



Aplicación de consorcios microbianos para la producción sostenible de semilla de papa var. Única en la Sierra Sur del Perú

Application of microbial consortia for the sustainable production of potato seeds var. Unique in the Southern Highlands of Peru

María Elena Torres-Limascca¹, Isabel Cordova-Tarifa¹, Kevin García-Lopez¹,

Grecia Coaquira-Rios¹, Daniel Matsusaka-Quiliano^{2*}

RESUMEN

Los microorganismos del suelo tienen un gran potencial para desarrollar sistemas agrícolas integrados y sostenibles. Particularmente, la interacción entre hongos y bacterias nitrificantes favorecen el desarrollo y producción de las plantas de cultivo. En este estudio se evaluaron cuatro consorcios microbianos para potenciar la producción de semilla y el rendimiento comercial de papa var. Única en Arequipa, Perú. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde se registró altura de planta, número de tallos, variables de rendimiento desagregadas por calibre (RS1-RS3) y consumo (> 120 g), número de semillas por planta y materia seca. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y prueba de comparación de Tukey ($p < 0,05$). La combinación *Trichoderma harzianum/viride* + microorganismos eficaces (T2) incrementó la altura un 40 % respecto al testigo y alcanzó el mayor rendimiento total ($31,8 \text{ t ha}^{-1}$). *T. harzianum/viride* + *Azotobacter salinestris* (T1) triplicó el peso de tubérculos de consumo ($20,9 \text{ t ha}^{-1}$), mientras que MOB-INIA + *T. harzianum/viride* (T3) obtuvo una producción de semilla de primera ($9,39 \text{ t ha}^{-1}$) y tercera ($0,43 \text{ t ha}^{-1}$) categoría, lo que significó un incremento superior al doble del rendimiento respecto al testigo (T5). Los consorcios microbianos formaron grupos superiores para número de semillas y calibre RS1-RS3. La materia seca y la ramificación no variaron significativamente, aunque mostraron ligeras mejoras en T1 y T2. En conjunto, los resultados sugieren que la coinoculación mejoró el rendimiento comercial y la disponibilidad de semilla de papa var. Única bajo las condiciones específicas del presente ensayo en la región de Arequipa.

Palabras clave: Bioinoculación, calidad de semilla, consorcios microbianos, *Solanum tuberosum*, *Trichoderma*.

ABSTRACT

Soil microorganisms hold considerable promise for the development of integrated, sustainable agricultural systems. In particular, synergistic interactions between fungi and nitrifying bacteria enhance crop growth and productivity. This study evaluated microbial consortia designed to increase vegetative growth, seed-tuber production, and crop yield of *Solanum tuberosum* L. cv. Única under high-Andean conditions in Arequipa, Peru. A randomized complete-block design with three replicates was employed. Plant height, stem number, yield components disaggregated by tuber grade (RS1–RS3 and marketable tubers > 120 g), seed-tuber number per plant, and dry-matter content were recorded and compared using Tukey's test ($p < 0.05$). The combination *Trichoderma harzianum/viride* + effective microorganisms (T2) increased plant height by 40 % over the uninoculated control and achieved the highest total yield (31.8 t ha^{-1}). The treatment *T. harzianum/viride* + *Azotobacter salinestris* (T1) tripled marketable-tuber yield (20.9 t ha^{-1}), whereas MOB-INIA + *T. harzianum/viride* (T3) produced 9.39 t ha^{-1} of first-grade seed tubers and 0.43 t ha^{-1} of third-grade seed tubers, more than doubling total seed-tuber yield relative to the control (T5). Microbial consortia formed superior statistical groups for seed-tuber number and grades RS1–RS3. Dry-matter content and branching did not differ significantly, although slight improvements were observed in T1 and T2. Collectively, the results support coinoculation with fungal–bacterial consortia as a sustainable strategy to enhance yield and seed availability while reducing chemical fertiliser inputs in the Arequipa region.

Keywords: Bioinoculation, seed quality, microbial consortia, *Solanum tuberosum*, *Trichoderma*.

¹Estación Experimental Agraria Arequipa, Dirección de Supervisión y Monitoreo de las Estaciones Experimentales, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Arequipa, Perú

²Dirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agrario (DIDET). Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Lima 15200, Perú

*Autor de correspondencia. E-mail: dmatsusaka@agro.uba.ar

I. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto cultivo alimentario más importante a nivel mundial, después del maíz, trigo y arroz, tanto en producción como en consumo (Wijesinha-Bettoni et al., 2019). Constituye una fuente esencial de carbohidratos, proteínas y micronutrientes, convirtiéndose en un componente clave en la alimentación humana (Pęksa y Miedzianka, 2021). En consonancia con el panorama mundial en el Perú la papa es uno de los cultivos más importantes tanto económica como cultural (Sifuentes y Cornejo 2021), con una producción anual que superó los cinco millones de toneladas en el 2023, representando el 1.79 % de la producción mundial (FAO, 2023). Particularmente, la región Arequipa aportó 325 911 t (MIDAGRI, 2023). Por ello, el cultivo de papa desempeña un rol crucial en la economía de productores y agricultores, tanto en los valles costeros como en las zonas altoandinas (Santos et al., 2021).

Dentro del panorama nacional, la variedad Única ha ganado protagonismo gracias a sus características vegetativas destacando su crecimiento erecto, altura de hasta 1.20 m, flores violetas, estolones largos y lenticelas profundas, (Gutiérrez-Rosales et al., 2016; Gikundi et al., 2021). Además de su morfología, presenta resistencia y versatilidad, alcanzando rendimientos en zonas costeras de hasta 40 t ha⁻¹ (Vásquez, 2003). En conjunto, estos atributos consolidan el valor estratégico de la variedad Única para la agricultura peruana, la seguridad alimentaria y la economía rural.

A pesar de su importancia, el rendimiento del cultivo ha experimentado una desaceleración productiva, atribuida principalmente a la escasez de semillas de calidad, actualmente es inferior al 0.3 % a nivel nacional y aún menor en Arequipa (Pérez et al., 2024). A esta problemática se suma malas prácticas agronómicas asociadas al uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, que provocan el deterioro de los suelos, la alteración de la microbiota y la contaminación del ambiente (Arcos y Zúñiga, 2016).

En este marco, surge la necesidad de incrementar la producción con el uso de semillas de calidad (Pinedo,

2023), que se caracterizan por ser de alta calidad fitosanitaria fisiológica y genética (Pérez et al., 2024). Frente a esta limitación productiva, una alternativa prometedora es la aplicación de microorganismos benéficos que actúan como biofertilizantes y agentes de biocontrol, estos pueden ser endosimbiontes o exosimbiontes, mejorando la disponibilidad de nutrientes y suprimiendo patógenos del suelo (Tanya y leyva, 2019; Prigigallo et al., 2023; Reichert et al., 2022, Ortiz y Sansinenea, 2022; Velázquez et al., 2024). Entre ellos destacan las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), como *Azotobacter* spp., capaz de fijar nitrógeno atmosférico y reducir la dependencia de fertilizantes químicos (Castaño et al., 2021, Nongthombam et al., 2021; Bautista-Cruz y Martínez-Gallegos, 2020; Mohan et al., 2024), incrementando los rendimientos en un 18,13 % (Hussain et al., 1993; Hindersah et al., 2020). Complementariamente, los hongos del género *Trichoderma* han demostrado ser eficaces en el control biológico de patógenos radiculares y agente de biocontrol de plagas insectos (Poveda, 2021,). La inoculación con *Trichoderma harzianum* ha demostrado incrementados en altura, peso de tubérculos y en rendimiento de tubérculos, así como mejoras en la calidad de semilla (Contreras et al., 2022; Flores y León, 2024). Además, se ha reportado que interacciones microbianas de *Trichoderma* generaron incrementos significativos en el crecimiento y rendimiento en un 23 %-32,2 % (Wang et al., 2019; Leal-Almanza et al., 2018), así como una reducción la incidencia de enfermedades como *Rizoctoniasis*, (García et al., 2016). Experimentos controlados han puesto de manifiesto que el efecto combinado de *Azotobacter* y *Trichoderma* están asociados a la fijación biológica de nitrógeno y síntesis de auxinas y citoquininas, también se favorece a la biomasa, se facilitan las actividades biológicas del suelo, la elongación del tallo y el engrosamiento del sistema radicular (Kumar et al., 2018; Mahato y Nupane, 2018; Velmourougane et al., 2019). Estos hallazgos respaldan el potencial de los consorcios microbianos como una tecnología ecológica para la producción sostenible de papa.

Otra tecnología prometida es el uso de microorganismos eficientes (ME), consorcios microbianos que incluyen microorganismos aeróbicos y anaeróbicos (Hoyos et al., 2008). De las cuales destacan las formulaciones MOB-INIA, integrada por levaduras, bacterias ácido lácticas, fotosintéticas, actinomicetos, *bacillus spp* y *Pseudomonas* (Ortiz y Pérez, 2022); y (ii) microorganismos eficaces conformado por bacterias ácido lácticas, levaduras, bacterias mesófilas aeróbicas, actinomicetos y bacterias fototróficas. Ambas formulaciones tienen propiedades que pueden incrementar la actividad fotosintética, la absorción de agua y nutrientes en las plantas (Schlatter et al., 2017; Tanya y leyva, 2019). Particularmente, se ha reportado incrementos en los rendimientos en cultivos de papa en un 17 % (Wijesinghe y Sangakkara, 2014; Taffou et al., 2018).

A pesar de estos avances, persiste un vacío de conocimiento sobre los efectos sinérgicos de consorcios microbianos como *Azotobacter spp.*, *Trichoderma spp.*, microorganismos eficaces y

MOBs-INIA en el rendimiento y la calidad de la semilla de papa bajo condiciones altoandinas. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de estos consorcios sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de semilla en papa variedad Única, con el propósito de aportar alternativas sostenibles para la producción de semilla de calidad en la sierra sur del Perú.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación experimental

El experimento fue realizado en el Centro Experimental de Chancay, perteneciente a la Estación Experimental Agraria de Arequipa ($15^{\circ}50'45.65''S$, $72^{\circ}39'2.32''O$; 2859 msnm), distrito de Chuquibamba, Perú (Figura 1). Durante el periodo experimental las temperaturas mínimas promedio fueron $5.56^{\circ}C$ y las máximas llegaron a $19.03^{\circ}C$. La humedad relativa osciló entre 32.61 % y 71.76 %, con precipitación media diaria de 0.31 mm (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología - SENAMHI) (Figura 2).

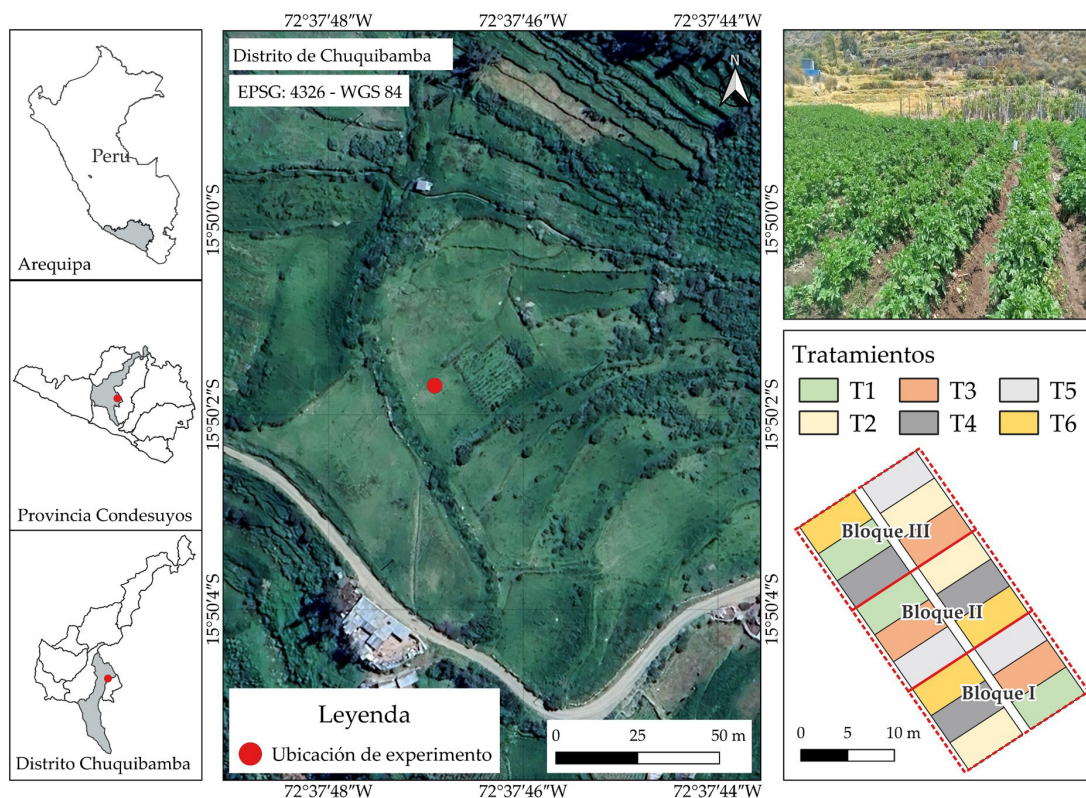


Figura 1. Ubicación del área experimental en la Estación Experimental Agraria Arequipa del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

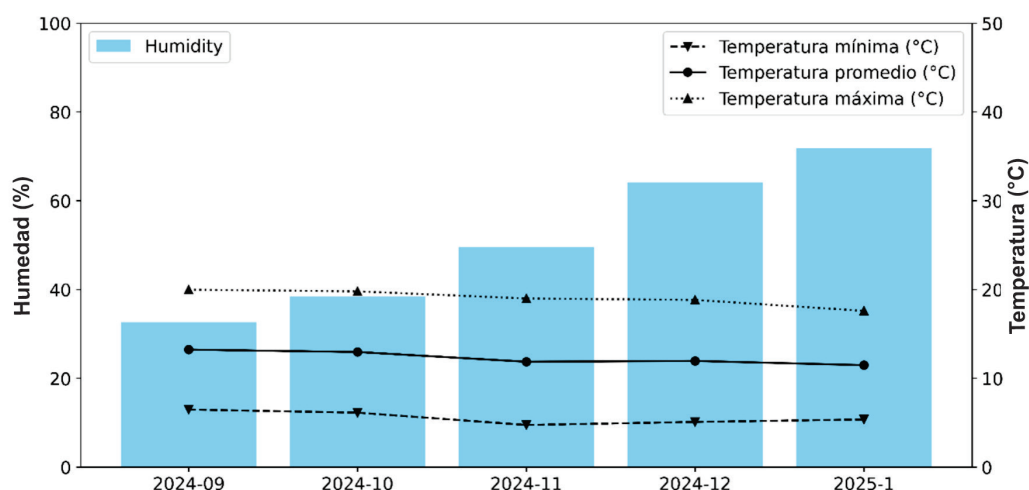


Figura 2. Registro de datos meteorológicos (2024–2025) pertenecientes a la humedad relativa (%), temperatura máxima, mínima y promedio en la Estación Meteorológica Automática de Chuquibamba, Arequipa, Perú. Fuente: SENAMHI.

Características físico químicas del suelo

El suelo del área experimental presentó pH de 7.1, la conductividad eléctrica de 0.143 dS/m^{-1} con contenido de materia orgánica de 2.55 %, así mismo con carbonatos de calcio 3.85 %, potasio $767.62 \text{ mg/kg}^{-1}$ y fósforo con 21.85 mg/kg^{-1} (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo en el área experimental antes de la implementación de las prácticas de manejo.

Ensayo	Unidad	LC	Muestra 1	Muestra 2
pH	unid. pH	0,1	7.1	7.0
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,0	13.4	15.2
Materia Orgánica (**)	%	0,5	2.2	2.9
Fósforo Disponible (**)	mg/kg	0,8	15.6	28.1
Potasio Disponible (**)	mg/kg	4,00	703.76	831.48
Carbonatos de calcio equivalente (**)	%	0,5	3.9	3.8
Sodio cambiante (**)	mg/kg	--	175.92	167.90
Potasio cambiante (**)	mg/kg	--	663.69	795.54
Calcio cambiante (**)	mg/kg	--	3,124.80	2,884.09
Magnesio cambiante (**)	mg/kg	--	344.58	295.32
Textura (**)				
Arena	%	--	49.3	47.3
Limo	%	--	35.1	39.3
Arcilla	%	--	15.6	13.4
Clase Textural	---	--	Franco	Franco

(**) Los resultados obtenidos corresponden a métodos de ensayo que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Material experimental

Material Vegetal

Se utilizaron tubérculos-semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) var. Única (categoría básica II) con un peso de 70 a 150 g. Se emplearon un total de 2,520 semillas para la ejecución del experimento.

Microorganismos

Se evaluaron los siguientes microorganismos y consorcios microbianos: i) *Trichoderma harzianum/viride* y *Azotobacter salinestris*, ii) *Trichoderma harzianum/viride* y microorganismos eficaces (bacterias ácido lácticas, levaduras, bacterias mesófilas aeróbicas, actinomicetos y bacterias fototróficas) iii) MOB's INIA y *Trichoderma harzianum/viride* y iv) *Azotobacter salinestris* y MOB's-INIA; v) Sin inoculación y vi) fungicida carbendazim y Fertilización química.

Inoculación de microorganismos

La primera inoculación se realizó sobre la semilla, en un recipiente de 20 L de agua se aplicó el regulador de Ph a 12 mL, una vez agitado se agregaron los consorcios microbianos según las dosis correspondientes por cada tratamiento, se dejó activar los microorganismos durante 12 horas en la solución y se sumergió los 420 tubérculos semillas por 10 min y se dejó ventilar para la siembra inmediata.

Tabla 2: Prueba de significación de Tukey ($p \leq 0,05$) para variables agronómicas.

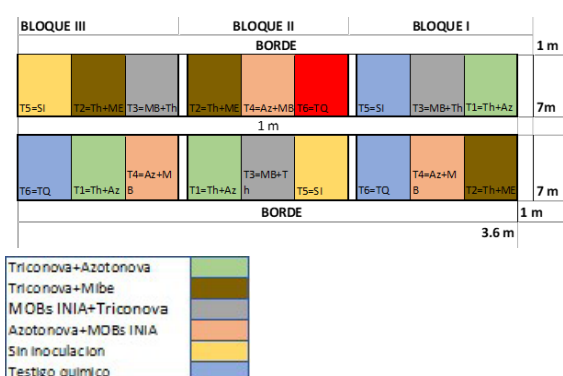
Tratamiento	Altura a 70 dds	Altura a 100 dds	Tallos por planta (und)	Semilla de primera 70-120 g (t ha-1)	Semilla de segunda 40-70 g (t ha-1)	Semilla de tercera <39 g (t ha-1)	Semilla total de 39-120 g (t ha-1)	Tubérculos de consumo > 120 g (t ha-1)	Tubérculos semillas por planta (und)	Materia seca (%)	Rendimiento total (t ha-1)
1	45,21ab ± 0,25	49,40a ± 1,59	3,37a ± 0,18	8,18ab ± 1,05	2,48a ± 0,29	1,11b ± 0,10	11,78a ± 1,34	19,21a ± 0,41	5,42ab ± 0,77	24,99a ± 0,82	31,00a ± 1,46
2	56,29a ± 0,38	62,40a ± 1,67	3,60a ± 0,16	6,94ab ± 0,56	2,83a ± 0,24	1,06b ± 0,03	10,84a ± 0,64	20,96a ± 4,16	5,94a ± 0,42	24,53a ± 0,67	31,80a ± 3,52
3	42,01ab± 0,42	46,53a ± 1,54	3,27a ± 1,18	9,39ab ± 0,44	1,12b ± 0,04	1,30a ± 0,12	11,82a ± 0,57	6,86b ± 2,93	5,86a ± 0,23	24,66a ± 0,77	18,68ab ± 3,37
4	49,77ab ± 0,37	51,48a ± 1,96	3,43a ± 0,17	6,77ab ± 0,57	1,84ab ± 0,74	0,39c ± 0,3	9,00ab ± 1,27	10,99ab ± 2,95	5,13ab ± 0,43	24,82a ± 0,89	20,00ab ± 2,49
5	40,15b ± 0,38	48,20a ± 1,48	2,93a ± 0,13	3,09b ± 0,38	1,58ab ± 0,33	0,43c ± 0,07	5,11b ± 0,52	6,92b ± 0,12	3,65b ± 0,33	24,47a ± 2,41	12,04b ± 0,61

La segunda y tercera inoculación se realizó en campo dirigido a las plantas a los 50 y 80 días después de siembra (DDS). En la segunda inoculación se utilizó 5 L de agua con las dosis de los tratamientos, una vez mezclados se utilizó el método convencional de aplicación con pulverizador agrícola manual de 20 L, dirigido alrededor de la base del tallo de las plantas. En la tercera inoculación se utilizó 10 L de agua y la mezcla de los consorcios microbianos según cada tratamiento, una vez agitado se aplicó utilizando el mismo equipo pulverizador dirigido alrededor de la base del tallo de las plantas de manera homogénea.

Diseño y manejo experimental

El ensayo se estableció el 3 de septiembre de 2024 mediante un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones en un área experimental de 482 m², totalizando 18 unidades experimentales de 25 m² cada una. Cada parcela constó de cuatro surcos de 7 m separados por 0,9 m, con distancia entre plantas de 0,2 m, con una densidad de 55 000 plantas ha⁻¹ (Figura 3). El riego fue por gravedad. Se incorporó compost (10 t ha⁻¹) al momento de la siembra de manera uniforme equivalente a 25 kg por UE y se aplicó fertilización 100-90-125 kg ha⁻¹ de N-P-K, fraccionada al 50 % a los 45 días después de la siembra (DDS) y 50 % a los 70 DDS (nitrato de amonio 15,3

kg, fosfato monoamónico 15,1 kg, cloruro de potasio 20,6 kg). La distribución fue homogénea y para todos los tratamientos, se aplicó 1,42 kg de la mezcla de los tres fertilizantes por unidad experimental. Todo ello distribuido 10g por cada planta en cada fertilización. Se realizó aplicación foliar antes de la floración para el control de *Russeliana solanicola* y *Synmetrischema tangolias* para daño de hojas a dosis de 10 mL de clorantraniliprole, thiamethoxam a 20 g mezclados en 20 L de agua y para el ataque de *Phytophthora infestans* se agregó fungicida cymoxanil+mancozeb a 50 g.

**Figura 3.** Croquis del diseño experimental.

Variables agronómicas evaluadas

Las variables agronómicas registradas fueron tomadas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

Características fisiológicas: En 10 plantas al azar se

evaluó la altura de planta a los 70 y 100 DDS, tomando la medida desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja con un flexómetro y para el número de tallos por planta se evaluó a los 70 DDS, contabilizando el número total de tallos principales.

Rendimiento de semilla ($t\ ha^{-1}$) y categorías: Se cosecharon de los dos surcos centrales los tubérculos y fueron separados y seleccionados por categorías de semilla por peso unitario y estado fitosanitario. Se clasificaron en semillas de primera a tubérculos de 70 a 120 g, semillas de segunda de 39 a 70 g y semillas de tercera <39 g, se pesaron y fueron extrapolados a hectáreas para obtener rendimiento total de semilla y rendimiento por categorías según DS N°010-2018 MINAGRI para la comercialización de semillas.

Número de semillas por planta (und): Una vez cosechados los tubérculos se seleccionaron y contabilizaron con peso unitario de 39 a 120 g, libre de enfermedades, sin daño de plaga y sin daños mecánicos en 10 plantas de los dos surcos centrales.

Rendimiento total ($t\ ha^{-1}$): Se cosechó todos los tubérculos de los dos surcos centrales de cada unidad experimental y se seleccionó los tubérculos sanos y de peso unitario > 39 g con fines de semilla y de consumo y se extrapola a hectáreas.

Rendimiento de tubérculos de consumo ($t\ ha^{-1}$): Se pesó el total de tubérculos (> 120 g), extrapolado a hectáreas. Se cosecharon los tubérculos y se seleccionaron por peso unitario mayores a 120 g, los cuales no se consideran semilla por su tamaño, pero si son factibles para los consumidores y la comercialización. Se pesó lo seleccionado en una balanza digital.

Materia seca (%): Se tomó una muestra de 5 tubérculos de 40-70 g, se lavaron y pesaron. Se cortaron en láminas de 1-2 mm y extendidos en una bandeja uniformemente en una sola capa para ser llevados a estufa a $60\ ^\circ C$ (TIM-TN115-Phoenix) durante 24 horas para su respectivo secado y eliminación de agua de las muestras de cada unidad experimental. Luego se retiró de la estufa y se procedió a realizar el pesado hasta obtener un peso constante. Se determinó con la

siguiente fórmula (Seminario et al., 2017).

$$\text{Materia Seca (\%)} = \frac{\text{Peso seco de tubérculos} \times 100}{\text{Peso fresco total de tubérculos}}$$

III. RESULTADOS

En cuanto a la altura de planta, a los 70 días después de la siembra (DDS) se registraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$). El tratamiento T2 alcanzó $56,29 \pm 0,37$ cm, superando en un 40 % al testigo absoluto T5 con $40,14 \pm 0,37$ cm (Figura 4 A). Sin embargo, a los 100 DDS las distancias entre medias se estrecharon y las diferencias dejaron de ser significativas; aun así, los tratamientos que contenían *T. harzianum/viride* mantuvieron valores numéricamente superiores ($62,40 \pm 1,6$ cm) y el tratamiento T3 obtuvo la media menos elevada con $46,53 \pm 1,53$ cm (Figura 4 B). El número de ramificaciones (und) por planta a los 70 días después de siembra no se detectaron diferencias significativas en el número de tallos por planta entre tratamientos ($p > 0,05$). Sin embargo, se observaron ligeras diferencias entre los tratamientos, el mayor número de tallos se observó en el tratamiento con T2 ($3,60 \pm 0,16$ und), mientras que el menor número se registró en el testigo sin inoculación con $2,93 \pm 0,12$ und (Figura 4 C).

En cuanto al calibre de semilla, los tubérculos semilla de primera categoría (RS1; 70–120 g) las diferencias fueron altamente significativas ($p \leq 0,001$). El tratamiento T3 registró $9,39 \pm 0,44\ t\ ha^{-1}$, triplicando al testigo sin inoculación T5 y al químico T6 con $3,09 \pm 0,38\ t\ ha^{-1}$ y $3,15 \pm 0,13\ t\ ha^{-1}$ (Figura 5 A). En la segunda categoría (RS2; 40–70 g) el tratamiento T2 sobresalió con $2,83 \pm 0,24\ t\ ha^{-1}$, mientras que T6 fue significativamente inferior con $0,99 \pm 0,16\ t\ ha^{-1}$ (Figura 5 B). Para la tercera categoría (RS3; ≤ 39 g) se diferenciaron dos grupos: los tratamientos T1–T3 produjeron rendimientos entre $1,06$ y $1,31\ t\ ha^{-1}$, en tanto que T4–T6 oscilaron de $0,39$ a $0,56\ t\ ha^{-1}$ (Figura 5 C). El rendimiento total de semilla reflejó diferencias altamente significativas ($p \leq 0,001$), donde T3 alcanzó $11,81 \pm 0,57\ t\ ha^{-1}$, mientras que T6 apenas llegó a $4,71 \pm 0,13\ t\ ha^{-1}$ (Figura 5D, Tabla 2) El rendimiento de tubérculos de consumo (> 120 g),

difirió significativamente ($p \leq 0,01$). La combinación *T. harzianum* + microorganismos benéficos (T1) produjo $20,95 \pm 4,16 \text{ t ha}^{-1}$, triplicando al T3 con $6,92 \pm 0,11 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 5 E). Paralelamente, el número de tubérculos semilla por planta fue mayor en T2 ($5,94 \pm 0,42 \text{ und}$) y menor en el testigo T5 ($3,65 \pm 0,34 \text{ t ha}^{-1}$), confirmando la influencia positiva de los consorcios microbianos (Figura 5 F). A pesar de no existir diferencias significativas, se observaron leves incrementos en el contenido de materia seca

de los tubérculos de segunda categoría, alcanzando su máximo en T1 ($24,99 \pm 0,82 \%$), mientras que T5 mostró el valor más bajo ($24,47 \pm 2,41 \%$), aunque sin diferencias estadísticas evidentes entre tratamientos (Figura 5 G). Finalmente, el rendimiento total de tubérculos (semilla + tubérculos de consumo) exhibió el impacto agregado de las inoculaciones: T2 lideró con $31,8 \pm 3,5 \text{ t ha}^{-1}$, seguido de cerca por T1 y T3; el testigo absoluto apenas superó 12 t ha^{-1} y el testigo químico registró $15,7 \pm 2,4 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 5 H, Tabla

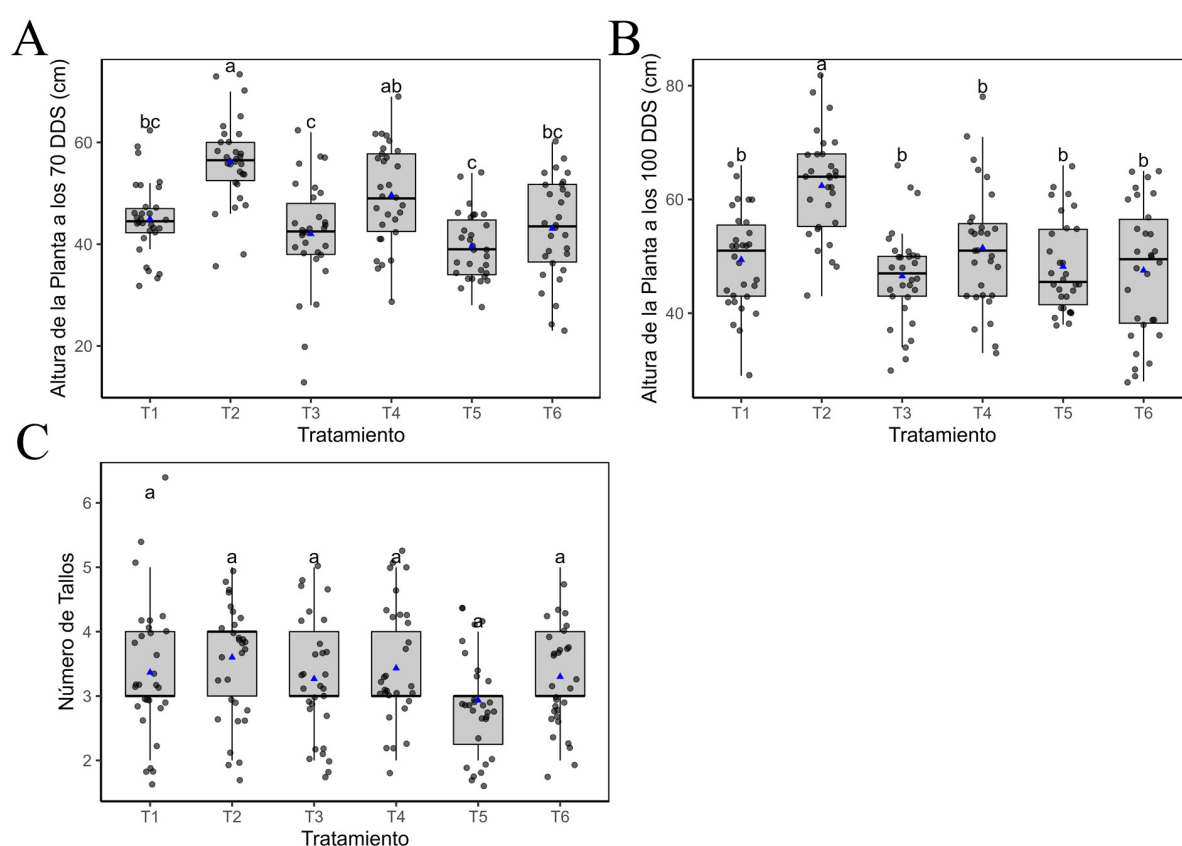


Figura 4. Efecto de los tratamientos de inoculación microbiana sobre la arquitectura aérea del cultivo. (A) Altura de la planta a los 70 días después de la siembra (DDS); (B) altura de la planta a los 100 DDS; (C) número de tallos por planta. Las cajas representan el rango intercuartílico; la línea horizontal dentro de cada caja indica la mediana y el triángulo azul corresponde a la media y los puntos grises muestran las observaciones individuales. Letras minúsculas diferentes sobre las cajas denotan diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p = 0.05$).

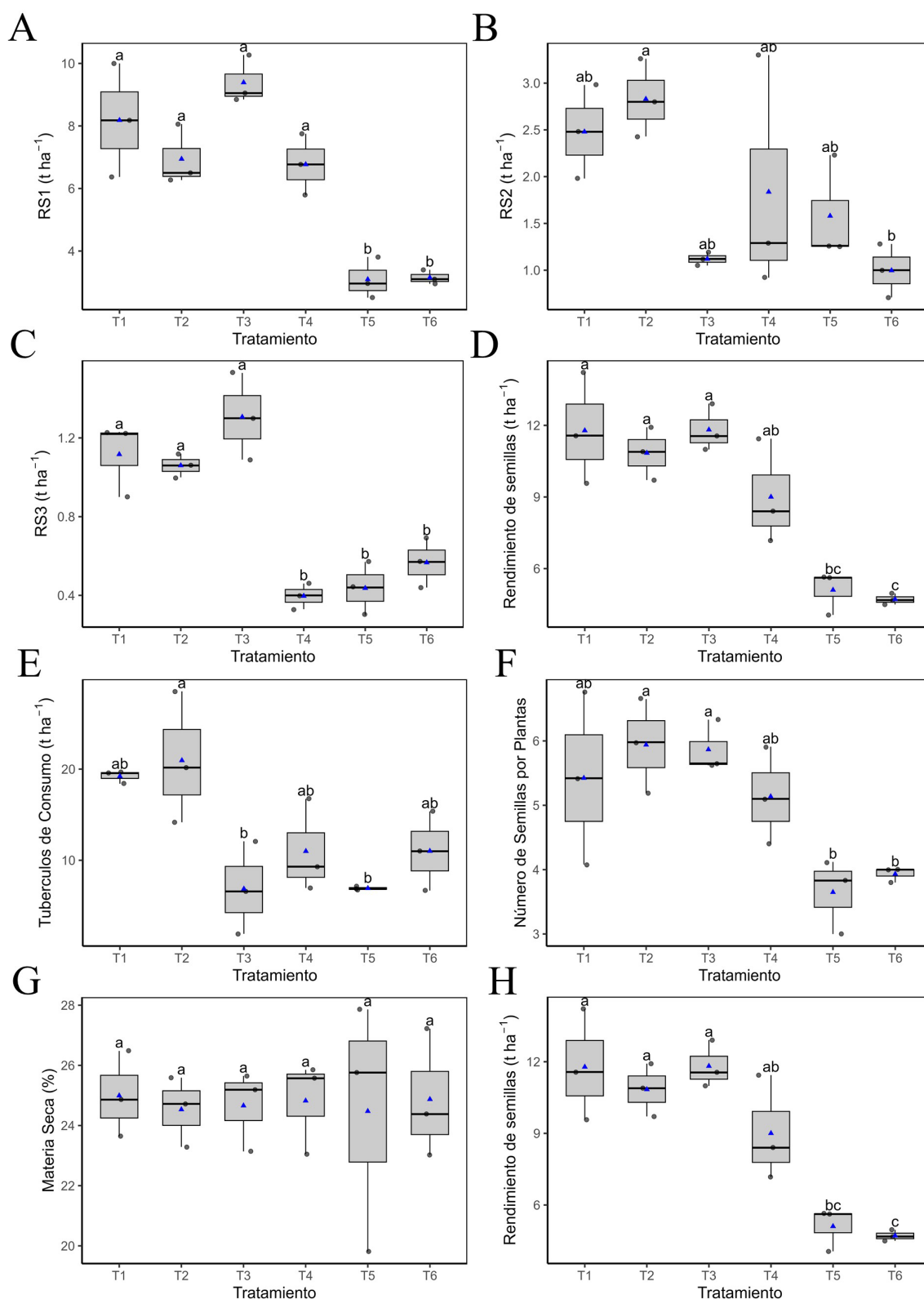


Figura 5. Efecto de los tratamientos de inoculación microbiana sobre la arquitectura en el rendimiento de la semilla. (A) RS1; (B) RS2; (C) RS3, (D) Rendimiento de semillas total, (E) Tubérculos de Consumo, (F) Número de semillas por planta, (G) Materia Seca y (H) Rendimiento. Las cajas representan el rango intercuartílico; la línea horizontal dentro de cada caja indica la mediana y el triángulo azul corresponde a la media y los puntos grises muestran las observaciones individuales. Letras minúsculas diferentes sobre las cajas denotan diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

2).

IV. DISCUSIÓN

Los tratamientos con incorporación de *T. harzianum*/*viride* y consorcios microbianos mostraron un patrón consistente de mejora en las variables agronómicas evaluadas, lo que concuerda con la literatura que asocia estos microorganismos con un mayor aprovechamiento de nutrientes y estimulación fisiológica de las plantas (Velázquez et al., 2024; Casal, 2012; Jordán y Casaretto, 2006). En cuanto a las variables fisiológicas de altura de planta exhibió diferencias significativas a los 70 y 100 DSS, donde los tratamientos bioinoculados superaron al testigo absoluto, esto se debería a la dinámica poblacional e interacción con los nutrientes del suelo en la planta. Sumado a lo anterior, también podría ser explicado por la supresión de patógenos del suelo (Tanya y leyva, 2019; Prigigallo et al., 2023). Tlapal et al, (2014), reporta que el tiempo de colonización de *Trichoderma* spp y *B. subtilis* se manifiestan progresivamente y estabilizándose entre los 30 a 150 días, coincidiendo con el periodo de mayor crecimiento vegetativo. Mutuku et al., (2021) observaron tendencias similares al inocular semillas con *T. asperellum* al 100% y al 66% obteniendo una altura media mayor de 57,32 cm, con incrementos en altura y en número de tallos, aunque sin diferencias estadísticas marcadas, lo que coincide con la respuesta observada en este estudio.

La mayor ramificación en tratamientos bioinoculados, aunque sin significancia estadística estricta, es coherente con reportes donde la combinación de *T. harzianum* y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) mejora la absorción de macro y micronutrientes y estimula la emisión de brotes laterales (Nawfetrías et al., 2019; Mutuku et al., 2021; Marchuk et al., 2023; Contreras-Cornejo et al., 2024). Estos efectos se han vinculado a la modulación de genes relacionados con auxinas y citoquininas (Guzmán-Guzmán, 2019), mecanismo que explicaría la tendencia a un mayor número de tallos en nuestras parcelas tratadas.

En la producción de semilla de primera categoría, la superioridad de los tratamientos con *T. harzianum*/

viride y actinomicetos en los tratamientos (T1-T4) es consistente con lo reportado por Arcos y Zúñiga (2016) y Alarcón et al. (2020), quienes demostraron que estos consorcios microbianos incrementan la fracción comercial de semilla y el peso de los tubérculos. Tales sinergias también repercuten en la calidad de semillas de tubérculo y el contenido de almidón, vitamina C y polifenoles según Zamana et al., 2023. Esto último se puede observar en nuestros resultados en el porcentaje de materia seca, donde los tratamientos con consorcios microbianos obtuvieron un leve incremento, aunque no significativo en nuestros resultados. Además, *T. harzianum* y *T. viride* secretan proteínas y metabolitos que, al entrar en contacto con la planta, modulan su fisiología y activan receptores de inmunidad (Cortés et al., 2023), lo que favorece una mayor acumulación de materia seca en los tubérculos.

Los rendimientos más altos en semilla de 39 a 120 g se alcanzaron con el tratamiento de microorganismos eficaces (MOBs) en combinación de *Trichoderma harzianum*, */viride*, es decir de la productividad total más del 50 % son semillas para producción, así mismo Contreras et al., (2022) en la aplicación con *Trichoderma* obtuvo significativamente su producción de semilla a nivel de cultivo *in vitro* en comparación con el testigo sin inoculación. Estos microorganismos produjeron mayor aumento de los estolones con una mejora significativa en el rendimiento de semillas (Ali et al., 2017).

El rendimiento total de tubérculos (semilla + tubérculos de consumo) se alcanzó el mayor rendimiento con el tratamiento de *Trichoderma harzianum*/*viride* en combinación con microorganismos eficaces, seguido de cerca por el tratamiento con *Trichoderma harzianum*/*viride* y *Azotobacter salinestris* y por el tratamiento de MOBs con *Trichoderma harzianum*/*viride*, el testigo absoluto fue muy inferior y el testigo con aplicación químico registró similar al testigo absoluto, las interacciones de microorganismos de *T. harzianum*/*viride*, en combinación con microorganismos eficaces y bacterias mostraron mejor rendimiento en general, así como García et al., (2012), obtuvo rendimientos altos en productividad

y muy bajo sin aplicación, de igual manera Carbajal et al., (2023) aplicó estos microorganismos eficaces y registró rendimientos similares a los obtenidos en el estudio.

El mayor número de tubérculos por planta observado en tratamientos con consorcios microbianos en los tratamientos T1-T3 concuerda con García et al., (2012) y Mamani (2022), quienes documentaron aumentos en tuberización con aplicaciones de *Trichoderma* en campo y en condiciones controladas, respectivamente. Napolitano et al., (2024) confirmaron que cepas nativas de *T. koningii* pueden elevar la producción de tubérculos hasta en un 41 %, atribuyendo este efecto a la interacción del hongo con la materia orgánica del suelo y otros microorganismos promotores del crecimiento (Adomako et al., 2022). Los resultados obtenidos podrían atribuirse, en parte a la acción de hongos micoparásitos con potencial funcional similar al de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB), favoreciendo la producción de hormonas en los tejidos meristemáticos primarios de las plantas, lo que se traduce en la multiplicación de estolones en la tuberización de la zona de la rizosfera (Castro y Rivillas, 2005; Adomako et al., 2022; Kumar et al., 2023; Guzmán-Guzmán et al., 2019).

En los tubérculos mayores con peso > 120 g conocidos como tubérculos para consumo, la cual no se encuentra en la clasificación de semilla, alcanzó el mayor rendimiento con la combinación *T. harzianum* + microorganismos benéficos (T2), demostrado de la misma manera que estos microorganismos asociados influyen a nivel de peso por los mecanismos de competencia incrementando y haciendo disponible los nutrientes (Cortés et al., 2023) favoreciendo potencialmente el proceso de tuberización.

En conjunto, la evidencia indica que la co-inoculación de *Trichoderma* con bacterias benéficas no solo estimula el crecimiento y el rendimiento del tubérculo semilla (Asghar y Kataoka, 2021; Bhuiyan y Rubayet, 2024), sino que también ofrece un enfoque sostenible adaptado a las condiciones altoandinas e incrementa la producción de papa comercial. La capacidad de estas comunidades microbianas para aprovechar la alta materia orgánica de los suelos andinos y restaurar

la microbiota nativa representa una oportunidad estratégica para optimizar la producción comercial y de semilla en sistemas de agricultura sostenible.

V. CONCLUSIONES

La coinoculación de *Trichoderma harzianum*/*viride* con consorcios microbianos especialmente en combinación con *Azotobacter salinestris*, microorganismos eficaces y (MOBs-INIA) promovió consistentemente el crecimiento vegetativo, incrementó la ramificación y mejoró la tuberización, generando mayor cantidad de semilla por planta, así como un incremento en rendimiento de los calibres de semilla.

Los tratamientos bioinoculados no solo incrementaron el rendimiento total de semilla en todas las categorías, sino que también optimizaron la producción de tubérculos de consumo, triplicando la productividad respecto al control (T5) y superando ampliamente al manejo químico convencional. Estos efectos se vinculan con mecanismos combinados de competencia, micoparasitismo, fijación de nitrógeno y estimulación hormonal en tejidos meristemáticos, favoreciendo la formación de estolones y el llenado de tubérculos.

En conjunto, los resultados confirman que la integración de *Trichoderma* con bacterias benéficas y consorcios microbianos constituyen una estrategia para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos y al mismo tiempo fortalecer la disponibilidad de semilla certificada y el rendimiento en zonas altoandinas de Arequipa. Se recomienda profundizar en los mecanismos fisiológicos y moleculares que explican la sinergia microbiana observada, así como evaluar su desempeño en diferentes regiones con características ambientales contrastantes. Estas acciones permitirán validar y escalar las investigaciones asociadas a la interacción microorganismos planta, facilitando su incorporación en programas de manejo integrado y sustentable en la producción agrícola.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que la investigación se llevó a cabo en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un posible

conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Conceptualización, Limpieza de datos, metodología, supervisión; M.E.T.L.-Metodología; I.C.T. Análisis formal; K.G.L. Metodología; G.C.R. Investigación, visualización, redacción del borrador original, revisión y edición del manuscrito: D.M. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

INFORMACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Financiado por el proyecto de inversión 2361771: “Mejoramiento de la disponibilidad, acceso y uso de semillas de calidad de papa, maíz amiláceo, leguminosas de grano y cereales en las regiones de Junín, Ayacucho, Cusco y Puno (4 departamentos)”, apoyados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) del Perú.

VI. REFERENCIAS

- Adomako, MO, Roilola, S., y Yu, F.-H. (2022). Posibles funciones de los microorganismos del suelo en la regulación del efecto de la heterogeneidad de nutrientes del suelo en el rendimiento vegetal. *Microorganisms*, 10 (12), 2399. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122399>
- Alarcón, GA, & Utia, MR (2020). Evaluación de tres dosis de *Trichoderma harzianum* para el control de la sarna negra (*Rhizoctonia solani*) de la papa en Huari, Ancash .2 (1). <https://doi.org/10.51431/PAR.V2I1.617>
- Ali, A., EL-KADER, A. E. A., & Ghoneem, K. M. (2017). Two *trichoderma species* and *bacillus subtilis* as biocontrol agents against *rhizoctonia* disease and their influence on potato productivity. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 95(2), 527-541. <https://doi.org/10.21608/ejar.2017.147354>
- Arcos, J., & Zúñiga, D. (2016). *Rizobacterias* promotoras de crecimiento de plantas con capacidad para mejorar la productividad en papa. 20 (1), 18–31.
- Asghar, W. & Kataoka, R. (2021). Effect of co-application of *Trichoderma* spp. with organic compost on the enhancement of plant growth, soil enzymes and soil fungal community. *Archives of Microbiology*, 203 (7), 4281–4291. <https://doi.org/10.1007/S00203-021-02413-4>
- Bautista-Cruz, A. & Martínez-Gallegos, V. (2020). Promoción del crecimiento de *Agave potatorum* Zucc. por bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre. *Terra latinoamericana*, 38(3), 555-567. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.647>
- Bhuiyan, M., & Rubayet, M. (2024). Population dynamics of *Trichoderma harzianum* in bio-fortified compost against soil-borne potato diseases. *Annals of Bangladesh Agriculture*, 27(1), 81–92. <https://doi.org/10.3329/aba.v27i1.70898>
- Carbajal Mayhua, R., Mantari Mallqui, J. L., Perales Angoma, A., Bautista Vargas, M., & Rodríguez Cangalaya, N. (2023). Efecto de la orina humana enriquecida con Microorganismos eficientes sobre el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Peruanita. *Revista De investigación científica Siglo XXI*, 3(2), 42–48. <https://doi.org/10.54943/rcsxxi.v3i2.350>
- Casal, J. J. (2012). Shade avoidance. *The Arabidopsis book/American Society of Plant Biologists*, 10, e0157. <https://doi.org/10.1199/tab.0157>
- Castaño, A. M. P., Durango, D. P. M., Polanco-Echeverry, D., & Arias, J. A. C. (2021). *Rizobacterias* promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 161-178. <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>
- Castro, A. M., & Rivillas, C. A. (2005). Biorregulación de *Rhizoctonia solani* en germinadores de café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 336(1), 1-8. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0336.pdf>
- Contreras-Cornejo, H.A., Schmoll, M., Esquivel-Ayala, B.A., González-Esquivel, C.E., Rocha-Ramírez, V., & Larsen, J. (2024). Plant growth promotion mechanisms activated by *Trichoderma* in natural and managed terrestrial ecosystems. *Microbiology Research*. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127621>
- Contreras-Liza, S. E., Ramírez, R. J. M., & Olivas, D. B. L. (2022). Production of potato seed

- tubers under the effect of *Trichoderma* sp. and rhizobacteria in greenhouse conditions. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 21(4), 419-427. <https://doi.org/10.5965/223811712142022419>
- Cortés-Hernández, Fabiola del Carmen, Alvarado-Castillo, Gerardo y Sánchez-Viveros, Gabriela. (2023). *Trichoderma* spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 73-87. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>
- FAO. (2023). FAOSTAT: Food and Agriculture Data (Production/Crops and Livestock Products). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Flores, P., & Leon, B. (2024). Influence of beneficial microorganisms on the agronomic behavior of potato crop cv. “Bicentennial.” [https://doi.org/10.47280/revfacagron\(luz\).v41.n1.05](https://doi.org/10.47280/revfacagron(luz).v41.n1.05)
- Gikundi, E., Sila, N., Orina, I., & Buzera, A. (2021). Physico-chemical properties of selected Irish potato varieties grown in Kenya. *African Journal of Food Science*. 15. 10-19. <https://doi.org/10.5897/ajfs2020.2025>
- García Crespo, R.G., Arcia Montesuma, M.A., Pérez Tortolero, M.R, y Riera Tona, R.F (2012). Efecto de “*Trichoderma*” sobre el desarrollo de papa y el biocontrol de *Rhizoctonia* bajo tres tiempos de inicio de aplicación. *Agronomía Tropical*, 62 (1), 077–096.
- García, R., García, A., y Garnica, C. (2016). Distribución, incidencia y alternativas de control de *rhizoctonia solani* en el cultivo papa en el estado mérida, venezuela. *Revista Latinoamericana De La Papa*, 13(1), 24-41. <https://doi.org/10.37066/ralap.v13i1.120>
- Gutiérrez-Rosales, R., Espinoza-Trelles, JA y Bonierbale, M. (2016). Única: variedad peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. *Revista Latinoamericana De La Papa*, 14(1), 41-50. <https://doi.org/10.37066/ralap.v14i1.143>
- Guzmán-Guzmán, P., Porras-Troncoso, MD, Olmedo-Monfil, V., & Herrera-Estrella, A. (2019). Especies de *Trichoderma*: plantas simbiotes versátiles. *Fitopatología*, 109 (1), 6-16. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0218-RVW>
- Hindersah, R., Kamaluddin, N.N., Samanta, S., Banerjee, S., and Sarkar, S. (2020). Role and prospect of *Azotobacter* in crop production. *Sains Tanah: Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 17(2), 170–179. <https://doi.org/10.20961/STJSSA.V17I2.45130>
- Hoyos, D., Alvis, N., Jabib, L., Garcés, M., Pérez, D., & Mattar, S. (2008). Utilidad de los microorganismos eficaces (EM®) en una explotación avícola de Córdoba: parámetros productivos y control ambiental. *Revista MVZ Córdoba*, 13(2), 1369-1379.
- Hussain, A., Sarfraz, M., Arshad, M. y Javed, M. (1993). Potencial de *azotobacter* para promover el crecimiento y el rendimiento de la papa con una aplicación óptima de fertilizantes.
- Jordán, M.; Casaretto, J (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: Etileno, ácido abscísico, brasinoesteroides, poliaminas, ácido salicílico y ácido jasmónico. In *Fisiología Vegetal*; Squeo, F.A., Cardemil, L., Eds.; Ediciones Universidad de La Serena: La Serena, Chile. Volume 16, pp. 1–28.
- Kumar, PA, Sathish, G., Srinivas, J. y Chandrasekhar, B. (2023). Especies de *Trichoderma* y sus mecanismos biológicos. *Revista Internacional de Medio Ambiente y Cambio Climático*, 13(10), 1637–1651. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i102819>
- Kumar, V., Anal, A.K.D. & Nath, V (2018). Growth response of litchi to arbuscular mycorrhizal co-inoculation with *Trichoderma viride*, *Azotobacter chroococcum* and *Bacillus megatarium*. *Indian Phytopathology* 71, 65–74. <https://doi.org/10.1007/s42360-018-0010-6>
- Leal-Almanza, J., Gutiérrez-Coronado, MA, Castro-Espinoza, L., Lares-Villa, F., Cortes-Jiménez, JM, & Santos-Villalobos, SDL (2018). Microorganismos promotores del crecimiento vegetal con yeso agrícola sobre patatas (*Solanum tuberosum* L.) bajo vivienda de sombra. *Agrociencia*, 52 (8), 1149-1159.

- Mahato, S., & Neupane, S. (2018). Comparative study of impact of Azotobacter and Trichoderma with other fertilizers on maize growth. *Journal of Maize Research and Development*, 3(1), 1–16. <https://doi.org/10.3126/jmrd.v3i1.18915>
- Mamani, JI (2022). Producción de tubérculos de yemas presentes en cáscara de papa con abonamiento de cepas de *Trichoderma* sp. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24 (2), 122–130. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.370>
- Marchuk Larrea, CN, Benítez Rodas, GA, Sandoval-Espínola, WJ, Fernández Ríos, D., & Arrúa, AA (2023). Trichoderma un aliado de la agricultura. *Informes Científicos de La FACEN*. <https://doi.org/10.18004/rcfacen.2023.14.2.183>
- MIDAGRI. (2023). *Observatorio de siembras y perspectivas de producción: Papa. Campaña 2022-2023* (Boletín Técnico).
- Mohan, J., Negi, N., Bharti, B., Kumar, A., & Arya, R. (2024). Azotobacter as a potential biofertilizer for soil and plant health management: A review. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(12), 143–152. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i121761>
- Mutuku, K. J., Joseph, M.J., Wabomba, N.M y Mwangi, K.A (2021). Eficacia de tratamiento de semillas con *Trichoderma asperellum* y la aplicación de Ridomil® en el manejo del tizón tardío de la papa. *Revista Mundial de Investigación Agrícola*, 9 (2), 42–52. <https://doi.org/10.12691/WJAR-9-2-1>
- Napolitano, A., Senatore, M., Coluccia, S., Palomba, F., Castaldo, M., Spasiano, T., Avino, A.G., Vitale, A., Bonfante, A., Sacco, A., & Ruocco, M. (2024). Development and evaluation of a *Trichoderma*-based bioformulation to improve sustainable potato cultivation. *Horticulturae*, 10 (7), 664. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070664>
- Nawfetrias, W., Handayani, DP, Bidara, IS y Tanjung, A. (2019). Respuestas pertumbuhan bibit kentang (*Solanum tuberosum*) terhadap formulasi biostimulan berbasis *Trichoderma* spp. 6 (2), 280–287. <https://doi.org/10.29122/JBBI.V6I2.3710>
- Nongthombam, J., Kumar, A., Sharma, S., & Ahmed, S. (2021). Azotobacter: A comprehensive review. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci*, 10 (6), 72–79.
- Ortiz, A., & Sansinenea, E. (2022). The role of beneficial microorganisms in soil quality and plant health. *Sustainability*, 14(9), 5358. <https://doi.org/10.3390/su14095358>.
- Ortiz Dongo, L. F., & Pérez Porras, W. E. (2022). *Guía práctica para la producción de microorganismos benéficos (MOB'S)*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1950>
- Pęksa, A., & Miedzianka, J. (2021). Subproductos de la industria de la patata como fuente de proteína con propiedades nutricionales, funcionales, beneficiosas para la salud y antimicrobianas. *Applied Sciences*, 11 (8), 3497. <https://doi.org/10.3390/app11083497>
- Pérez, W.; Alarcón, L.; & Andrade-Piedra, J. 2024. Reporte del curso: Procedimientos aplicados en la producción de semilla genética de papa. International Potato Center. 19 p. <https://doi.org/10.4160/cip.2024.12.026>
- Pinedo-Taco, Rember. (2023). Dynamics of seed systems in Peru. *Idesia (Arica)*, 41(1), 71-83. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292023000100071>
- Poveda, J. (2021). *Trichoderma* como agente de biocontrol contra plagas: Nuevos usos para un micoparásito. *Control Biológico*, 159, 104634. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634>
- Prigigallo, M. I., Staropoli, A., Vinale, F., & Bubici, G. (2023). Interactions between plant beneficial microorganisms in a consortium: *Streptomyces microflavus* and *Trichoderma harzianum*. *Microbial Biotechnology*, 16(12), 2292–2312. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14311>
- Reichert, T., Rammig, A., Fuchslueger, L., Lugli, L. F., Quesada, C. A., & Fleischer, K. (2022). Plant phosphorus-use and acquisition strategies in amazonia. *New Phytologist*, 234(4), 1126–1143. <https://doi.org/10.1111/nph.17985>
- Santos Colquehuanca Nina, G., & Wilfredo Blanco

- Villacorta, M. (2021). Importance and Benefits of *Trichoderma* in Agricultural Production. Review Article, 5, 1–5.
- Schlatter, D., Kinkel, L., Thomashow, L., Weller, D., & Paulitz, T. (2017). Disease suppressive soils: New insights from the soil microbiome. *Phytopathology*, 107(11), 1284–1297. <https://doi.org/10.1094/phyto-03-17-0111-rvw>
- Seminario, J., Seminario, A., Domínguez, A., & Escalante, B. (2017). Rendimiento de cosecha de diecisiete cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) del grupo Phureja. *Scientia Agropecuaria* 8(3), 181–191. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.01>
- Sifuentes, C., & Cornejo Villanueva, V. (2021). Identification and *in silico* comparison of transposable elements of *Solanum tuberosum* subsp. *andigena* from two localities of Peru. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.08.03.453701>
- Taffouo, V., Muyang, R., & Mbouobda, H. (2018). Efecto de fertilizantes autóctonos y eficaces basados en microorganismos sobre los microorganismos del suelo y el rendimiento de la papa irlandesa en Bambili, Camerún. *Revista Africana de Investigación en Microbiología*, 12 (15), 345–353. <https://doi.org/10.5897/ajmr2017.8601>
- Tanya Morocho, M.; & Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro. Agrícola*, 46, 93–103
- Tlapal, B.; González Hernández, H.; Zavaleta Mejía, E.; Sánchez García, P.; Mora Aguilera, G.; Nava Díaz, C.; Del Real Laborde, J.I.; & Rubio Cortes, R (2014). Colonización de *Trichoderma* y *Bacillus* en Plántulas de Agave tequilana Weber, var. Azul y el Efecto Sobre la Fisiología de la Planta y Densidad de Fusarium. *Rev. Mex. Fitopatol.*, 32, 62–74.
- Vásquez, E. 2003. Influencia de los Factores Ambientales en la Predicción del Comportamiento de los Clones de Papa para la Costa del Perú. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Lima, Perú. 102 p.
- Velázquez-Medina, A., Quiñones-Aguilar, E. E., Gutiérrez-Vázquez, E., Gómez-Dorantes, N., Rincón-Enríquez, G., & López-Pérez, L. (2024). Los Microorganismos del Suelo y su Relación Eterna con las Plantas: Soil Microorganisms and their Eternal Relationship with Plants. *Biotechnología y Sustentabilidad*, 9(1), 56-68. <https://doi.org/10.57737/3w3sxx31>
- Velmourougane, K., Prasanna, R., Chawla, G., Nain, L., Kumar, A., and Saxena, A. K. (2019). *Trichoderma*–*Azotobacter* biofilm inoculation improves soil nutrient availability and plant growth in wheat and cotton. *J. Basic Microbiol.* 59, 632–644. doi: 10.1002/jobm.201900009
- Wang, Z., Li, Y., Zhuang, L., Yu, Y., Liu, J., Zhang, L., Gao, Z., Wu, Y., Gao, W., Ding, G. y Wang, Q. (2019). Un consorcio derivado de la rizosfera de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* suprime la sarna común de la papa y aumenta el rendimiento. *Journal of Computational and Structural Biotechnology*, 17, 645–653. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2019.02.008>
- Wijesinha-Bettoni, Ramani & Mouillé, Béatrice. (2019). The Contribution of Potatoes to Global Food Security, Nutrition and Healthy Diets. *American Journal of Potato Research*. 96, 139–149 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09697-1>
- Wijesinghe, D. B., & Sangakkara, U. R. (2014). Successful potato production in natural farming with effective microorganisms: A case study. *Building Organic Bridges*. https://doi.org/10.3220/REP_20_1_2014.
- Zamana, S., Papaskiri, T. V., Kondratieva, T. D., Shapovalov, D. A., & Fedorovsky, T. G. (2023). The influence of beneficial microorganisms on the quality indicators and antioxidant properties of potatoes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1154(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1154/1/012010>