

Consorcios microbianos aplicados en un sistema de producción de plántulas de aguacate cultivar "Criollo"

Microbial consortiums applied in seedling production system of avocado cultivar "Criollo"

Andrea Sotomayor¹; Paúl Mejía^{1,*}; Daniel Morocho²; Pablo Gaona¹; Pablo Viteri¹; Lorena Medina³; William Viera¹

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Quito, Ecuador.

² Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura, Escuela Politécnica de las Fuerzas Armadas (ESPE), Quito, Ecuador.

³ Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Quito, Ecuador.

*Autor corresponsal: prmejia@uc.cl (P. Mejía).

ID ORCID de los autores

A. Sotomayor: <https://orcid.org/0000-0003-3075-1609>

P. Mejía: <https://orcid.org/0000-0002-6772-8608>

D. Morocho: <https://orcid.org/0000-0003-0520-3256>

P. Gaona: <https://orcid.org/0000-0002-0606-5855>

P. Viteri: <https://orcid.org/0000-0003-3119-5798>

L. Medina: <https://orcid.org/0000-0001-8239-125X>

W. Viera: <https://orcid.org/0000-0003-4472-4126>

RESUMEN

Se aplicaron consorcios microbianos en un sistema de producción de plántulas de aguacate (*Persea americana* Mill.) cultivar 'Criollo', evaluándose posibles influencias en el crecimiento y estado nutricional de los patrones. Se evaluaron 4 tratamientos en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Las semillas utilizadas fueron sembradas en sustrato estéril (tierra negra y pomina; 3:1) colocado en bolsas de vivero (polietileno, capacidad: 2,2 kg). Las inoculaciones de microorganismos (*Glomus* spp, *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp.) se realizaron a los 70, 100, 120 y 150 días después de la siembra (DDS). Las variables altura de planta, diámetro de tallo e índice de verdor fueron evaluadas a lo largo del ensayo (80, 110, 140 y 170 DDS); una vez culminado el ensayo (170 DDS) se evaluó la concentración de nutrientes en tejido, materia seca de tallos, hojas y raíces. Existieron diferencias estadísticamente significativas a los 170 DDS para: altura de planta, diámetro de tallo y contenido de clorofila; el análisis de concentración de nutrientes en tejido reportó valores dentro de los parámetros adecuados para la especie e incremento en la concentración del Cu. Esta investigación reporta el efecto favorable de los microorganismos evaluados en el crecimiento de las plántulas y en la asimilación de nutrientes.

Palabras clave: *Trichoderma* spp.; *Glomus* spp.; *Bacillus* spp.; *Pseudomonas* spp.; *Persea americana* Mill.

ABSTRACT

The application of microbial consortia in a production system of avocado seedlings (*Persea americana* Mill.) cultivar 'Criollo' was evaluated and as well as its incidence in the development and nutritional status of the seedlings. Four treatments were evaluated, arranged in a completely randomized block design (DBCA). The seeds used in the trial were sown in sterile substrate (organic soil and perlite; 3:1) placed in nursery bags (polyethylene, capacity: 2.2 kg). Microorganism inoculations (*Glomus* spp, *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp.) were performed at 70, 100, 120 and 150 days after sowing (DAS). The variables plant height, stem diameter and greenery index were evaluated throughout the trial (80, 110, 140 and 170 DAS); while at the end of the trial (170 DAS) the concentration of nutrients in tissue and dry matter of stems, leaves and roots were evaluated. Statistically significant differences were obtained at 170 DDS for the variables: plant height, stem diameter and greenery index; the analysis of tissue nutrient concentration reported values within the parameters appropriate for the species and an increase in Cu concentration. This investigation evidenced the favorable effect of the microorganisms evaluated in the development of the seedlings, as well as the assimilation of nutrients.

Keywords: *Trichoderma* spp.; *Glomus* spp.; *Bacillus* spp.; *Pseudomonas* spp.; *Persea americana* Mill.

Recibido: 23-11-2021.

Aceptado: 10-02-2022.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el aguacate se cultiva en los valles interandinos (Viera, Ponce, Morillo & Vásquez, 2016a), experimentando un notable incremento de área cultivada (Viera et al., 2016b). Las principales variedades cultivadas son “Fuerte” y “Hass” injertadas en patrones denominados “Criollos” (raza mexicana). Las plantas de aguacate requieren un período de crecimiento en vivero previo al trasplante a campo abierto, siendo la fase de vivero determinante en la calidad de plantas. En el caso del aguacate, es indispensable partir con un patrón de buena calidad, es decir: diámetro de tallo superior a 0,5 cm, altura de planta superior a 30 cm, sistema radicular abundante, follaje de color verde oscuro y estar libre de enfermedades; dichas características se cumplen aproximadamente a los 150 días después de la siembra para posteriormente ser injertados con la variedad comercial (Sotomayor et al., 2019a).

La necesidad de obtener plántulas de buena calidad y reducir el uso de productos agroquímicos ha promovido el uso de microorganismos benéficos (Kumar et al., 2021) debido a su función en la nutrición y crecimiento (Orozco-Mosqueda et al., 2021; Santoyo et al., 2021). Estudios previos han determinado que la aplicación de microorganismos mejora la absorción de nutrientes (Sotomayor et al. 2019b) y protege contra organismos antagónicos a las plantas (Wang et al., 2022a), especialmente hongos del suelo como *Fusarium oxysporum* que ha sido reportado en viveros de aguacate (Marzaini & Mohd-Aris, 2021; Uribe et al., 2021). Además, los microorganismos benéficos influyen en el rendimiento del cultivo (Viera et al., 2019; Viera et al., 2020a).

Entre los principales microorganismos utilizados en agricultura destacan las micorrizas, *Trichoderma* spp. y las bacterias benéficas. El ciclo vital de las micorrizas solo se puede cumplir si se asocian simbióticamente a las raíces de una planta hospedera (Wang, Yang, Ma, Wang y You, 2022b). Las micorrizas incrementan el volumen del sistema radicular, derivando en un aumento en la absorción y transporte de agua y nutrientes (Viera et al., 2017a; Kheyri et al., 2022), principalmente fósforo (Zhang et al., 2021).

Algunas especies de *Trichoderma* influyen favorablemente en la solubilización y absorción de minerales desde el suelo, así como en la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Marra et al., 2022). Adicionalmente, *Trichoderma* spp. es un agente de control biológico, debido a su capacidad de generar antagonismo y control de agentes patogénicos, mediante mecanismos de competencia por espacio y nutrientes, antibiosis, micoparasitismo directo y la activación de defensas a través de la producción de los ácidos salicílico y jasmónico en raíces (Viera et al., 2020b; Colquehuanca & Blanco, 2021).

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal o rizobacterias, incluyen varios géneros no patogénicos como *Pseudomonas* spp., *Bacillus* spp., *Azotobacter* spp., *Serratia* spp. y *Azospirillum* spp., *Rhizobium* spp. (Woo & Pepe 2018; Thomloui et

al., 2019). Estos microorganismos inducen el crecimiento vegetal directa e indirectamente (Hamid et al., 2021). Los mecanismos directos están relacionados a procesos de nutrición y desarrollo vegetal como incremento de materia orgánica en el suelo y su posterior biodegradación, mejoramiento de la capacidad de intercambio catiónico, incremento en la retención de agua y capacidad tampón del suelo; mientras que los mecanismos indirectos están relacionados a la sanidad de la planta mediante la generación de antibióticos o inducción de resistencia (Dhir, 2017; Cabrera et al., 2018).

Varias investigaciones han reportado los efectos de la inoculación de consorcios microbianos en especies de frutales andinos y otros. En mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) su inoculación resultó en mayor productividad (Viera et al., 2019; Viera et al., 2020a); incrementó las concentraciones de fósforo en tejido foliar en portainjertos (*Solanum hispidum* y *Nicotiana glauca*) de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) (Viera et al., 2017a), mientras que en plántulas de chirimoyo se reportó mayor biomasa y contenido de fósforo (Viera et al., 2017b); en arándano (*Vaccinium corymbosum*) incrementó el peso seco de raíces y brotes (Schoebitz et al., 2016); en cerezos (*Prunus* sp.) aumentó el diámetro, volumen y peso seco de raíces (Gluszczyk et al., 2020). Resultados similares se observaron con aplicaciones de consorcios bacterianos y fúngicos en plantas de frutilla (Todeschini et al., 2018). Específicamente en aguacate, la inoculación de microorganismos ha sido evaluada en vivero debido a la importancia de esta fase. Sotomayor et al. (2019b) registraron incrementos significativos en la absorción de nitrógeno, magnesio, calcio, manganeso, hierro y cobre en raíces, hojas y tallo con inoculaciones de *T. harzianum* y *G. iranicum*. Adicionalmente, Alvarado (2017), Barra et al. (2017) y Viera et al. (2017c), reportaron mayor altura, incremento de contenido de clorofila y peso seco en plántulas inoculadas.

En Ecuador, la demanda de plantas de aguacate se ha incrementado debido a la amplia aceptación de esta fruta en los mercados nacional e internacional, incentivando el establecimiento de viveros que basan su plan nutricional en el aporte de fertilizantes utilizados en etapas tempranas de crecimiento vegetal (Viera et al., 2021). Actualmente existe la necesidad de investigar sobre material de siembra y manejo sustentable de aguacate (Arias et al., 2021) y aunque en Ecuador se está incorporando el uso de microorganismos en la producción agrícola (Viera & Jackson, 2020), todavía existe un déficit de investigación en esta estrategia.

El presente estudio tuvo el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de consorcios microbianos en el crecimiento y estado nutricional de plántulas de aguacate cultivar ‘Criollo’, principal portainjerto de las variedades comerciales “Fuerte” y “Hass”.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ensayos se llevaron a cabo en el invernadero de la Granja Experimental Tumbaco del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), cantón Quito, provincia de Pichincha, con altitud de 2348 m, ubicación geográfica 00°12'00" S y 78°24'00" W, temperatura promedio de 17 °C y humedad relativa de 75% (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019).

La siembra se hizo en bolsas de vivero con una capacidad de 2,2 kg de sustrato (tierra negra y pomina; 3:1 respectivamente), se utilizaron 220 semillas de aguacate, cultivar "Criollo" (raza mexicana). Luego de su germinación, las plántulas estuvieron bajo invernadero, con cobertura plástica de la superficie para el control de malezas y evitar el contacto directo con suelo. El principal insecto plaga del aguacate en la fase de vivero fue la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) (Sotomayor et al., 2019a), por lo que se ejecutó un manejo integrado de plagas. El control químico consistió en aplicaciones semanales de insecticidas con rotación de principios activos (Imidacloprid 1 mL L⁻¹, Lambda-cyhalotrina 2 mL L⁻¹, Hidrogeno Oxalato de thiocyclam 1 g L⁻¹, Azadirhactina 3 mL L⁻¹); mientras que, el control cultural consistió en el uso de trampas cromáticas amarillas engomadas. Se usó un sistema de fertirriego por goteo tipo espagueti para aportar una solución nutritiva de Hoagland y Arnon (N: 210 mg L⁻¹; P: 31 mg L⁻¹, K: 234 mg L⁻¹; Mg: 34 mg L⁻¹; Ca: 160 mg L⁻¹; S: 64 mg L⁻¹; Fe: 2,5 mg L⁻¹; Mn: 0,5 mg L⁻¹; B: 0,5 mg L⁻¹; Cu: 0,02 mg L⁻¹; Zn: 0,05 mg L⁻¹; Mo: 0,01 mg L⁻¹). La frecuencia del fertirriego fue de 3 días por semana, 8 minutos por cada ciclo de riego, con un caudal de 1 L h⁻¹; además, la solución nutritiva fue controlada dentro de los parámetros: 1,69 mS cm⁻¹ y pH de 6,5.

Adicionalmente, se aplicó fertilizante foliar Bayfolan® (N 7%; P₂O₅ 45%; K₂O 5%; B 0,10%; activadores metabólicos 3%; y extracto de algas 10%), con dosis de 3 mL L⁻¹ cada 15 días.

Los tratamientos evaluados consistieron en "consorcios microbianos" formulados como productos comerciales, en dosis y frecuencias de aplicación que constan en la Tabla 1. Los tratamientos se aplicaron directamente en el sustrato de cada plántula. En el caso del consorcio microbiano 1, las micorrizas (Fungifert®) se depositaron 20 g divididos en 4 orificios opuestos entre sí con una profundidad aproximada de 15 cm, la inoculación de *Trichoderma* spp. (Trichoeb 5WP®) se la hizo diluyendo 0,18 g del producto comercial en 100 mL de agua más un coadyuvante (Arpón®, 0,15 mL L⁻¹), aplicándose 100 mL de la solución en cada planta. Los consorcios microbianos 2 (ReviB®) y 3 (ReFuerza®) fueron aplicados diluyendo 0,4 g en 100 mL de agua y aplicándose 100 mL de la solución a cada plántula. Las plantas control tuvieron el mismo manejo que el resto de plantas, excepto en que no fueron inoculadas con microorganismos.

Durante el ensayo se evaluaron variables de crecimiento y asimilación de nutrientes de las plantas. La altura de la planta se registró desde los 80 hasta los 170 DDS con intervalos de 30 días, esta medición (cinta métrica) se hizo desde el cuello de la planta hasta el ápice de la primera hoja nueva, el resultado se reportó en centímetros (cm). El diámetro de tallo se registró desde los 80 hasta los 170 DDS con intervalos de 30 días, a una altura de 5 cm desde la superficie de sustrato. El resultado se reportó en milímetros (mm).

Tabla 1
Tratamientos en estudio

Tratamientos	Producto comercial	Microorganismos	Concentración	Dosis	Frecuencia aplicaciones (DDS*)
Consorcio 1	Trichoeb 5WP®	<i>Trichoderma</i> spp.	1x10 ⁹ UFC g ⁻¹	0,18 g planta ⁻¹	100, 120, 150
	Fungifert®	<i>Endomicorrizas vesículo arbusculares: Glomus</i> spp., <i>Acaulospora</i> spp. y <i>Entrophospora</i> spp.	120 propágulos g ⁻¹	20 g planta ⁻¹	70, 110
Consorcio 2	ReviB®	<i>Bacillus thuringiensis</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>B.licheniformis</i> , <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>T. viridae</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Penicillium</i> sp., <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> y <i>Paecilomyces lilacinus</i>	10 ⁹ UFC g ⁻¹	0,4 g planta ⁻¹	90, 120, 150
Consorcio 3	ReFuerza®	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	1x10 ¹¹ UFC g ⁻¹	0,4 g planta ⁻¹	90, 120, 150
		<i>Beauveria bassiana</i>	1x10 ⁹ UFC g ⁻¹		
		<i>Bacillus licheniformis</i>	1x10 ⁹ UFC g ⁻¹		
		<i>Streptomyces</i> spp.	1x10 ⁸ UFC g ⁻¹		
		<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1x10 ⁷ UFC g ⁻¹		
		<i>Pochonia chlamydospora</i>	1x10 ⁸ UFC g ⁻¹		
Control	Sin inoculación de microorganismos				

*DDS: días después de la siembra.

El contenido de clorofila (Minolta SPAD-502) se registró desde los 80 hasta los 170 DDS, con intervalos de 30 días, de tres hojas maduras por cada planta (en el ápice del eje y primeras hojas con el limbo totalmente extendido), las cuales fueron reemplazadas cada dos meses por nuevas hojas debido al envejecimiento de las primeras y el resultado se reportó en unidades SPAD. El peso seco se registró a los 170 DDS, las muestras fueron secadas en una estufa a 105 °C por 72 horas, la evaluación fue independiente en hojas y tallos (parte aérea) y las raíces, el resultado se expresó en gramos (g).

Las concentraciones de nutrientes en tejidos se registraron a los 170 DDS, los macronutrientes analizados fueron nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S); mientras que los micronutrientes fueron boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn).

Para la determinación del N se utilizó el método Semimicro - Kjeldahl, la extracción del resto de elementos (P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Fe, Mn) se hizo con el método de digestión húmeda con ácido perclórico en relación 5:1, el peso de muestra seca fue de 10 g.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cinco repeticiones por tratamiento, cada repetición estuvo constituida por 11 plántulas de aguacate, con un total de 220 plántulas en el ensayo. Los tratamientos estuvieron constituidos por los consorcios de microorganismos (productos comerciales) que se describen en la Tabla 1 y el respectivo control del estudio. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos y se utilizó la Prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$) para establecer rangos de significación. Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico INFOSTAT .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variable altura de planta no registró diferencias significativas a los 80 y 110 DDS para ningún tratamiento (Figura 1), siendo las alturas promedio de 20,50 cm y 29,46 cm respectivamente para cada período. Alemán et al. (1998) reportaron diferencias significativas entre tratamientos con la aplicación de *Glomus* spp. y otras bacterias promotoras del crecimiento (R1B: 3 mL 1x10⁹ UFC mL⁻¹) a los 150 DDS al evaluar la altura de planta, en aguacateros de raza mexicana.

En el presente estudio, los consorcios uno y dos mostraron mayores valores en esta variable a los 140 y 170 DDS (Figura 1 y Tabla 2), con promedios de 41,07 cm y 47,58 cm para el consorcio uno, y 41,31cm y 47,51 cm para el consorcio dos, respectivamente. A los 170 DDS, los consorcios uno

y dos superaron en 12% a la altura de las plantas control.

Tabla 2

Efecto de la inoculación de consorcios microbianos en el crecimiento y el contenido de clorofila de plántulas de aguacate cultivar "Criollo"

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Contenido clorofila (SPAD)
Consorcio 1	47,58 a	7,50 a	53,42 a
Consorcio 2	47,51 a	7,51 a	53,76 a
Consorcio 3	43,57 b	7,26 ab	52,27 ab
Control	42,52 b	7,19 b	51,80 b

Los análisis se realizaron 170 DDS. Letras distintas en la misma columna señalan diferencias significativas (LSD Fisher, $\alpha = 0,05$).

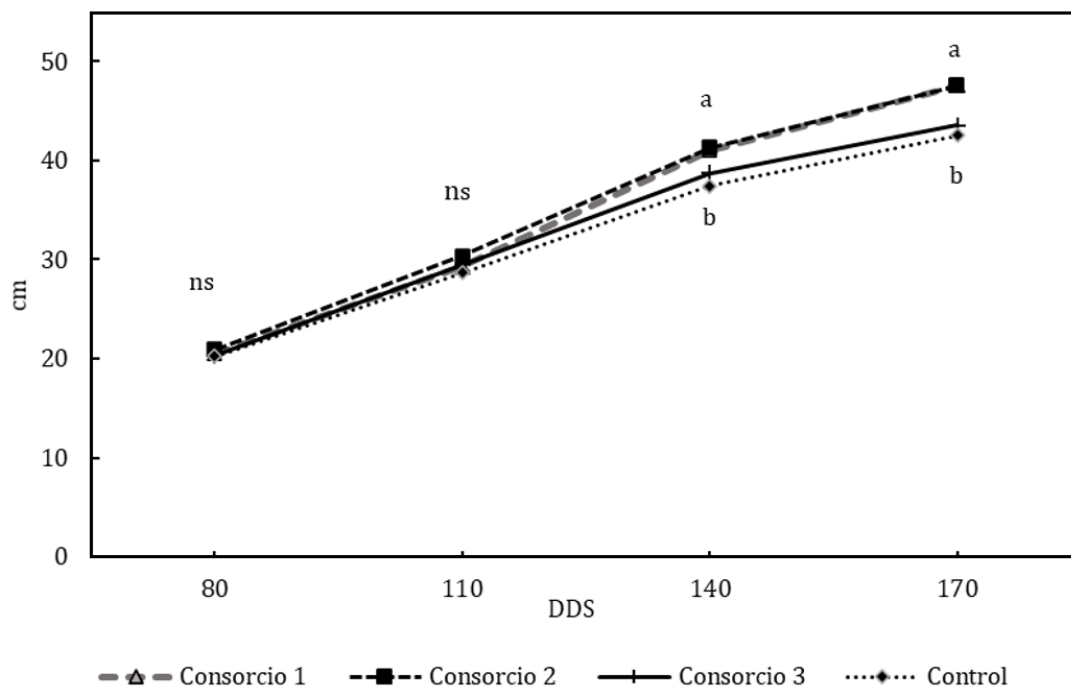


Figura 1. Efecto de los consorcios sobre la altura de plántulas de aguacate. Letras distintas en el mismo periodo (DDS) señalan diferencias significativas (LSD Fisher, $\alpha = 0,05$), ns: diferencias estadísticas no significativas.

Estos resultados son acordes a los obtenidos en estudios similares, por ejemplo, Arellano (2017) quien evaluó complejos de *Glomus* spp., registró un incremento de 9% (150 DDS) en alturas de portainjertos de raza mexicana al contrastarlos con el control. Además, Mege et al. (1980) registraron alturas con incrementos del 98% (270 DDS) versus el control, con la inoculación de *Glomus* sp. y un programa de fertilización completo. Montañez (2009) reportó un incremento de 28% (210 DDS) en altura al inocular *Glomus* spp. y *Acaulospora* spp. Por otro lado, Alvarado (2017) con inoculaciones de *Trichoderma* spp. generó plántulas 33% (158 DDS) más altas que el control, sin embargo, *Glomus* sp. no tuvo diferencias significativas versus el control. Inoculaciones de conjuntos bacterianos (*Enterobacter* sp., *Serratia* sp., *Microbacterium* sp., *Pseudomonas* sp., *Achromobacter* sp.) realizadas por Barra et al. (2016), resultaron en incrementos entre el 20% y 26% en alturas de plántulas. Estos resultados confirman que la inoculación de bacterias benéficas aporta positivamente al crecimiento de las plántulas; efecto observado con la aplicación del consorcio dos.

No existieron diferencias significativas entre los diámetros de tallos de los tratamientos evaluados a los 80 y 110 DDS, en dichos períodos los valores promedios fueron de 4,01 cm y 5,46 cm respectivamente (Figura 2). A los 170 DDS se observaron diferencias significativas entre tratamientos, las plantas con mayor incremento pertenecieron a los consorcios uno (7,50 cm) y dos (7,51 cm); en relación al control (7,19 cm) (Tabla 2). Se observó un incremento del diámetro de aproximadamente 5% en los tratamientos versus el control. Carreón et al. (2014) y Arellano (2017) al inocular micorrizas nativas (*S. pellucida*) y un

conjunto de *Glomus* spp. obtuvieron incremento en el diámetro de tallos de 6% en ambos casos, porcentajes similares al obtenido en este estudio. Barra et al. (2016) reportaron un engrosamiento de tallos en 15% con inoculaciones de conjuntos microbianos (*Enterobacter* sp., *Serratia* sp., *Microbacterium* sp., *Pseudomonas* sp., *Achromobacter* sp.).

El contenido de clorofila mostró valores SPAD similares estadísticamente en todos los tratamientos en los períodos de 80, 110 y 140 DDS, los promedios registrados fueron de 29,70; 46,65 y 53,57 respectivamente (Figura 3). A los 170 DDS se observaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 2 y Figura 3).

Los mayores contenidos de clorofila fueron registrados en los consorcios uno y dos (53,42 y 53,76 respectivamente), que representaron un incremento del 4% al compararlos con el control. Otros estudios han reportado el incremento de valores SPAD en plántulas de aguacate con inoculaciones de complejos bacterianos (entre 19% y 25% de incremento) (Barra et al., 2016) y *Glomus* spp. (9% de incremento) (Arellano, 2017). A los 170 DDS, la porción aérea de las plantas (hojas y tallo) registró el peso seco más alto con la aplicación del consorcio dos (19,93 g), representando un incremento del 12% con respecto al control; sin embargo, estadísticamente todos los consorcios microbianos generaron resultados similares (Figura 4).

Resultados similares fueron reportados por Viera et al. (2017c) quienes al inocular plántulas de aguacates ecotipo mexicano (cultivar "Criollo") con cepas de micorrizas nativas (*Glomus* spp.) registraron incremento de materia seca de 10% en relación al control.

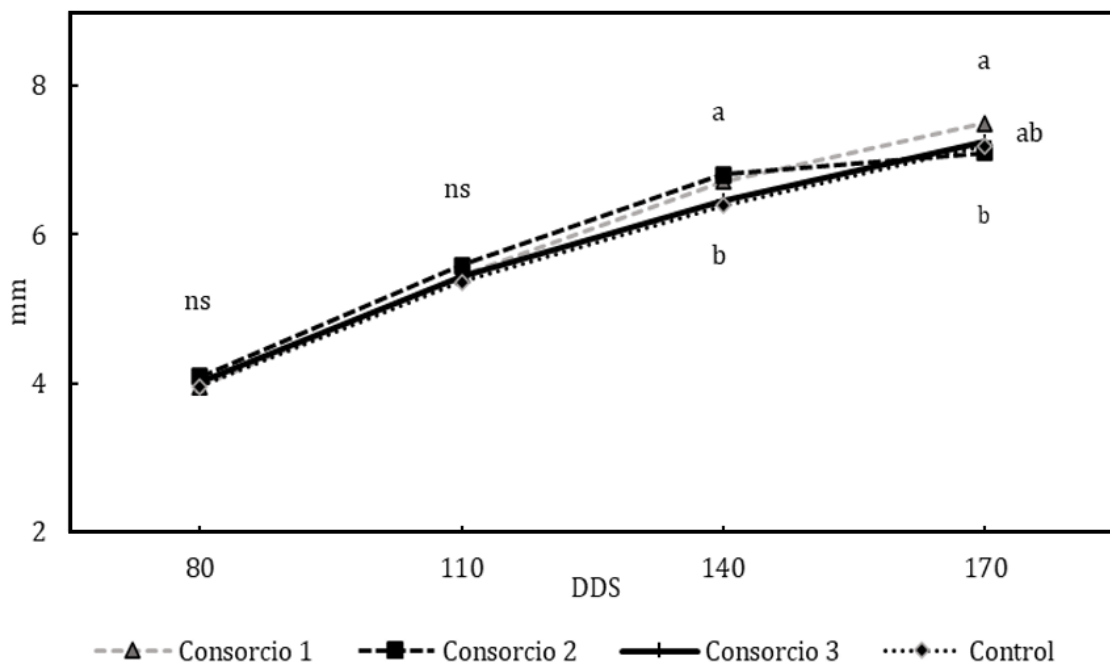


Figura 2. Efecto de los consorcios sobre el diámetro del tallo de plántulas de aguacate. Letras distintas en el mismo periodo (DDS) señalan diferencias significativas (LSD Fisher. $\alpha = 0.05$), ns: diferencias estadísticas no significativas.

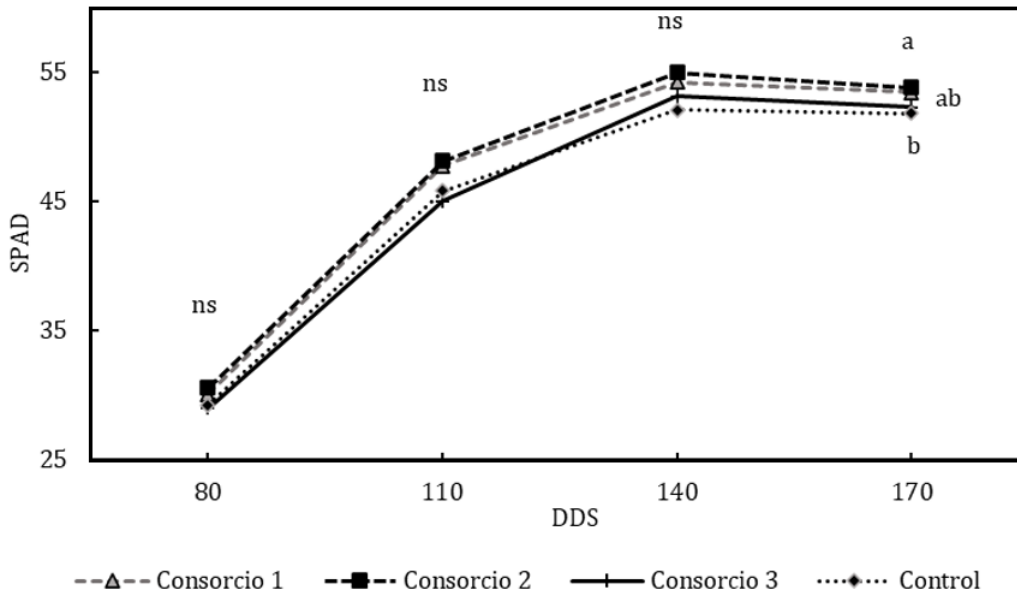


Figura 3. Efecto de los consorcios sobre el contenido de clorofila. Letras distintas en el mismo periodo (DDS) señalan diferencias significativas (LSD Fisher. $\alpha= 0.05$), ns: diferencias estadísticas no significativas.

Alvarado (2017) reportó un incremento del 50% de peso seco de tallo y hojas en plantas inoculadas con *Trichoderma* sp.; mientras que, Montañez (2009) registró incrementos entre 20% y 30%. Todos los resultados mencionados coinciden en el incremento de biomasa seca que se reporta en este trabajo. Adicionalmente, en condiciones de suelos salinos y suministro limitado de agua, plántulas de aguacate tratadas con consorcios bacterianos (*Enterobacter* sp., *Serratia* sp., *Achromobacter* sp.) incrementaron en 43% la materia fresca de tallos y hojas (Barra et al., 2016).

El peso seco de raíces no registró diferencias significativas entre tratamientos, los consorcios dos y tres presentaron mayores valores absolutos con 5,44 g y 5,49 g respectivamente (**Figura 4**).

Alvarado (2017) reportó resultados similares en esta variable al evaluar la inoculación de *Trichoderma* sp. y micorrizas arbusculares en plántulas de aguacate. Con resultados opuestos, Gluszek et al. (2020) reportaron el incremento de pesos fresco y seco de raíces en plantas de cerezo (Vanda/GiSelA5) inoculadas con complejos micorrícicos (*Rhizophagus intraradices*, *Funneliformis mosseae*, *Claroideoglossum etunicatum*, *Rhizophagus clarus*).

El incremento de biomasa en tallos y hojas reportado en el presente trabajo, concuerda con otras investigaciones que han evaluado el efecto sobre el desarrollo de plántulas frutales con inoculaciones de *Trichoderma* spp., *Glomus* spp.,

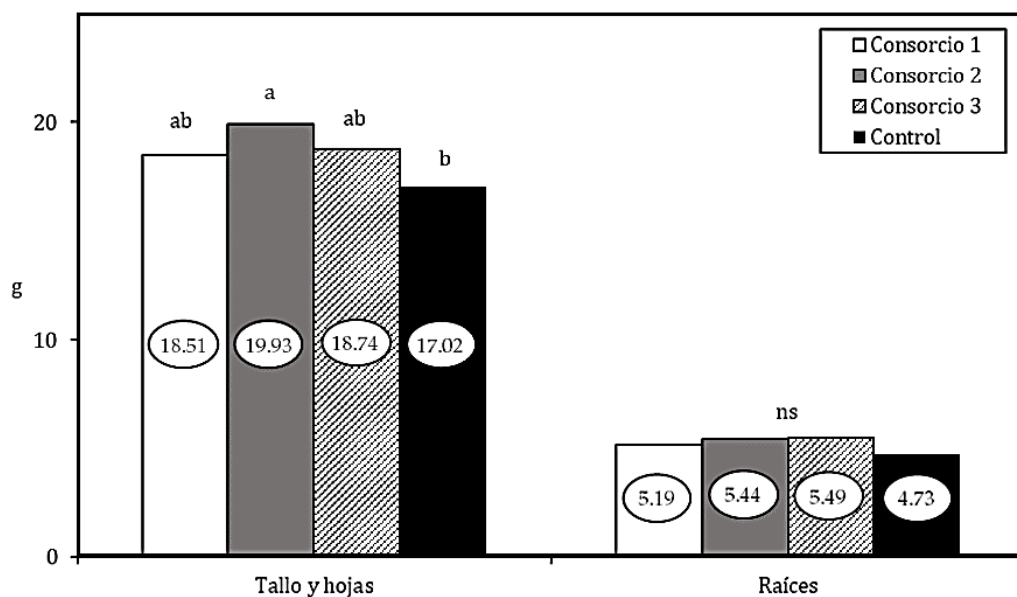


Figura 4. Análisis de peso seco en plántulas tratadas con los diferentes consorcios. Letras distintas en el mismo periodo (DDS) señalan diferencias significativas (LSD Fisher. $\alpha= 0.05$), ns: diferencias estadísticas no significativas.

Bacillus spp. y otras bacterias promotoras de crecimiento. Se ha reportado que en plántulas de chirimoyo inoculadas con micorrizas nativas se registró un incremento de 42% de materia seca (120 DDS) en comparación al control (Viera et al., 2017b). En arándano, Schoebitz et al. (2016) reportó un incremento del 32% de materia seca de brotes, en plantas inoculadas con consorcios microbianos (*Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Nocardiac* sp., *Saccharomyces cerevisiae* y *Trichoderma viride*); mientras que en frutilla (*Fragaria* × *ananassa* Duch var. Elyana) se registraron incrementos en variables relacionadas a rendimiento (número y peso de frutos), desarrollo vegetal y calidad de frutos con inoculaciones de distintos compuestos bacterianos y fúngicos (*Rhizophagus* sp., *Septoglomus* sp., *Funneliformis* sp., *Pseudomonas* sp.) (Todeschini et al., 2018). En otras especies de interés comercial (soya, tomate, pimiento, lechuga, etc.), también se ha reportado que la inoculación conjunta o individualizada de *T. atriviride*, *G. intraradices* y *Bacillus* spp. y otros microorganismos, resultaron en plántulas con mayor altura, peso seco, diámetro de tallo, índice de verdor e incremento en cantidad y calidad de cosechas, entre otras características (Mastouri et al., 2010; Nzanza et al., 2012; Colla et al., 2015; Bradáčová et al., 2019).

Las concentraciones de nutrientes en tallos y raíces tuvieron diferencias significativas únicamente para el Cu (Tabla 3). En la parte aérea (hojas y tallo), el consorcio uno fue diferente estadísticamente al resto de tratamientos con la concentración más alta (4,74 ppm), registrándose un incremento del 46% de este catión en relación a los consorcios restantes y el testigo. En la raíz, el mayor contenido de Cobre lo tuvo el consorcio uno con 7,08 ppm y además fue distinto estadísticamente al resto de tratamientos. Más del 98% del Cu presente en las plantas es parte de moléculas complejas (proteínas), la importancia

de este catión radica en su papel como elemento de transición en reacciones redox y como activador enzimático en procesos como fotosíntesis, respiración, síntesis de lignina, metabolismo del nitrógeno y carbono entre otros (Broadley et al., 2012). El incremento de la concentración foliar de Cu en plántulas de aguacate como resultado de la interacción planta-microorganismos, ha sido reportado por Sotomayor et al. (2019b), quienes detectaron el incremento de aproximadamente 12% de cobre en follaje en plántulas inoculadas con *Trichoderma* sp. Además, Menge et al. (1980) registraron incrementos de hasta 35% de concentración de este catión.

Para el resto de nutrientes, los valores obtenidos no mostraron diferencias estadísticas (Tabla 3). Con resultados similares, Alvarado (2017) no registró diferencias en el contenido de nutrientes en tejido en plántulas de aguacate inoculadas con *Trichoderma* sp. *Glomus* sp. y otros microorganismos versus el control; por otro lado, los resultados exhibidos por Sotomayor et al. (2019b) no demostraron diferencias en las concentraciones de K, S, P, Mn Zn y B en raíces y K, S, Fe, Zn y B en tallos y raíces. Sin embargo, cabe mencionar que las concentraciones obtenidas en los tejidos vegetales del presente trabajo concuerdan con estándares adecuados reportados por varios autores para aguacate (Martínez et al., 2014; Viera et al., 2017c; Lazare et al., 2019; Selladurai & Awachare, 2019). Los resultados generados en este trabajo corroboraron la influencia sobre el crecimiento vegetal de los microorganismos benéficos mediante varios posibles mecanismos de acción (solubilización y fijación de nutrientes, producción de hormonas. incremento en la absorción de agua y nutrientes, control de patógenos, etc.) (Dhir, 2017; Kashyap et al., 2017; Martínez-Medina et al., 2017; Ruano-Rosa et al., 2017; Woo & Pepe, 2018; Thomloui et al., 2019).

Tabla 3

Efecto de la inoculación de consorcios microbianos en las concentraciones de nutrientes en tejido (tallo, hojas y raíces) de plántulas de aguacate cultivar "Criollo"

Órganos	Tratamientos	Macronutrientes (%)						Micronutrientes (ppm)					
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn	
Tallos y hojas	Consorcio 1	2,34	0,12	1,66	1,08	0,36	0,17	62,06	12,68	4,74	a	157,28	227,96
	Consorcio 2	2,27	0,11	1,51	1,16	0,37	0,16	60,54	7,9	3,46	b	148,34	174,28
	Consorcio 3	2,64	0,11	1,59	1,2	0,4	0,17	57,06	10,6	2,9	b	136,68	205,1
	Control	2,48	0,11	1,74	1,28	0,42	0,19	65,4	10,36	3,36	b	151,6	243,9
Raíces	Consorcio 1	1,92	0,11	1,62	0,39	0,17	0,25	83,46	16,28	7,08	a	549,26	197,2
	Consorcio 2	2,04	0,1	1,55	0,36	0,17	0,22	98,88	12,38	5,48	b	673,08	249,44
	Consorcio 3	1,97	0,09	1,39	0,33	0,15	0,21	81,98	10,36	5,14	b	605,98	234,52
	Control	2,41	0,1	1,54	0,36	0,16	0,23	93,82	12,42	5,36	b	651,32	232,9

CONCLUSIONES

Las inoculaciones de microorganismos benéficos, en plántulas de aguacate en etapas tempranas de crecimiento promovieron su desarrollo vegetativo, como resultado se dieron incrementos en las variables altura de planta, diámetro de tallo, biomasa y actividad fotosintética en comparación con el testigo. Además, las concentraciones de nutrientes en tejidos se mantuvieron en niveles adecuados para esta especie, dándose un incremento en el contenido de Cu en tallos, hojas y raíces. Se pudo evidenciar que el consorcio 2 que en

su mayoría estuvo conformado por géneros de bacterias benéficas produjo los mejores resultados en este estudio; sin embargo, también se observó que la aplicación de *Trichoderma* sp. y micorrizas produce resultados positivos para promover el crecimiento vegetal. Estos resultados contribuyen al fomento de una agricultura sustentable mediante el uso de microorganismos que constituye una práctica amigable con el medio ambiente y agrónomicamente viable para ser implementada en viveros de producción comercial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO), mediante el proyecto Productividad y Competitividad Frutícola Andina que financió esta investigación. Al

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) que apoyaron en la ejecución de este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alemán, J., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (1998). Endomicorriza-arbuscular: bacterias y vermicomposta en plántulas de aguacate en vivero. *Colin CICTAMEX*, 1(1), 12-21.
- Alvarado, L. (2017). *Efecto de microorganismos benéficos en el crecimiento y desarrollo de plántulas de aguacate (Persea americana) para los valles interandinos del Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Ecuador.
- Arellano, L. (2017). *Efecto de abonos orgánicos en el crecimiento en vivero de aguacates nativos de Ometepe y Tlacoachistlahuaca, Guerrero*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Guerrero. México.
- Arias, J. S., Hurtado-Salazar, A., & Ceballos-Aguirre, N. (2021). Current overview of Hass avocado in Colombia. Challenges and opportunities: a review. *Ciência Rural*, 51(8), e20200903.
- Barra, P. J., Inostroza, N. G., Mora, M. L., Crowley, D. E., & Jorquera, M. A. (2017). Bacterial consortia inoculation mitigates the water shortage and salt stress in an avocado (*Persea americana* Mill.) nursery. *Applied Soil Ecology*, 111, 39-47.
- Bradáčová, K., Florea, A. S., Bar-Tal, A., Minz, D., Yermiyahu, U., Shawahna, R., & Weinmann, M. (2019). Microbial consortia versus single-strain inoculants: an advantage in PGPM-assisted tomato production. *Agronomy*, 9(2), 105-110.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. (2012). Function of nutrients: micronutrients. En H. Marschner (Ed.), *Mineral nutrition of higher plants* (pp. 191-248). Adelaide, Australia: Elsevier Academic Press.
- Cabrera, E., Bonilla, B., & Aguilar, M. (2018). Interacciones entre plantas y bacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Revista CITECSA*, 10(15), 23-27.
- Carreón, A., Aguirre, P., Salvador, G., Mendoza, D., Juárez, R., Martínez, M., & Trejo, D. (2014). Inoculación micorrizica arbuscular en portainjertos de plantas de aguacate cv 'Hass' en viveros de Michoacán México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 847-857.
- Colquehuanca, G. S., & Blanco, M. W. (2021). Importancia y beneficios del *Trichoderma* en la producción agrícola. *Revista Estudiantil AGRO-VET*, 5(2), 78-82.
- Colla, G., Roupael, Y., Di Mattia, E., El-Nakhel, C., & Cardarelli, M. (2015). Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(8), 1706-1715.
- Dhir, B. (2017). Biofertilizers and biopesticides: eco-friendly biological agents. En R. Kumar, A. Sharma y S. Ahluwalia (Eds.), *Advances in Environmental Biotechnology* (pp. 167-188). Singapore: Springer.
- Gluszczyk, S., Derkowska, E., Sas-Pasz, L., Sitarek, M., & Sumorok, B. (2020). Influence of bioproducts and mycorrhizal fungi on the growth and yielding of sweet cherry trees. *Hort. Sci. (Prague)*, 47(2), 122-129.
- Hamid, B., Zaman, M., Farooq, S., Fatima, S., Sayyed, R. Z., Baba, Z. A., et al. (2021). Bacterial plant biostimulants: a sustainable way towards improving growth, productivity, and health of crops. *Sustainability*, 13, 2856.
- Kashyap, P., Rai, P., Srivastava, A., & Kumar, S. (2017). *Trichoderma* for climate resilient agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(8), 33-155.
- Kheyri, Z., Moghaddam, M., & Farhadi, N. (2022). Inoculation efficiency of different mycorrhizal species on growth, nutrient uptake, and antioxidant capacity of *Calendula officinalis* L.: A comparative study. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.
- Kumar, R., Saurabh, K., Kumawat, N., Sundaram, P. K., Mishra, J. S., et al. (2021). Sustaining productivity through integrated use of microbes in agriculture. En G. Seneviratne y J. S. Zavaahir (Eds.), *Role of Microbial Communities for Sustainability. Microorganisms for Sustainability* (pp. 109-145). Singapore : Springer.
- Lazare, S., Haberman, A., Yermiyahu, U., Erel, R., Simenski, E., & Dag, A. (2019). Avocado rootstock influences scion leaf mineral content. *Agronomy and Soil Science*, 1(1), 1-11.
- Martínez, J., Muena, V., & Ruiz, R. (2014). *Nutrición y Fertilidad en Paltos*. La Cruz, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Martínez-Medina, A., Fernandez, I., Lok, G. B., Pozo, M. J., Pieterse, C. M., & Van Wees, S. C. (2017). Shifting from priming of salicylic acid to jasmonic acid-regulated defences by *Trichoderma* protects tomato against the root knot nematode *Meloidogyne incognita*. *New Phytologist*, 213(3), 1363-1377.
- Marzaini, B., & Mohd-Aris, A. (2021). Plant growth-promoting microorganisms isolated from plants as potential antimicrobial producers: A review. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 44(2), 255-273.
- Marra, R., Lombardi, N., Piccolo, A., Bazghaleh, N., Prashar, P., Vandenberg, A., & Woo, S. (2022). Mineral biofortification and growth stimulation of lentil plants inoculated with *Trichoderma* strains and metabolites. *Microorganisms*, 10, 87.
- Mastouri, F., Björkman, T., & Harman, G. (2010). Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. *Phytopathology*, 100(11), 1213-1221.
- Menge, J., LaRue, J., Labanauskas, C., & Johnson, E. (1980). The effect of two mycorrhizal fungi upon growth and nutrition of avocado seedlings grown with six fertilizer treatments. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105(3), 400-404.
- Montañez, B. (2009). *Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (Persea americana L.) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Nzanza, B., Marais, D., & Soundy, P. (2012). Yield and nutrient content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* and *Glomus mosseae* inoculation. *Scientia horticultrae*, 144 (1), 55-59.
- Orozco-Mosqueda, M. D. C., Flores, A., Rojas-Sánchez, B., Urtis-Flores, C. A.; Morales-Cedeño, L. R., et al. (2021). Plant growth-promoting bacteria as bioinoculants: attributes and challenges for sustainable crop improvement. *Agronomy*, 11, 1167.
- Ruano-Rosa, D., Arjona-Girona, I., & López-Herrera, C. J. (2018). Integrated control of avocado white root rot combining low concentrations of fluazinam and *Trichoderma* spp. *Crop Protection*, 112, 363-370.
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F.I., Santos-Villalobos, S. D. L., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11, 219.
- Selladurai, R., & Awachare, C. M. (2019). Nutrient management for avocado (*Persea americana* Mill.). *Journal of Plant Nutrition*, 43(1), 38-147.
- Sotomayor, A., Viera, W., Viteri, P., Posso, M., Racines, M., González, A., & Villavicencio, A. (2019a). *Manual técnico para la producción de plantas injertadas de aguacate (Persea americana Mill.) de alta calidad*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Sotomayor, A., Gonzáles, A., Jin Cho, K., Villavicencio, A., Jackson, T., & Viera, W. (2019b). Effect of the application of microorganisms on the nutrient absorption in avocado (*Persea americana* Mill.) seedlings. *Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 31(1), 17-24.
- Schoebitz, M., López, M. D., Serri, H., Martínez, O., & Zagal, E. (2016). Combined application of microbial consortium and humic substances to improve the growth performance of blueberry seedlings. *Journal of soil science and plant nutrition*, 16(4), 1010-1023.
- Thomloui, E., Tsalgatidou, P., Douka, D., Spantidos, T., Dimou, M., Venieraki, A., & Katinakis, P. (2019). Multistrain versus single-strain plant growth promoting microbial inoculants-The compatibility issue. *Hellenic Plant Protection Journal*, 12(2), 61-77.
- Todeschini, V., AitLahmidi, N., Mazzucco, E., Marsano, F., Gosetti, F., Robotti, E., & Wipf, D. (2018). Impact of beneficial micro-

- organisms on strawberry growth, fruit production, nutritional quality, and volatiles. *Frontiers in plant science*, 9(1), 1611.
- Uribe, G. E., Viera, V. F., Sampedro, A. X., Cho, K. J., & Villavicencio, A. B., Flores, F. J. (2021). Colonization of *Fusarium oxysporum* transformed with the red fluorescence protein gene (tdTomato) mediated by *Agrobacterium tumefaciens* in roots of two avocado cultivars. *Research, Society and Development*, 10(2), e22010212554.
- Viera, W., Ponce, L., Morillo, E., & Vásquez, W. (2016a). Genetic variability of avocado germplasm for plant breeding. *International Journal of Clinical and Biological Sciences*, 1(1), 24-33.
- Viera, A., Sotomayor, A., & Viera, W. (2016b). Potencial del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Ecuador como alternativa de comercialización en el mercado local e internacional. *Rev Científica y Tecnológica UPSE*, 3(3), 1-9.
- Viera, W., Campaña Cruz, D. F., Lastra, A., Vásquez, W., Viteri, P., & Sotomayor, A. (2017a). Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Bioagro*, 29(2), 105-114.
- Viera, W., Campaña, D., Castro, S., Vásquez, W., Viteri, P., & Zambrano, J. (2017b). Effectiveness of the arbuscular mycorrhizal fungi use in the cherimoya (*Annona cherimola* Mill.) seedlings growth. *Acta Agronómica*, 66(2), 207-213.
- Viera, W., Campaña, D., Gallardo, D., Vásquez, W., Viteri, P., & Sotomayor, A. (2017c). Native mycorrhizae for improving seedling growth in avocado nursery (*Persea americana* Mill.). *Indian Journal of Science and Technology*, 10(25), 1-13.
- Viera, W., Noboa, M., Martínez, A., Báez, F., Jácome, R., Medina, L., & Jackson, T. (2019). *Trichoderma asperellum* increases crop yield and fruit weight of blackberry (*Rubus glaucus*) under subtropical Andean conditions. *Vegetos*, 32(2), 209-215.
- Viera, W., & Jackson, T. (2020). Ecuador demonstrates a sustainable way forward for small farmer producers. *Chronica Horticulturae*, 60(3), 19-22.
- Viera, W., Noboa, M., Martínez, A., Jácome, R., Medina, L., & Jackson, T. (2020a). *Trichoderma* sp. application increases yield and individual fruit weight of blackberries grown by small farmers in Ecuador. *Acta Horticulturae*, 1277, 287-292.
- Viera-Arroyo, W. F., Tello-Torres, C. M., Martínez-Salinas, A. A., Navia-Santillán, D. F., Medina-Rivera, L. A., Delgado-Parra, A. G., et al. (2020b). Biological control: A tool for sustainable agriculture, with a point of view of its benefits in Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8, 128-149.
- Viera, W., Cartagena, Y., Toaquiza, J., Gaona, P., Viteri, P., Sotomayor, A., & Medina, L. (2021). Response of 'Hass' avocado under different nitrogen and potassium fertilizer regimes in subtropical Ecuador. *Acta Horticulturae*, 1327, 175-180.
- Wang, Y., Liu, H., Shen, Z., Miao, Y., Wang, J., Jiang, X., Shen, Q., & Li, R. (2022a). Richness and antagonistic effects co-affect plant growth promotion by synthetic microbial consortia. *Applied Soil Ecology*, 170, 104300.
- Wang, L., Yang, D., Ma, F., Wang, G., & You, Y. (2022b). Recent advances in responses of arbuscular mycorrhizal fungi - Plant symbiosis to engineered nanoparticles. *Chemosphere*, 286, 131644.
- Woo, S. L. & Pepe, O. (2018). Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 9(1), 1801.
- Zhang, L., Chu, Q., Zhou, J., Rengel, Z., & Feng, G. (2021). Soil phosphorus availability determines the preference for direct or mycorrhizal phosphorus uptake pathway in maize. *Geoderma*, 403, 115261.