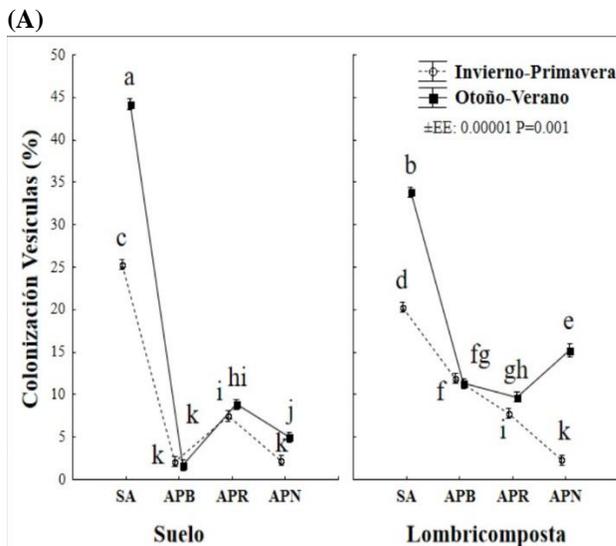
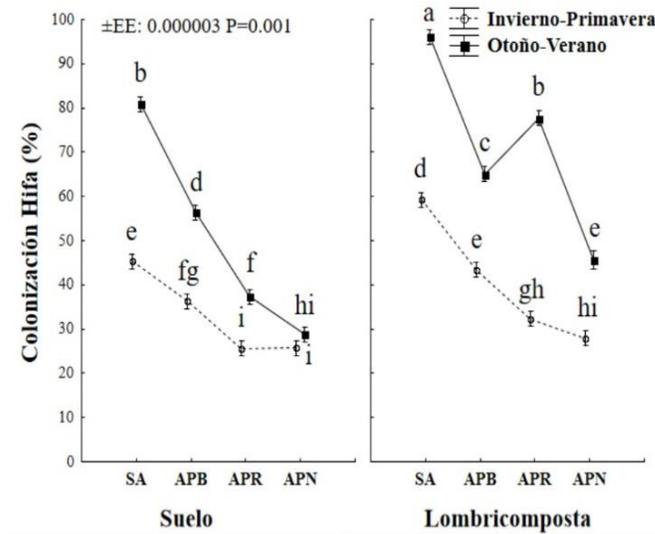


Figura 3. Interacción de estación climática, acolchado y tipo de sustrato en la colonización micorrízica por hifas (A) y vesículas (B) en raíces de calabaza italiana cv. “Grey Zucchini”. Superíndices con al menos una letra en común, no existen diferencias significativas para $P \leq 0.05$ según Tukey. La significación se alcanzó mediante la transformación $\text{Arcosin} = \sqrt{\frac{x}{100}}$ Líneas verticales indican la desviación estándar. SA: Sin acolchado (control); APB: Acolchado plástico blanco; APR: Acolchado plástico rojo; APN: Acolchado plástico negro.

P, como *Glomus manihotis* (*Rhizoglomus manihotis*) (Sieverding y Howeler, 1985), pero ciertamente con simbiosis mutualista débil (Vosnjak *et al.*, 2021), por lo que se ha considerado en los estudios que se desarrollaron para dilucidar el efecto del P en la colonización de los HMA, es que las altas concentraciones si pueden llegar a afectar la colonización, pero aún incierto su efecto en la diversidad de los HMA (Gosling *et al.*, 2013).

La utilización de acolchado en el período O-V modificó sustancialmente el metabolismo del suelo, y con ello la actividad biológica de los HMA. El período climático condicionó la degradación de L_ACf y L_MO, dos fuentes ricas en carbono (Dores-Silva *et al.*, 2018), estableciendo un comportamiento saprófito de los HMA a partir de la colonización por vesículas. Cozzolino *et al.* (2016) señalaron que en un medio rico en carbono (C) se desarrollará este tipo de colonización, aunque Klironomos y Hart (2002) señalaron que los HMA poseen diferentes estrategias

de colonización y selectividad por los componentes del suelo, aunque las diferencias en el tipo de colonización no están descritas complementamente, es posible que la disponibilidad de carbono, condicionara a las poblaciones predominantes de HMA en una forma de colonización por vesículas, aspecto que no se abordó en el presente estudio.

En base a lo observado, se puede considerar que la forma de colonización influenciada por el acolchado dentro del período climático, afectó la sincronía de los HMA y el componente químico del suelo (Liu *et al.*, 2012). La disponibilidad de fuentes de carbono (rC/N;

L_ACh) y recursos minerales (L_K_t), influyeron en que se manifestara de forma mayoritaria la colonización a partir de vesículas, y en menor grado por arbusculos, lo cual, puede estar relacionado con las reconocidas características de los HMA para el desarrollo de sus funciones (crecimiento, desarrollo y colonización) en un amplio umbral de condiciones (temperatura, humedad, nutrientes) (Bao *et al.*, 2020), dependientes también de las excreciones radiculares de polisacárido (Madrid-Delgado *et al.*, 2021), considerándose además, según los resultados expuestos, gran capacidad resiliente para adaptar sus actividades biológicas a las condiciones en las que se

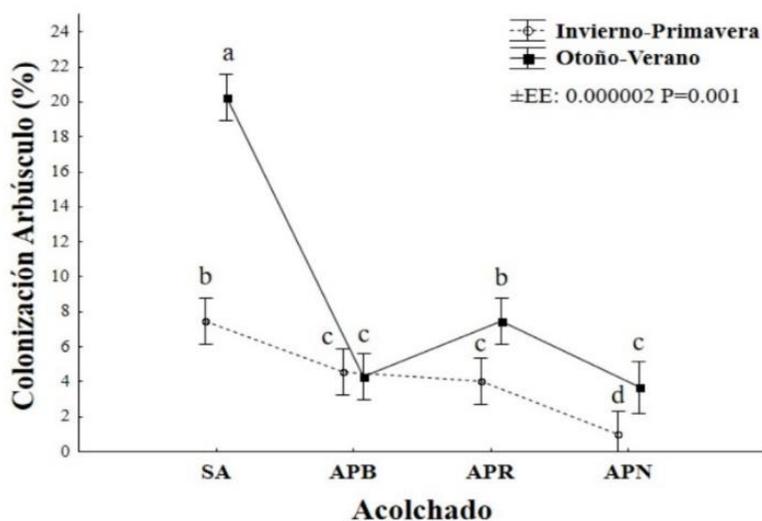


Figura 4. Interacción de estación climática y acolchado en la colonización micorrízica por arbusculos en raíces de calabaza italiana cv. “Grey Zucchini”. Superíndices con al menos una letra en común, no existen diferencias significativas para $P \leq 0.05$ según Tukey. La significación se alcanzó mediante la transformación $\text{Arcosin} = \sqrt{\frac{x}{100}}$. Líneas verticales indican la desviación estándar. SA: Sin acolchado (control); APB: Acolchado plástico blanco; APR: Acolchado plástico rojo; APN: Acolchado plástico negro.

Tabla 2. Número más probable de propágulos infectivos provenientes de suelos acolchados con plásticos de colores y lombricomposta, cultivados con calabaza italiana.

Tratamientos	NMP/100 g de suelo (95 % Intervalos de confianza*) (Ciclos de cultivo 2016)	
	Verano-Otoño (V-O)	Invierno-Primavera (I-P)
T	$\Omega = 4.55$ (2.88-9.22)	$\Omega = 8.96$ (4.19-19.14)
L	$\Omega = 8.88$ (0.72-1.20)	$\Omega = 11.88$ (0.74-1.40)
APB	$\Omega = 26.30$ (13.18-55.15)	$\Omega = 50.40$ (25.19-119.18)
APB+L	$\Omega = 51.98$ (21.00-120.43)	$\Omega = 104.88$ (55.00-220.33)
APR	$\Omega = 39.13$ (18.21-58.22)	$\Omega = 69.33$ (30.44-116.99)
APR+L	$\Omega = 55.90$ (31.00-116.22)	$\Omega = 105.97$ (60.00-233.50)
APN	$\Omega = 0.99$ (0.55-1.55)	$\Omega = 1.6$ (1.0-2.4)
APN+L	$\Omega = 1.05$ (1.22-3.55)	$\Omega = 2.15$ (2.33-5.99)

*Determinado mediante las tablas de Fisher y Yates (1965).

Tabla 3. Uso del acolchado de diferentes colores en combinación con lombricomposta en dos períodos climáticos en la expresión morfológica de calabaza italiana.

Acolchado	Estación climática			
	I-P		O-V	
	Fertilización			
	Suelo	Lombricomposta	Suelo	Lombricomposta
¹Índice de verdor (Ícre)				
SA	225.353±7.88 ^{gh}	252.53±13.73 ^{e-g}	165.87±40.37 ^h	205.73±51.01 ⁱ
APB	357.40±2.70 ^{ab}	392.20±7.88 ^a	236.67±23.58 ^{f-h}	285.67±45.33 ^{c-e}
APR	305.57±2.80 ^{b-d}	323.36±1.72 ^{bc}	268.93±34.44 ^{d-g}	278±22.59 ^{c-f}
APN	287.13±16.61 ^{c-e}	294.07±5.03 ^{c-e}	142.27±30.91 ⁱ	268.67±57.33 ^{d-g}
±EE			0.04	
F			16.4	
P			0.001	
²Número de botones (U)				
SA	1.47±0.50 ^{hi}	3.53±0.72 ^{de}	0.87±0.50 ⁱ	1.60±1.20 ^{ghi}
APB	5.73±0.44 ^b	8.40±0.49 ^a	2.40±1.02 ^{f-h}	3.33±1.25 ^{d-f}
APR	4.29±0.45 ^{cd}	5.43±0.62 ^{bc}	2.57±0.98 ^{e-g}	2.57±1.12 ^{e-g}
APN	3.60±0.71 ^{de}	3.67±0.47 ^{de}	1.40±1.08 ^{hi}	1.60±0.88 ^{ghi}
±EE			0.05	
F			17.61	
P			0.001	
³Número de hojas (U)				
SA	12±1.51 ^{hi}	16.07±2.11 ^{efg}	10.87±2.03 ⁱ	14.93±1.98 ^{fg}
APB	14.53±1.67 ^{fgh}	24.60±3.34 ^{ab}	10.60±1.40 ⁱ	17.40±3.74 ^{def}
APR	22.21±2.27 ^{bc}	25.86±2.33 ^a	19.21±2.57 ^{cd}	27±4.47 ^a
APN	16.13±1.63 ^{efg}	18.20±1.42 ^{de}	13.40±0.88 ^{gh}	14±1.41 ^{gh}
±EE			0.04	
F			4.50	
P			0.004	
⁴Área Foliar (cm²)				
SA	627.99±194	976.20±311.2	648.85±106.96	822.87±158.94
APB	709.52±243.02	2491.48±15.30	549.52±167	1491.31±15.24
APR	1494.26±774.87	2733±521.25	1579.97±622.2	2504.43±776.08
APN	874.25±224.78	1137.45±186.07	747.58±200.88	1044.12±3030.38
±EE			0.03	
F			0.51	
P			0.67	
⁵Diámetro del tallo (mm)				
SA	10.76±2.73	12.67±1.01	10.13±1.78	11.60±1.31
APB	14.40±0.71	16.33±1.19	13.87±1.15	15.67±1.70
APR	14.29±1.22	14±0.73	13.71±1.33	14.07±1.10
APN	13.60±0.49	14±0.73	12.53±0.50	13.0±0.52
±EE			0.01	
F			0.2	
P			0.90	

Valores con al menos un superíndice en común, no difieren entre sí según Tukey para $P \leq 0.05$.

^{1,4}La significación se alcanzó mediante la transformación de los promedios a través de $\log(x)$ y $\log(x+2)$

^{2, 3,5}La significación se alcanzó mediante la transformación de los promedios a través de $\sqrt{x+3.5}$

encuentren y que predispone el uso del acolchado. La disponibilidad de compuestos de carbono y nitrógeno suministrados por la lombricomposta, permitieron mejorar la relación N/P en un beneficio para los HMA

con el desarrollo de sus estructuras (arbuscúlos) (Cozzolino *et al.*, 2016).

La actividad de colonización por hifas presentó afectaciones debido el período climático (O-V), para que esta se desarrolle es necesario disponibilidad de P en el medio, mineral aportado por el suelo y lombricomposta en el presente estudio, sin embargo, no aportó a la constitución de las componentes (<0.70), y puede estar relacionado con las modificaciones que promueve el acolchado en el medio, el cual, tiende a reducir su disponibilidad mediante movimientos descendentes y reducción de la fijación del mismo al suelo (Gaur y Mukherjee, 1980). El acolchado modificó drásticamente la composición química del suelo y modificación de los nutrimentos incorporados por la lombricomposta según las relaciones observadas, y estas modificaciones a su vez, la biología del suelo con énfasis en los HMA, por lo que, la química del suelo modifica la biología de los HMA, aspecto que concuerda con Lekberg *et al.* (2007) los cuales, mencionan que las propiedades del suelo influyen sobre la biología de los HMA.

Los HMA están afectados en sus actividades biológicas por las variaciones ambientales, incluso con el uso del acolchado se ven modificadas por la dinámica del metabolismo del suelo, como se pudo observar en el análisis dentro de cada período climático, sin embargo, solo aquellos HMA capaces de asimilar las modificaciones que promueve el uso del acolchado tanto en temperatura y humedad, como la química del suelo, que supone una restricción importante de elementos nitrogenados pero no de carbono, podrán tener una colonización eficiente (hifas y arbusculos).

La colonización por hifas y arbusculos de HMA son una expresión de efectividad de la simbiosis con la planta, y está sujeta a variaciones por las características químicas y físicas del suelo (Liu *et al.*, 2012) y a la interacción con el sistema radicular de la planta (Madrid-Delgado *et al.*, 2021); mientras que el acolchado está concebido para reducir estas variaciones en función de la economía en el uso del agua y regularización de la temperatura del suelo en beneficio al cultivo (Zhang *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020), tecnología que se ha especializado generando cubiertas de diferentes colores para aprovechar las diferentes longitudes de ondas absorbidas por las superficies de los acolchados, lo cual contribuye a un mayor control sobre las modificaciones de temperatura del suelo y aprovechamiento de la humedad, con la consecuente modificación de todas las formas de vida que en el suelo se encuentran, entre ellas los HMA. En el presente estudio se hace evidente que el uso del

acolchado afecta la colonización por endomicorrizas, mejorando la expresión de ambos en el período O-V en suelo descubierto, mientras que la adición de lombricomposta mejora la colonización por hifas, pero no es efectiva en la formación de arbusculos. La expresión de la simbiosis a partir de hifas y arbusculos está relacionada con las modificaciones que imprime el acolchado en los procesos químicos y físicos del suelo, y en su biota.

En el período O-V existe mayor disponibilidad de agua y radiación solar, en tales condiciones el suelo incrementa su respiración y con ello el metabolismo de su biota (Suseela *et al.*, 2012), el APB reduce la cantidad de luz que penetra al suelo reduciendo la temperatura y estabilizando el metabolismo y degradación de los compuestos orgánicos, mientras que el APR si bien incrementa la temperatura del suelo, las longitudes de onda que absorbe permiten un calentamiento lento y gradual (Decoteau *et al.*, 1989) que según los resultados obtenidos, fue el que fomentó, pero sin acercarse a los valores de suelo descubierto, la colonización por hifas en los HMA; efecto que favoreció la adición de lombricomposta, que resalta entre su composición los aportes de carbono (ácido húmico, fúlvico y MO), además de varios minerales, entre ellos, fósforo en diferentes formas de valencia, este elemento es uno de los principales para que se desarrolle la simbiosis (Meyer *et al.*, 2015; Blouin *et al.*, 2019). Mientras que, para la formación de vesículas, esta también tuvo una expresión importante dentro del período O-V, sin embargo, el uso de acolchado de forma general redujo el número de las mismas en comparación con el suelo descubierto, lo cual es un resultado positivo si se considera que, el incremento o prevalencia de las mismas son sugerentes indicios de una forma de vida saprófita y deficiente simbiosis de los HMA, estas estructuras son utilizadas por los HMA para almacenar lípidos cuando estos se nutren de carbono a partir de la MO. Si bien el uso de la lombricomposta propició una leve recuperación en la colonización por vesículas respecto al uso de suelo, los diferentes tipos de acolchados controlaron esta repuesta de los HMA.

Las diferentes formas de calentamiento del suelo a partir de las longitudes de onda que absorben los diferentes colores de acolchado, predisponen un incremento variable de la actividad metabólica de los HMA para desarrollar la simbiosis, sin embargo, se observó una ligera recuperación de la actividad con el uso de APN y lombricomposta, lo que puede estar relacionado con el microclima dispuesto por el APN, condición que se relaciona a su vez, con el tipo de

suelo, período climático, contenido orgánico del medio de crecimiento (suelo, sustrato, biofertilizantes, entre otros), tipo de acolchado y tiempo de aplicación; aspectos, que en el criterio de Zhang *et al.* (2020) y Ren *et al.* (2021) definen el impacto del acolchado en el suelo. Ahmed *et al.* (2017) demostraron que el acolchado por si solo no modificó la morfología de la planta en el cultivo de *Lagenaria siceraria*, solo condicionó una mejoría a partir del incremento de la temperatura y disponibilidad de humedad en el suelo, de esta forma resaltaron, que el uso del acolchado solo potencia el efecto de los HMA. A pesar de las restricciones que estableció el uso de acolchado en la actividad de los HMA, en el desarrollo de la planta las mejores expresiones de las variables consideradas se concentraron en el período I-P respecto O-V, coincidiendo con observaciones desarrolladas por Díaz-Pérez y Dean Batal (2002), quienes expusieron que esta respuesta en el período I-P se relaciona con las condiciones que ofrece el acolchado, mismas condiciones que en el período O-V afectan la absorción de agua por la raíz, reflejándose en el desarrollo de la planta.

El índice de verdor pudo verse favorecido por el efecto del acolchado blanco en combinación con el período climático debido a que, la longitud de onda de luz que capta este acolchado estimula el incremento de citocromos, pigmento fotoprotector, que estimula el desarrollo y crecimiento de las plantas a partir de la eficiencia fotosintética (Gordon *et al.*, 2008), lo cual, se relaciona con la expresión en el número de hojas en las mismas condiciones con el uso de acolchado blanco, aunque para la expresión de esta variable, se suma el APR, el cual, fue más influyente que el APB, en este sentido, los resultados coincidieron con lo observado por Sharmila y Singh (2020) con el uso de APN en la promoción del número de hojas en *Cucumis sativus* L. vc. Shekulli F1 híbrido. Las diferencias mencionadas respecto al presente estudio se deben, en función del criterio de Decoteau *et al.* (1988), con la longitud de onda que proyecta el color del acolchado, en este caso, mencionaron que los mejores resultados los obtuvieron con APB, el cual proyecta mejor el rojo lejano que el resto de los colores, lo cual determina un incremento en el movimiento del agua hacia las células y captación de K por parte de la planta (Gordon *et al.*, 2008) lo cual incrementa también el diámetro del tallo (Decoteau *et al.*, 1988), sin embargo, no se manifestaron diferencias en el presente trabajo. Snyder y Murray (2020), relacionaron la expresión morfológica de la planta con el efecto del acolchado en la temperatura de la raíz, mientras que Snyder *et al.* (2015) coincidieron en el efecto de la influencia de la

captación de las longitudes de onda por el aparato fotosintético de hojas que permite el incremento del número de las mismas, aunque en el presente estudio, se observó que la funcionalidad de las hojas no manifestó gran eficiencia ya que el índice verde y el AF no coincidieron con la expresión de esta variable. Además, el índice de verdor también está determinado por la absorción de las plantas de los nutrientes del suelo, principalmente de nitrógeno (Mohan y Gupta, 2019) y magnesio (Abro *et al.*, 2021) que contenía el suelo más lombricomposta. Se infiere que las condiciones experimentales, latitud y especie vegetal, definen el efecto que tiene el acolchado sobre los cultivos, añadiendo como observación, las múltiples explicaciones y factores que pueden influir en la manifestación morfológica de un cultivo por el efecto del acolchado, siendo evidente el desarrollo de estudios que vislumbren de forma integral, la relación cultivo-acolchado.

CONCLUSIONES

Se concluye que el efecto del acolchado sobre la actividad biológica de los HMA varía por la época climática en el que este se utilice, así mismo, las modificaciones químicas en el suelo, donde la lombricomposta tiende a una mejoría que se concentra en I-P. El uso de acolchado en O-V no favorece la actividad biológica de los HMA, ni el desarrollo foliar del cultivo de *C. pepo*. El manejo sin acolchado promueve la diversidad microbológica del suelo, demostrado por la alta colonización endomicorrizica en las raíces de la calabaza italiana.

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones atmosféricas y de ecología perteneciente a la Universidad Popular Autónoma Veracruzana (UPAV). En especial a los doctores Omar Pensado, Cecilia Montero de Jesús y Julieta Ivette Ramirez Enriquez y a la Ing. Agrónoma Genoveva Yarely González Morales por su apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.

Funding. The research was funded by Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.

Conflict of interests. Nothing to declare.

Compliance with ethical standards. The nature of the present work does not require approval by an ethical committee.

Data availability. Data is available with the first author Liliانا Lara Capistran, llaracapistran@gmail.com upon reasonable request.

CRedit statement. Lara-Capistrán, L: Obtención de fondos y concepción del experimento; Ledea-Rodríguez, JL: Análisis estadístico, curación de datos y edición final del manuscrito; Zulueta-Rodríguez, R: Concepción del experimento, revisión de la versión final; Ávila-Quesada, GD: Interpretación de resultados y curación de datos; Hernandez-Montiel, G: Redacción y estructura del manuscrito.

REFERENCIAS

- Ahmed, M., Salem, A. and Helady, A., 2017. Impact of mycorrhizae and polyethylene mulching on growth, yield and seed oil production of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*). *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 9(1), pp. 28-38. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2017.28.38>
- Alkobaisy, J.S., Lafi, A.S.A. and Ghani, E.T.A., 2020. Influence of using Mycorrhizae (MH) with vermicompost (VRF) on soil properties, soybean (*Glycine max* L.) growth and yield. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(6), pp. 347-351.
- Balderas-Alba, A., Luna-Esquivel, G. and Vega-Frutos, R., 2019. Arbuscular mycorrhizal colonization in avocado orchards with two different farm management practices. *Interciencia*, 44, pp. 649-652.
- Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M. and Poureisa, M., 2021. Improvement the soil physicochemical properties and fenugreek growth using zeolite and vermicompost under water deficit conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, pp. 1213-1228. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00434-y>
- Bartlett, M.S., 1937. Properties of sufficiency and statistical test. Proceedings of the Royal Society of London. *Series A-Mathematical and Physical Sciences*, 160(901), pp. 268-282.
- Bi, Y., Qiu, L., Zhakypbek, Y., Jiang, B., Cai, Y. and Sun, H., 2018. Combination of plastic film mulching and AMF inoculation promotes maize growth, yield and water use efficiency in the semiarid region of Northwest China. *Agricultural Water Management*, 201, pp. 278-286. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.008>
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S. and Mathieu, J., 2019. Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4), pp. 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Chen, B., Liu, E., Mei, X., Yan, C. and Garré, S., 2018. Modelling soil water dynamic in rain-fed spring maize field with plastic mulching. *Agricultural Water Management*, 198, pp. 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.007>
- Cozzolino, V., Di Meo, V., Monda, H., Spaccini, R. and Piccolo, A., 2016. The molecular characteristics of compost affect plant growth, arbuscular mycorrhizal fungi, and soil microbial community composition. *Biology and Fertility of Soils*, 52(1), pp. 15-29. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1046-8>
- Decoteau, D.R., Kasperbauer, M.J., Daniels, D.D. and Hunt, P.G., 1988. Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant growth. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 34, Issues 3-4, pp. 169-175). [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(88\)90089-1](https://doi.org/10.1016/0304-4238(88)90089-1)
- Decoteau, D., Kasperbauer, M.J. and Hunt, P., 1989. Mulch surface color affects yield of fresh-market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114(2), pp. 216-219.
- Díaz-Pérez, J.C. and Dean Batal, K., 2002. Colored plastic film mulches affect tomato growth and yield via changes in root-zone temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(1), pp. 127-135. <https://doi.org/10.21273/jashs.127.1.127>
- Dores-Silva, P.R., Landgraf, M.D. and Rezende, M.O.O., 2018. Humification process in different kinds of organic residue by composting and vermicomposting: have microbioreactors really accelerated the process? *Environmental Science and Pollution Research*, 25(18), pp. 17490-17498. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1908-3>
- Dong, W., Si, P., Liu, E., Yan, C., Zhang, Z. and Zhang, Y., 2017. Influence of film mulching on soil microbial community in a rainfed

- region of northeastern China. *Scientific Reports*, 7, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08575-w>
- Dowarah, B., Gill, S.S. and Agarwala, N., 2021. arbuscular mycorrhizal fungi in conferring tolerance to biotic stresses in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10392-5>
- Field, K.J., Daniell, T., Johnson, D. and Helgason, T., 2020. Mycorrhizas for a changing world: Sustainability, conservation, and society. *Plants, People, Planet*, 2, pp. 98-103. <http://dx.doi.org/10.1002/ppp3.10092>
- Fisher, R.A. and Yates, F., 1965. Statistical tables for biological, agricultural and medical research. *Biometrical Journal*, 7, pp. 124-125. <http://dx.doi.org/10.1002/bimj.19650070219>
- Formenti, L. and Rasmann, S., 2019. Mycorrhizal fungi enhance resistance to herbivores in tomato plants with reduced jasmonic acid production. *Agronomy*, 9, p. 131. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy9030131>
- Fu, X., Wang, J., Sainju, U.M., Zhao, F. and Liu, W., 2019. Soil microbial community and carbon and nitrogen fractions responses to mulching under winter wheat. *Applied Soil Ecology*, 139, pp. 64-68. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.03.018>
- Gaur, A.C., Sadasivam, K.V., Vimal, O.P., Mathur, R.S. and Kavimandan, S.K., 1973. Studies on the humification of organic matter in a red Rakar soil. *Zentralblatt Für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten Und Hygiene. Zweite Naturwissenschaftliche Abteilung: Allgemeine, Landwirtschaftliche Und Technische Mikrobiologie*, 128(1), pp. 149-161. [https://doi.org/10.1016/S0044-4057\(73\)80054-1](https://doi.org/10.1016/S0044-4057(73)80054-1)
- Gaur, A.C. and Mukherjee, D., 1980. Recycling of organic matter through mulch in relation of to chemical and microbiological properties of soil and crop yields. *Plant and Soil*, 56, pp. 273-281. [https://doi.org/0032-079X/80/0562-0273\\$01.35](https://doi.org/0032-079X/80/0562-0273$01.35)
- Giovannetti, M. and Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84, pp. 489-500. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
- Gordon, G.G., Foshee, W.G., Reed, S.T., Brown, J.E., Vinson, E. and Woods, F.M., 2008. Plastic mulches and row covers on growth and production of summer squash. *International Journal of Vegetable Science*, 14(4), pp. 322-338. <https://doi.org/10.1080/19315260802215830>
- Goss, J.M., Carvalho, M. and Brito, I., 2017. Agronomic opportunities to modify cropping systems and soil conditions considered supportive of an abundant, diverse AMF population. In: Goss JM, Carvalho M, Brito I, editors. *Functional Diversity of Mycorrhiza and Sustainable Agriculture; Management to Overcome Biotic and Abiotic Stresses*. London, UK, Academic Press. pp. 15-38.
- He, Y., Yang, R., Lei, G., Li, M., Li, T., Zhan, F. and Li, Y., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungus-induced decrease in phosphorus loss due to leaching in red soils under simulated heavy rainfall. *Journal of Soils and Sediments*, 21(2), pp. 881-889. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02849-z>
- Huang, F., Liu, Z., Mou, H., Zhang, P. and Jia, Z., 2019. Effects of different long-term farmland mulching practices on the loessial soil fungal community in a semiarid region of China. *Applied Soil Ecology*, 137, pp. 111-119. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.01.014>
- Huang, L., Gu, M., Yu, P., Zhou, C. and Liu, X., 2020. Biochar and vermicompost amendments affect substrate properties and plant growth of basil and tomato. *Agronomy*, 10(2), p. 224. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020224>
- Kaiser, H.F., 1974. An index of factor simplicity. *Psychometrika*, 39(1), pp. 31-36.
- Klironomos, J.N. and Hart, M.M., 2002. Colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi using different sources of inoculum. *Mycorrhiza*, 12(4), pp. 181-184. <https://doi.org/10.1007/s00572-002-0169-6>
- Kobae, Y., 2019. Dynamic phosphate uptake in arbuscular mycorrhizal roots under field conditions. *Frontiers in Environmental Science*, 6, p. 159. <http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2018.00159>
- Koozehgar, K., Ardakani, M. and Fazel, M., 2020. Effects of mycorrhizal symbiosis and the use of organic fertilizers, vermicompost and tea compost on quantitative and qualitative yield

- of melissa officinalis. *Journal of Crop Eco-physiology*, 14, pp. 345-360. <http://dx.doi.org/10.30495/JCEP.2020.679067>
- Lara-Capistrán, L., Zulueta-Rodríguez, R., Reyes-Pérez, J.J., Murillo-Amador, B., Ledea-Rodríguez, J.L. and Hernández-Montiel, L.G., 2021. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a calabaza italiana (*Cucurbita pepo* L.) bajo acolchado plástico en campo. *Terra Latinoamericana*, 39, pp. 1-13.
- Liang, S.M., Ren, C., Wang, P.J., Wang, X.T., Li, Y.S., Xu, F.H., Wang, Y., Dai, Y.Q., Zhang, L., Li, X.P., Zhan, K., Yang, Q.F. and Sui, Q.J., 2018. Improvements of emergence and tuber yield of potato in a seasonal spring arid region using plastic film mulching only on the ridge. *Field Crops Research*, pp. 223, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.012>
- Liang, S. M., Jiang, D.J., Miao-Miao, X.I.E., Ying-Ning, Z.O.U., Qiang-Sheng, W.U. and Kamil, K.U.Č.A., 2021. Physiological responses of mycorrhizal symbiosis to drought stress in white clover. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(1), pp. 12209-12209. <https://doi.org/10.15835/nbha49112209>
- Liu, Y., Lin M., Xinhua, H., Gang, Ch, Xiaojun, M., Lizhe, A. and Huyuan F., 2012. Rapid change of AM fungal community in a rain-fed wheat field with short-term plastic film mulching practice. *Mycorrhiza*, 22, pp. 31-39. <https://doi.org/10.1007/s00572-011-0378-y>
- Lekberg, Y., Koide, R.T., Rohr, J.R., Aldrich-Wolfe, L. and Morton, J.B., 2007. Role of niche restrictions and dispersal in the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Journal of Ecology*, 95(1), pp. 95-105. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01193.x>
- Luna, Q.J.C., Zapana, P.J.G., Cutipa, L.A.M. and Florida, R.N., 2020. Effect of mycorrhiza (*Glomus intraradices*), on the yield of two potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) in the Puno Altiplano-Peru. *Journal of High Andean Research*, 22, pp. 58-67. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.535>
- Madrid-Delgado, G., Orozco-Miranda, M., Cruz-Osorio, M., Hernández-Rodríguez, O.A., Rodríguez-Heredia, R., Roa-Huerta, M. and Avila-Quezada, G.D., 2021. Pathways of phosphorus absorption and early signaling between the mycorrhizal fungi and plants. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 90, pp. 1321-1338. <https://doi.org/10.32604/phyton.2021.016174>
- Massey, F.J., 1951. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association* 46, 68-78. doi: <https://doi.org/10.2307/2280095>
- Meyer, A.H., Wooldridge, J. and Dames, J.F., 2015. Effect of conventional and organic orchard floor management practices on arbuscular mycorrhizal fungi in a 'Cripp's Pink'/M7 apple orchard soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 213, pp. 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.026>
- Phillips, J.M. and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, pp. 158-161. [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Parvin, S., Van Geel, M., Yeasmin, T., Verbruggen, E. and Honnay, O., 2020. Effects of single and multiple species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi on the salinity tolerance of a Bangladeshi rice (*Oryza sativa* L.) cultivar. *Mycorrhiza*, 30(4), pp. 431-444. <https://doi.org/10.1007/s00572-020-00957-9>
- Pérez-Gómez, J.D.J., Abud-Archila, M., Villalobos-Maldonado, J.J., Enciso-Saenz, S., Hernández de León, H., Ruiz-Valdiviezo, V.M. and Gutiérrez-Miceli, F.A., 2017. Vermicompost and vermiwash minimized the influence of salinity stress on growth parameters in potato plants. *Compost Science and Utilization*, 25(4), pp. 282-287. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2017.1333932>
- Pickles, B.J., Truong, C., Watts-Williams, S.J. and Bueno, C.G., 2020. Mycorrhizas for a sustainable world. *New Phytologist*, 225, pp. 1065-1069. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.16307>
- Ren, A.T., Mickan, B.S., Li, J.Y., Zhou, R., Zhang, X.C., Ma, M.S., Wesly, K. and Xiong, Y.C., 2021. Soil labile organic carbon sequestration

- is tightly correlated with the abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in semiarid maize fields. *Land Degradation and Development*, 32(3), pp. 1224-1236. <https://doi.org/10.1002/ldr.3773>
- Shamari, Y., Khalesro, S. and Heidari, G.R., 2021. Effect of mulch types and sowing date on morphological traits and yield of pumpkin (*Cucurbita pepo* var. *Styriaca*). *Journal of Plant Production Research*, 27(4), pp. 117-131. <https://doi.org/10.22069/jopp.2020.17121.2570>
- Sharmila, S. and Singh, R., 2020. A review of mulching on vegetable crops production. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(6), pp. 1889-1893.
- SEMARNAT., 2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. [2020 Apr 12]. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/mex50674.pdf>.
- Qin, S., Yeboah, S., Xu, X., Liu, Y. and Yu, B., 2017. Analysis on fungal diversity in rhizosphere soil of continuous cropping potato subjected to different furrow-ridge mulching managements. *Frontiers in Microbiology*, 8, pp. 1-10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00845>
- Sieverding, E., 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. G.T.Z., Germany.
- Snyder, K., Grant, A., Murray, H. and Wolff, B., 2015. The effects of plastic mulch systems on soil: Temperature and moisture in central Ontario. *HortTechnology*, 25(2), pp. 162-170. <https://doi.org/10.21273/horttech.25.2.162>
- Snyder, K. and Murray, C., 2020. Insulative effect of plastic mulch systems and comparison between the effects of different plant types. *Open Agriculture*, 5, pp. 317-324.
- Soto, M., Gama, L. and Gómez, M., 2001. Los Climas Cálidos Subhúmedos Del Estado De Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 3, pp. 31-40. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/497/49703202.pdf>
- Suseela, V., Conant, R.T., Wallenstein, M.D. and Dukes, J.S., 2012. Effects of soil moisture on the temperature sensitivity of heterotrophic respiration vary seasonally in an old-field climate change experiment. *Global Change Biology*, 18(1), pp. 336-348. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02516.x>
- Torres, V., Martínez, R.O. and Noda, A., 1993. Example for the application of multivariate techniques in different stages of the evaluation and screening of pasture species. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 27(2), pp. 131-135.
- Zhang, G.S., Hu, X.B., Zhang, X.X. and Li, J., 2015. Effects of plastic mulch and crop rotation on soil physical properties in rain-fed vegetable production in the mid-Yunnan plateau, China. *Soil and Tillage Research*, 145, pp. 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.010>
- Zhang, X., You, S., Tian, Y. and Li, J., 2019. Comparison of plastic film, biodegradable paper and bio-based film mulching for summer tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality. *Scientia Horticulturae*, 249, pp. 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.037>
- Zhang, Z.J., Wang, X.Z., Wang, H., Huang, E., Sheng, J.L., Zhou, L.Q. and Jin, W.Z., 2020. Housefly larvae (*Musca domestica*) vermicompost on soil biochemical features for a chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*) farm. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(10), pp. 1315-1330. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1763389>
- Zhu, X., Song, F. and Liu, F., 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of temperature stress in plants. In: Wu QS, editors. *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants*. Singapore, Springer Nature. pp. 163-194.
- Zou, Y.N., Zhang, F., Srivastava, A.K., Wu, Q.S. and Kuča, K., 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi regulate polyamine homeostasis in roots of trifoliolate orange for improved adaptation to soil moisture deficit stress. *Frontiers in Plant Science*, 11, p. 2046. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.600792>

Anexos

ANEXO 1. Pesos de componentes y, componentes principales del análisis para la colonización en el período I-P (Figura 1A).

Factores	Variables	Factor de Peso	% Varianza	% varianza acumulada explicada
I	Acolchado	-0.83	30.89	30.89
	NH ₄ NO ₃	-0.79		
	COL_Arb	-0.84		
	V_MO	0.91		
	V_Porg	0.92		
II	COL_hifas	0.95	31.78	64.28
	V_Pt	0.88		
	V_Kt	0.81		
	V_rCN	0.92		
III	V_Nt	0.94	24.24	88.92
	V_Cat	0.94		
	V_Mgt	0.92		

ANEXO 2. Pesos de componentes y, componentes principales del análisis para la colonización en el período O-V (Figura 1B).

Factores	Variables	Factor de Peso	% Varianza	% varianza acumulada explicada
I	Acolchado	-0.82	37.37	37.37
	COL_Hif	-0.82		
	COL_Vs	0.87		
	V_MO	0.91		
	V_Acf	0.80		
II	V_rCN	0.85	25.26	62.64
	V_Ach	0.74		
	V_Kt	0.93		
III	MO	-0.81	22.17	84.81
	COL_Arb	0.97		

ANEXO 3. Pesos de componentes y, componentes principales del análisis para la colonización Inter período (Figura 1C).

Factores	Variables	Factor de Peso	% Varianza	% varianza acumulada explicada
I	PC	0.99	49.32	49.32
	Colonización	0.95		
	COL_Hif	0.95		
	COL_VS	0.98		
	COL_Arb	0.85		
	NH ₄ NO ₃	-0.97		
	P	-0.89		
	K	-0.99		
	MO	0.82		
	II	Acolchado		
V_MO		0.89		
V_Porg		0.94		
III	V_Nt	0.85	16.54	86.06
	V_Cat	0.95		
	V_Mgt	0.93		