

Evaluación de la productividad en cultivos locales de *Manihot esculenta* Crantz asociada a la aplicación con cepas de *Trichoderma asperellum* y *T. harzianum* aisladas de suelos de la provincia de Misiones

Evaluation of productivity in local *Manihot esculenta* Crantz crops associated with the use of *Trichoderma asperellum* and *T. harzianum* strains isolated from soils in the province of Misiones

Lucas M. Madrassi*

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Instituto de Biotecnología de Misiones “Dra. María Ebe Reca”. Laboratorio de Biotecnología Molecular, Misiones, Argentina; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina

<https://orcid.org/0000-0002-9604-2146>

Camila R. Bruera

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Instituto de Biología Subtropical Nodo Posadas (Universidad Nacional de Misiones – CONICET)

<https://orcid.org/0009-0002-2853-3098>

María C. Vedoya

Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Laboratorio de Micología, Cátedra de Bioquímica, Misiones, Argentina

<https://orcid.org/0009-0006-7331-1215>

María V. García

Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Departamento de Genética. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto de Biología Subtropical - Nodo Posadas (Universidad Nacional de Misiones – CONICET). Laboratorio de Genética de Poblaciones y del Paisaje, Misiones, Argentina

<https://orcid.org/0000-0003-0612-4365>

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 124, 2025

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 20 diciembre 2023

Aprobación: 16 septiembre 2024

Publicación: octubre 2025

URL: <http://portal.amelica>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e150>

*Autor de correspondencia: lmadrassi@hotmail.com

Resumen

La especie *Manihot esculenta* Crantz, conocida localmente como mandioca, es uno de los cultivos más consumidos a nivel mundial y, debido a su importancia, es objeto de numerosas investigaciones que buscan mejorar su productividad. Muchos de estos trabajos evalúan el uso de la aplicación con microorganismos, por ejemplo, especies del género *Trichoderma*, y su efecto biofertilizante. Sin embargo, se desconoce el efecto de cepas de *Trichoderma* sobre la productividad en plantaciones locales de mandioca en la provincia de Misiones. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del uso de aplicaciones con cepas aisladas de suelos misioneros de *T. asperellum*, de *T. harzianum* y de una combinación de ambas especies sobre la productividad de la variedad de mandioca IAC 90, la cual es ampliamente usada por los productores misioneros. Se probaron cuatro tratamientos (*T. asperellum* TU2, *T. harzianum* TC7, la combinación *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7 y un control negativo) a campo bajo condiciones tradicionales de cultivo y se evaluaron caracteres morfológicos radicales y aéreos de interés productivo. Los resultados indicaron que el tratamiento combinando ambas especies (*T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7) tuvo un efecto estadístico significativo en el aumento de la producción de raíces y de la altura de las plantas de la variedad de mandioca IAC 90 bajo un manejo tradicional del cultivo.

Palabras clave: mandioca, biofertilizante, manejo tradicional.

Abstract

Manihot esculenta Crantz, commonly known as cassava, is one of the most globally consumed crops and has been the subject of extensive research aimed at improving its productivity. Many of these studies investigate the use of microorganisms application, particularly species belonging to the *Trichoderma* genus, and their biofertilizing effect. However, the impact of *Trichoderma* strains on productivity in local cassava plantations in the province of Misiones remains unknown. This study aimed to assess the effect of application with *Trichoderma* strains isolated from Misiones soils, particularly *T. asperellum*, *T. harzianum*, and a combination of both species, on the productivity of the cassava variety IAC 90, widely utilized by Misiones producers. Four treatments (*T. asperellum* TU2, *T. harzianum* TC7, the combination *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7, and a negative control) were tested under field conditions using traditional cultivation practices. The morphological characteristics of both root and aerial parts relevant to productivity were evaluated. The results indicated that the treatment combining both species (*T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7) had a statistically significant effect on increasing both root production and plant height in the cassava variety IAC 90 under traditional cultivation practices.

Key words: cassava, biofertilizer, traditional practices.

INTRODUCCIÓN

La especie *Manihot esculenta* (von Crantz, 1766), conocida localmente como mandioca o yuca, representa una de las fuentes más importantes de carbohidratos para el ser humano a nivel mundial (FAO, 2013). Su distribución abarca todas las regiones tropicales y subtropicales cultivándose con fines productivos, principalmente, en Sudamérica (de Olanda Souza *et al.*, 2022), África y Asia (Pannakkong *et al.*, 2022). El mercado relacionado con este cultivo y sus derivados es económicamente importante debido a sus diferentes usos que van desde la alimentación hasta la producción de biomateriales (OECD-FAO, 2021), radicando su valor comercial, principalmente, en la producción de raíces para su consumo en fresco.

M. esculenta es una especie arbustiva perenne, perteneciente a la familia Euphorbiaceae, subfamilia Crotonoideae y tribu Manihoteae (<https://www.itis.gov/>). Es monoica, posee hojas simples conformadas por 5-9 lóbulos y tallos compuestos por nudos y entrenudos. Presenta ramificación simpodial y su altura varía entre 1-3m. Las raíces adventicias forman un sistema fibroso donde se almacena almidón (Ceballos y Cruz, 2012). La cantidad, peso, tamaño y forma de las raíces almacenadoras son los principales indicadores agronómicos de este cultivo (Oliveira *et al.*, 2021). El tiempo para la cosecha es variable estimándose en 6 a 9 meses cuando se destina al consumo en fresco (Rachmawati *et al.*, 2022). En este caso, la extracción de las raíces se realiza entre el fin del otoño y el principio del invierno, cuando las plantas cesan su crecimiento (Pannakkong *et al.*, 2022).

Existen numerosas variedades cultivables de mandioca a nivel mundial (Wooding y Payahua, 2022). Algunos de los caracteres morfológicos que se consideran para su caracterización incluyen: hábito de crecimiento y de ramificación, presencia del pedúnculo en las raíces, color de la pulpa y forma de las raíces (Fukuda *et al.*, 2010). En la provincia de Misiones (Argentina) la variedad IAC 90, conocida como "brasilerita", es ampliamente cultivada para su comercialización en fresco ya que presenta buena productividad y palatabilidad (Padawer, 2018). Esta variedad se caracteriza por presentar un porte medio, hábito de crecimiento recto, ramificación erecta y raíces cortas que en su interior son blancas (Menegucci, 2020).

La productividad de los cultivos de mandioca es sensible a las características del suelo y, en particular, a los microorganismos que están presentes en él. Otaiku *et al.* (2019) observaron una fuerte relación entre la productividad y la microbiota edáfica con lo cual el empleo de microorganismos como biofertilizantes para el aumento de la productividad es uno de los abordajes más utilizados (Kubheka y Ziena, 2022). En este contexto, la composición y la diversidad de microorganismos que se desarrollan en los suelos de la provincia de Misiones representan un reservorio de especies con posibles aplicaciones agrícolas (Trentini *et al.*, 2020). Así, desde suelos de esta provincia se han aislado hongos nativos que resultan de utilidad como promotores del crecimiento vegetativo de cultivos como, por ejemplo, *Ilex paraguariensis* St. Hil (López, 2021).

Por su parte, entre los biofertilizantes más ampliamente reconocidos se encuentran hongos del género *Trichoderma* (Kubheka y Ziena, 2022), el cual pertenece a la familia Hipocreaceae, y sus representantes son cosmopolitas (Manzar *et al.*, 2022). En particular, se destacan *T. asperellum* Samuels (1999) y *T. harzianum* Rifai (1969) por ser frecuentes en las regiones tropicales y subtropicales (Hoyos-Carvajal y Bissett, 2011).

El uso de especies de *Trichoderma* como biofertilizantes ha producido resultados alentadores en el cultivo de *M. esculenta*. Así, se ha demostrado que el empleo de *T. harzianum* mejora la productividad en condiciones de campo (Stefanello, 2016). Además, se ha informado que *T. asperellum* puede actuar como promotor del crecimiento y bioestimulante en especies como *Lactuca sativa* (Promwee y Intana, 2022) y *Cucumis sativus* (El-Komy *et al.*, 2022) aunque, hasta la actualidad, no se ha evaluado el posible efecto de cepas de *T. asperellum* sobre la productividad de *M. esculenta* a nivel nacional.

En los últimos años, se propuso el uso simultáneo de diferentes cepas de *Trichoderma* a partir de estudios en *Solanum lycopersicum* (Nafady *et al.*, 2022) dado que su aplicación conjunta podría generar efectos sinérgicos que, en cuanto a su capacidad de promoción del crecimiento vegetal, resultan superiores a los observados si se usaran individualmente las cepas de *Trichoderma*. Por ejemplo, se ha ensayado la aplicación conjunta de *T. harzianum* con *T. viride* en *S. tuberosum* (Kumar *et al.*, 2022), *T. harzianum* con *T. gamsii* en *Triticum aestivum* (Stummer *et al.*, 2022) y *T. harzianum* con *T. konigii* en *Zea mays* (Worlu *et al.*, 2022) con aumento de la productividad en esos cultivos. Si bien Yadav *et al.* (2021) informaron una posible relación sinérgica entre cepas de *T. harzianum* y *T. asperellum* respecto a su efecto biocontrolador en *Capsicum annuum*, se desconoce el potencial de promoción de crecimiento vegetativo que las cepas de *Trichoderma* podrían tener al ser aplicadas en conjunto sobre plantas de mandioca.

En el presente trabajo se postula como hipótesis que la aplicación de *M. esculenta* con cepas pertenecientes a los complejos *T. asperellum* y de *T. harzianum* aisladas de suelos productivos de la provincia de Misiones resulta en un aumento de su productividad del cultivo. Para testar esta hipótesis se evaluó el efecto individual y combinado de ambas cepas sobre la productividad de la variedad IAC 90 en campo bajo condiciones tradicionales de cultivo.

METODOLOGÍA

CEPAS DE TRICHODERMA

En el presente ensayo se utilizaron las cepas de *Trichoderma* "TU2" y "TC7" (Madrassi *et al.*, 2024) aisladas a partir de suelos productivos de la provincia de Misiones.

PREPARACIÓN DE PREPARADOS FÚNGICOS

Las cepas *T. asperellum* TU2 y *T. harzianum* TC7 fueron cultivadas en cajas Petri con 20ml de agar papa dextrosa durante 14 días a 28°C en oscuridad. Para la extracción de los conidios se añadieron 10ml de agua destilada estéril y se raspó la superficie con una espátula Drigalsky siguiendo lo sugerido por da Silva *et al.* (2017). Se prepararon dos suspensiones según el momento de su aplicación: una suspensión basal (SB) y una suspensión de riego (SR), para las cuales se ajustaron las concentraciones totales de conidios, mediante conteo al microscopio óptico con cámara de Neubauer, en 1×10^8 conidios/ml y 1×10^6 conidios/ml, respectivamente (Stefanello *et al.*, 2017). A partir de la SB, se prepararon tres soluciones concentradas que se utilizaron para aplicar a las estacas antes de la siembra según los siguientes tratamientos: SB₁= *T. asperellum* TU2; SB₂= *T. harzianum* TC7 y SB₃= *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7. A partir de la SR, se prepararon las diluciones para los tratamientos correspondientes: SR₁= *T. asperellum* TU2; SR₂= *T. harzianum* TC7 y SR₃= *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7.

ENSAYO A CAMPO

Los ensayos se llevaron a cabo desde la siembra en noviembre de 2018 hasta la cosecha en junio de 2019 en la localidad de Loreto, ubicada al sur de la provincia de Misiones (Latitud Sur 27°30'; Longitud Oeste 55°46'). La región se caracteriza por presentar suelos predominantemente rojos, profundos y pertenecientes al orden de los Molisoles (Günther *et al.*, 2008) y por un clima subtropical húmedo sin estación seca (Martínez-Crovetto, 1963).

Previo a la siembra, las estacas de la variedad IAC 90 de 15-20cm que presentaban de 3 a 4 nudos fueron sumergidas durante 5min en recipientes plásticos de 10l que contenían las diferentes SB según cada tratamiento. Luego, se sembraron a una profundidad de 5cm aproximadamente en surcos, separadas a 90cm entre sí y los surcos a una distancia de 60cm entre ellos. Después de la emergencia de las plántulas, se repitió la aplicación regando la base de las plantas con 100ml de la SR correspondiente a cada tratamiento a los días 21, 45, 60 y 90.

Para cada tratamiento, se sembraron dos líneas (surcos) con 15 estacas cada uno, según lo mencionado anteriormente, de manera que cada tratamiento inició el experimento con 30 estacas en total. El diseño experimental consistió en 4 tratamientos dispuestos en dos bloques: Tratamiento 1 (T1)= control empleando agua destilada estéril; Tratamiento 2 (T2)= aplicación con *T. asperellum* TU2, Tratamiento 3 (T3)= aplicación con *T. harzianum* TC7 y Tratamiento 4 (T4)= combinando *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7.

EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO

A los 240 días del inicio del ensayo se cosecharon las plantas manualmente siguiendo lo descripto por Pannakkong *et al.* (2022). El número de plantas cosechadas se resume en la Tabla 1.

Al momento de la cosecha, sobre cada planta se midieron los siguientes caracteres: Largo de Raíz por Planta (LRP) como la distancia entre los ápices proximal y distal, Ancho de Raíz por Planta (ARP) medido en la región media, Número de Raíces por Planta (NRP) y Producción de Raíces por Planta (PRP) calculada como la sumatoria del peso fresco de todas las raíces siguiendo lo sugerido por Fukuda *et al.* (2010). Para los caracteres LRP, ARP y NRP se consideraron los promedios por planta. Además, sobre la parte aérea se registró: Altura de Planta (AP) como la distancia del ápice distal del tallo más alto al suelo, Peso Aéreo por Planta (PAP) como la suma del peso fresco de todos los tallos sin considerar las hojas y Número de Tallos por Planta (NTP).

TABLA 1

Número de plantas de *M. esculenta* analizado. Referencias: T1: control, T2: *T. asperellum* TU2, T3: *T. harzianum* TC7, T4: *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7.

Tratamientos	Número de plantas			Número de raíces productivas		
	Bloque 1	Bloque 2	Total	Bloque 1	Bloque 2	Total
T1	8	7	15	28	33	61
T2	4	2	6	17	5	22
T3	8	5	13	38	10	48
T4	14	6	20	94	24	118
Total	34	20	54	177	72	249

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se calcularon los valores medios, desvíos estándar y coeficientes de variación por tratamiento para todos los caracteres analizados. Los supuestos de normalidad y de homocedasticidad se testaron por bloques mediante las pruebas de Shapiro-Wilk (ARP, LRP, PRP, AP, PAP y NTP; Shapiro y Wilk, 1965) o de Kolmogoróv-Smirnov (NRP; Hollander *et al.*, 2013), y de Levene (Schultz, 1985), respectivamente. Todas las variables fueron transformadas para lograr normalidad y homocedasticidad mediante el método box-cox (Box y Cox, 1964). A partir de los valores transformados se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) con un diseño de bloques incompletos. Las comparaciones *post hoc* se realizaron utilizando la corrección de Bonferroni (Bonferroni, 1935).

Se estimaron las correlaciones de Pearson (Pearson, 1931) para todos los caracteres tomados de a pares y se analizó la relación entre la variable PRP y sus variables explicativas LRP, ARP y NRP cuantificando las magnitudes de los efectos directos, indirectos y totales mediante un análisis de coeficientes de paso (Wright, 1918). Todas las estimaciones y los análisis estadísticos se realizaron con la versión libre del programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS

EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO

Para seis de los siete caracteres analizados (LRP, ARP, NRP, PRP, AP y PAP) los valores medios superiores se observaron en T4, mientras que, el carácter restante (NTP) se observó en T1 (Figura 1). En relación a los coeficientes de variación, considerando tanto los caracteres en conjunto (42,57%) como también los caracteres de raíz (42,10%) y los de la parte aérea (43,20%) en T3 se observaron los valores medios superiores. De la misma manera, en este tratamiento se observó el mayor rango para este coeficiente (60,40% variando entre 11,30% a 71,10%) considerando todos los CV en conjunto.

El análisis de varianza presentó diferencias estadísticas significativas para los caracteres NRP, PRP, AP, PAP y NTP entre los cuatro tratamientos (Figura 1), sin embargo, únicamente el tratamiento T4 se diferenció estadísticamente del testigo (T1) con mayores valores medios para PRP y AP. El valor medio de NRP se diferenció estadísticamente entre los tratamientos T3 y T4, donde T4 presentó un mayor número de raíces por planta. El tratamiento T4 presentó los mayores valores medios de PRP y AP, con diferencias estadísticas significativas respecto a los valores medios de los demás tratamientos (T1, T2 y T3). En la Figura 2, se muestran fotografías representativas de las plantas de mandioca de los tratamientos al momento de la cosecha. El valor medio de PAP mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T2 y T4, donde el tratamiento T4 tuvo un mayor peso aéreo de las plantas. El valor medio de NTP del tratamiento T1 presentó diferencias estadísticas significativas respecto a los tratamientos T2 y T3. En ese caso, las plantas del tratamiento T1 presentaron los valores más altos para NTP. Además, el valor medio de NTP en el tratamiento T4 presentó una diferencia estadística significativa del valor medio del tratamiento T2, donde T4 tuvo un mayor número de tallos.

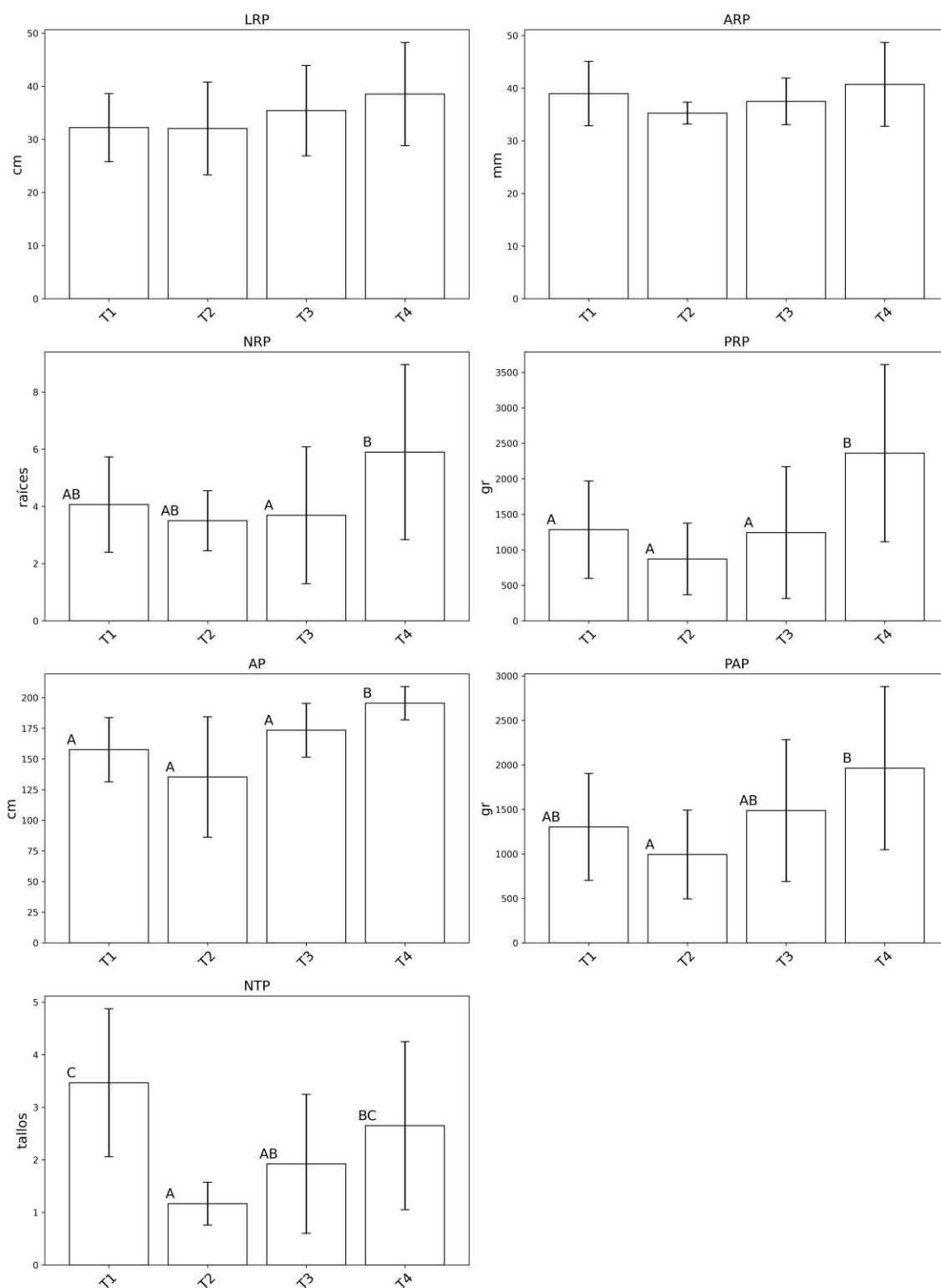


FIGURA 1

Valores medios para las variables morfológicas de *Manihot esculenta* variedad IAC 90 con y sin *Trichoderma*. LRP: Largo de Raíces por Planta; ARP: Ancho de Raíces por Planta, NRP: Número de Raíces por Planta, PRP: Producción de Raíces por Planta, AP: Altura de la Planta, PAP: Peso Aéreo por Planta y NTP: Número de Tallos por Planta. T1: control; T2: *T. asperellum* TU2; T3: *T. harzianum* TC7 y T4: *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7. Las barras de error (líneas verticales) representan el desvío estándar. Las letras mayúsculas representan los grupos con significancia estadística según el test de Bonferroni ($p < 0,05$).

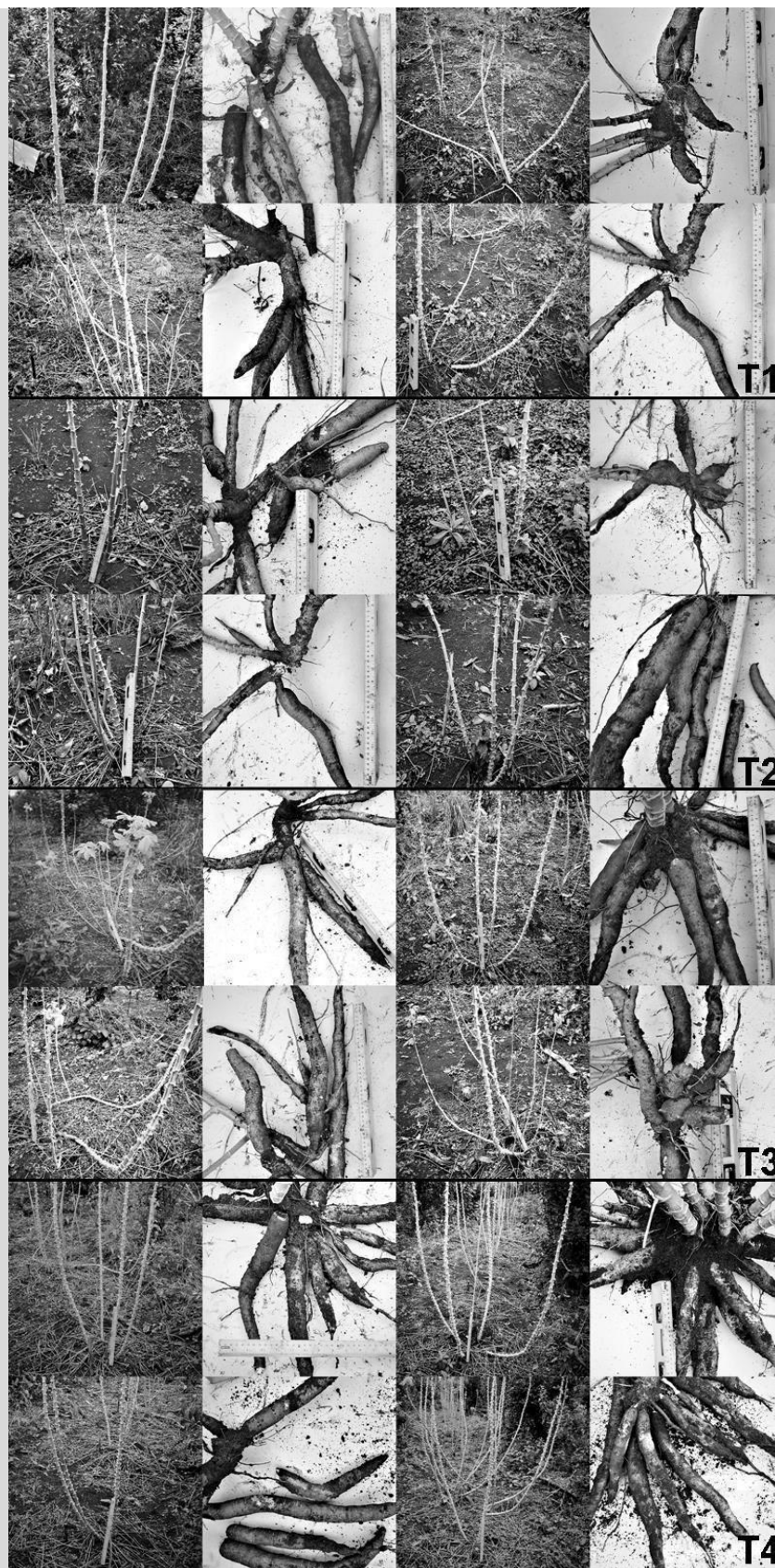


FIGURA 2

Fotografías representativas de las plantas y raíces de *Manihot esculenta* variedad IAC 90 con y sin *Trichoderma* al momento de la cosecha. Referencias: T1: control; T2: *T. asperellum* TU2; T3: *T. harzianum* TC7 y T4: *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7.

Las significancias estadísticas de las correlaciones entre los diferentes caracteres variaron según los tratamientos (Figura 3). El mayor número de correlaciones significativas ($p < 0.05$) se observó en el tratamiento T4, donde PRP se correlacionó de manera fuerte y positiva con NRP (0,91), al igual que PAP se correlacionó de manera fuerte y positiva con NRP (0,86), PRP (0,9) y NTP (0,66). La correlación entre los caracteres PRP y PAP también fue fuerte y positiva para los tratamientos T1 (0,89) y T3 (0,95). Sin embargo, para el tratamiento T2 no se observaron correlaciones estadísticamente significativas entre los caracteres analizados.



FIGURA 3

Correlaciones de Pearson para los caracteres morfológicos de plantas de *M. esculenta* tratadas con y sin *Trichoderma*. LRP: Largo de Raíces por Planta; ARP: Ancho de Raíces por Planta, NRP: Número de Raíces por Planta, PRP: Producción de Raíces por Planta, AP: Altura de la Planta, PAP: Peso Aéreo por Planta y NTP: Número de Tallos por Planta. T1: control; T2: *T. asperellum* TU2; T3: *T. harzianum* TC7 y T4: *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7. Significancia estadística (* < 0,05).

El carácter PRP quedó explicado de manera directa por la variable explicativa NRP en todos los tratamientos siendo su contribución directa de 0,72 ($r^2=0,71$, $p < 0,05$) en T1, 0,61 ($r^2=0,93$, $p < 0,05$) en T2, 0,8 ($r^2=0,88$, $p < 0,05$) en T3 y 0,61 ($r^2=0,83$, $p < 0,05$) en T4 (Figura 3). Por su parte, el carácter ARP contribuyó al carácter PRP con efectos directos de 0,54 ($r^2=0,68$, $p < 0,05$), 0,29 ($r^2=0,57$, $p < 0,05$) y 0,6 ($r^2=0,68$, $p < 0,05$) en los tratamientos T1, T3 y T4, respectivamente (Figura 4).

T1				T2			
Variable	Vía	c.p.	r ²	Variable	Vía	c.p.	r ²
LRP	Directa	0,24	0,27	LRP	Directa	0,48	0,72
Indirecta	ARP	0,2		Indirecta	ARP	-0,05	
	NRP	-0,16	Indirecta	NRP	0,29		
ARP	Directa	0,54	0,68*	ARP	Directa	0,22	0,39
Indirecta	LRP	0,09		Indirecta	LRP	-0,1	
	NRP	0,06	Indirecta	NRP	0,27		
NRP	Directa	0,72	0,71*	NRP	Directa	0,61	0,93*
Indirecta	LRP	-0,05		Indirecta	LRP	0,22	
	ARP	0,04	Indirecta	ARP	0,1		
T3				T4			
Variable	Vía	c.p.	r ²	Variable	Vía	c.p.	r ²
LRP	Directa	0,27	0,33	LRP	Directa	-0,16	0,13
Indirecta	ARP	0,06		Indirecta	ARP	0,41	
	NRP	<0,01	Indirecta	NRP	-0,12		
ARP	Directa	0,29	0,57*	ARP	Directa	0,6	0,68*
Indirecta	LRP	0,05		Indirecta	LRP	-0,11	
	NRP	0,23	Indirecta	NRP	0,18		
NRP	Directa	0,8	0,88*	NRP	Directa	0,61	0,83*
Indirecta	LRP	<0,01		Indirecta	LRP	0,03	
	ARP	0,08	Indirecta	ARP	0,18		

Valor de r²

	< 0
	entre 0 y 0,24
	entre 0,25 y 0,49
	> 0,5

FIGURA 4

Análisis de coeficientes de paso para los caracteres morfológicos medidos sobre la raíz de *Manihot esculenta* variedad IAC 90 con aplicaciones de cepas de *Trichoderma*. Referencias: LRP: Largo de Raíces por Planta; ARP: Ancho de Raíces por Planta, NRP: Número de Raíces por Planta y PRP: Producción de Raíces por Planta; c.p.: coeficiente de determinación parcial; r²: coeficiente de determinación total; T1: control; T2: *T. asperellum* TU2; T3: *T. harzianum* TC7 y T4: *T. asperellum* TU2 + *T. harzianum* TC7. Significancia estadística (* < 0,05).

DISCUSIÓN

La búsqueda e implementación de biofertilizantes es uno de los objetivos fundamentales para la agricultura moderna y, más aún, bajo la perspectiva del manejo integral de los cultivos (Maçik *et al.*, 2020). El uso de microorganismos potencialmente benéficos como *Trichoderma* para promover el crecimiento vegetal en variedades de mandioca ha sido propuesto como una de las principales herramientas en estudios de aumento de la productividad (Otaiku, 2022). El conocimiento acerca del efecto que la aplicación de cepas nativas de *Trichoderma* tiene sobre la productividad en variedades de mandioca resulta de particular interés para obtener información sobre el uso de estas cepas aisladas de suelos de la provincia de Misiones como biofertilizantes.

En el cultivo de mandioca, la variabilidad que presentan los caracteres fenotípicos, tanto subterráneos como aéreos, ha sido extensamente estudiada en distintos ensayos a campo (Oliveira *et al.* 2021). Sin embargo, existen pocos experimentos que evalúen el efecto de la aplicación de bioestimulantes sobre esta variabilidad fenotípica, aunque se sabe que los cambios en la composición microbiana de la rizófora pueden alterar los caracteres morfológicos de las plantas de mandioca (Otaiku *et al.*, 2019). Estudios previos han informado que la estimulación a través de fitohormonas (Utsumi *et al.*, 2020) o la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Byju y Suja, 2020) afectan el

desarrollo vegetativo de las plantas de mandioca y tienen implicancias en su productividad. Al mismo tiempo, en otros ensayos se ha demostrado que las cepas de *Trichoderma* tienen la capacidad de producir fitohormonas (Otaiku, 2022; Reghmit, 2023) y de poner a disposición agua y minerales como el fósforo, el hierro y potasio en el suelo (Stefanello *et al.*, 2017; Guzmán-Guzmán *et al.*, 2019).

En este trabajo, se estudió la variabilidad fenotípica de caracteres morfológicos de importancia productiva en la variedad de mandioca IAC 90 asociada al uso de cepas nativas de *Trichoderma* aisladas de suelos misioneros, bajo un sistema tradicional de cultivo. La mayor variabilidad, considerando los valores de los coeficientes de variación en todos los tratamientos, se observó en la producción de raíces por planta (PRP). Además, existieron diferencias en cinco (NRP, PRP, AP, PAP y NTP) de los siete caracteres morfológicos evaluados. El tratamiento T4 (combinación de las dos cepas) produjo aumentos estadísticamente significativos en PRP y altura de las plantas (AP) respecto al control (T1) y a los tratamientos con especies individuales (T2 y T3). Al mismo tiempo que las cepas de *Trichoderma* ensayadas individualmente (T2 y T3) no produjeron aumentos estadísticamente significativos en los caracteres morfológicos analizados. Estos resultados sugieren que las cepas *T. asperellum* TU2 y *T. harzianum* TC7, aplicadas de manera combinada, tendrían efectos sinérgicos respecto la productividad y altura de las plantas de la variedad IAC 90 bajo un manejo tradicional de cultivo, en comparación a la aplicación de dichas cepas por separado. Esta información estaría acorde con reportes de efectos sinérgicos en la promoción del crecimiento vegetal producto de la combinación de cepas de *Trichoderma* en otros cultivos como *Solanum tuberosum* (Kumar *et al.*, 2022), *S. lycopersicum* y *Glycine max* (Sharma *et al.*, 2020).

En relación a los caracteres tomados sobre las partes subterráneas de las plantas de mandioca, en el presente ensayo no se observaron cambios estadísticamente significativos en el valor medio del largo de raíces (LRP). Este hecho es similar a lo reportado por Stefanello *et al.* (2017) para la variedad de mandioca IAC 90, donde no se observaron cambios estadísticamente significativos en los valores medios de LRP como consecuencia de la aplicación de una cepa de *T. harzianum* en dos sistemas de plantación (tradicional y directo). Sin embargo, la aplicación de *T. harzianum* produjo un aumento estadísticamente significativo en el valor medio de LRP en la variedad de mandioca “Baianinha” bajo sistema de siembra tradicional. De esta manera, puede inferirse que el efecto de *Trichoderma* sobre el largo de las raíces de mandioca dependería de la variedad utilizada y de las condiciones de cultivo.

En cuanto a la producción de las raíces por planta (PRP), en este ensayo la aplicación conjunta de dos cepas de *Trichoderma* (T4) aumentó el valor medio de PRP en 83,9% respecto al control (T1) en coincidencia con lo informado por Hridya *et al.* (2013) quienes obtuvieron un aumento del 16% en el valor medio de PRP en la variedad H-226 al utilizar una cepa de *Trichoderma*, mientras que Stefanello *et al.* (2017) reportaron un aumento estadísticamente significativo del 18,6% en la producción de raíces promedio de dos variedades de mandioca (IAC 90 y “Baianinha”) bajo un sistema tradicional de cultivo utilizando un producto comercial a base de *T. harzianum* SIMBI T5.

En cuanto la altura de las plantas (AP), la aplicación combinada (T4) aumentó su valor medio en 24% respecto a las plantas control (T1). Estos resultados son similares a los datos preliminares, bajo condiciones de invernadero, presentados por Séry *et al.* (2016) quienes obtuvieron un incremento estadísticamente significativo de 21,7% (*Ambispora appendicula*) y 30% (*Ambispora appendicula* y *Ambispora colombiana*) en el valor medio de AP en la variedad de mandioca TME 7, al utilizar micorrizas, respecto a las plantas sin aplicación fúngica.

El estudio de las correlaciones de caracteres morfológicos de interés productivo resulta de particular interés para obtener inferencias sobre el efecto de la aplicación de bioinsumos en la distribución de recursos a lo largo de la planta. Los tratamientos T1 y T4, mostraron una correlación positiva entre NRP y PRP; mientras que T2 y T3 no mostraron correlación entre esos caracteres. Por otro lado, las correlaciones observadas en T4 indicarían que el aumento observado en la producción (PRP) se vio acompañado con aumentos en otros caracteres morfológicos (NRP, AP, PAP y NTP). La contribución del número de raíces a la productividad de mandioca ha sido objeto de estudio de numerosas investigaciones (Oliveira *et al.*, 2021) las cuales reportan que NRP tiene la mayor contribución en PRP, respecto a otros caracteres. Esto es similar a los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde todos los tratamientos mostraron una contribución directa de NRP a PRP. Además, los tratamientos T1, T3 y T4 mostraron una contribución significativa del ancho de las raíces (ARP) a PRP. Es decir, las aplicaciones de *Trichoderma* no tuvieron efecto diferencial sobre la contribución de los caracteres morfológicos de las raíces y la productividad en la variedad IAC 90 bajo un manejo tradicional de cultivo.

En función de los resultados obtenidos en este trabajo, y sobre la base de la información presentada por Otaiku *et al.* (2019) y Kumar *et al.* (2022), se destaca la necesidad de ensayar cepas de *Trichoderma* con potencial biofertilizante en plantas de mandioca por separado y en conjunto.

CONCLUSIONES

Las cepas ensayadas individualmente (*T. asperellum* TU2 y *T. harzianum* TC7) no produjeron efectos estadísticamente significativos en los caracteres morfológicos evaluados en la variedad de mandioca IAC 90 bajo un manejo tradicional del cultivo. La aplicación combinada con *T. asperellum* TU2 y *T. harzianum* TC7 incrementó el peso de las raíces y la altura de las plantas en la variedad de mandioca IAC 90 bajo un manejo tradicional del cultivo.

Agradecimientos

L.M. agradece al Comité Ejecutivo de Desarrollo e Innovación Tecnológica por la beca otorgada en la 1er Convocatoria de Becas 2018 (Resolución Nro. 116/2018) en el marco de la cual se desarrolló el presente trabajo. Los autores agradecen al Sr. Alfredo Bruera por facilitar el material vegetal, el espacio para la siembra, la logística para la realización del ensayo y el cuidado del terreno de siembra y de las plantas durante la realización del experimento.

Contribución de los autores

Referencias. 1-administración del proyecto, 2-adquisición de fondos, 3-análisis formal, 4-conceptualización, 5-curaduría de datos, 6-escritura, revisión y edición, 7-investigación, 8-metodología, 9-recursos, 10-redacción, borrador original, 11-software, 12-supervisión, 13-validación, 14-visualización.

Nombre del autor	Colaboración académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Lucas M. Madrassi			X	X	X	X	X	X		X	X			X
Camila R. Bruera			X	X		X		X	X		X			X
María C. Vedoya	X	X				X			X			X		
María V. García	X	X	X	X		X		X	X			X	X	

REFERENCIAS

- Bonferroni, C. E. (1935). Il calcolo delle assicurazioni su gruppi di teste. En S. Ortu Carboni, *Studi in onore del professore Salvatore Ortu Carboni* (pp. 13-60). Bardi.
- Box, G. E. y Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 26(2), 211-243. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x>
- Byju, G. y Suja, G. (2020). Mineral nutrition of cassava. *Advances in Agronomy*, 159, 169-235. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.08.005>
- Ceballos, H. y de la Cruz, G. (2012). Cassava taxonomy and morphology. En B. Ospina Patiño y H. Ceballos (Eds.), *Cassava in the third millennium: Modern production, processing, use, and marketing systems* (pp.15-28). CIAT, CLAYUCA, CTA. <https://hdl.handle.net/10568/81842>
- da Silva, J. A. T., de Medeiros, E. V., da Silva, J. M., Tenório, D. D. A., Moreira, K. A., da Silva Nascimento, T. C. E. y Souza-Motta, C. (2017). Antagonistic activity of *Trichoderma* spp. against *Scytalidium lignicola* CMM 1098 and antioxidant enzymatic activity in cassava. *Phytoparasitica*, 45(2), 219-225. <https://doi.org/10.1007/s12600-017-0578-x>
- de Olanda Souza, G. H., de Oliveira Aparecido, L. E., de Moraes, J. R. D. S. C. y Botega, G. T. (2022). Climate change and its influence on planting of cassava in the Midwest region of Brazil. *Environment, Development and Sustainability*, 25(5), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02088-3>
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C. W. (2020). *InfoStat* [Software]. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado el 28 de julio de 2023 de <http://www.infostat.com.ar>
- El-Komy, M. H., Al-Qahtani, R. M., Ibrahim, Y. E., Almasrahi, A. A. y Al-Saleh, M. A. (2022). Soil application of *Trichoderma asperellum* strains significantly improves Fusarium root and stem rot disease management and promotes growth in cucumbers in semi-arid regions. *European Journal of Plant Pathology*, 162(3), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02427-0>
- Food and Agriculture Organization. (2013). *Save and Growth: Cassava*. FAO Publications.
- Fukuda, W. M. G., Guevara, C. L., Kawuki, R. y Ferguson, M. E. (2010). *Selected morphological and agronomic descriptors for the characterization of cassava*. International Institute of Tropical Agriculture. <https://doi.org/10.25502/pfbm-9233/p>

- Günther, D. F., Correa de Temchuk, M. y Lysiak, E. (2008). *Zonas agroeconómicas homogéneas y sistemas de producción predominantes de la Provincia de Misiones* (No. 333.7616 G977). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Guzmán-Guzmán, P., Porras-Troncoso, M. D., Olmedo-Monfil, V. y Herrera-Estrella, A. (2019). *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. *Phytopathology*, 109(1), 6-16. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-18-0218-RVW>
- Hollander, M., Wolfe, D. A., y Chicken, E. (2013). *Nonparametric statistical methods*. John Wiley & Sons.
- Hoyos-Carvajal, L. y Bissett, J. (2011). Biodiversity of *Trichoderma* in neotropics. En O. Grillo (Ed.), *The dynamical processes of biodiversity-case studies of evolution and spatial distribution* (pp. 303-320). InTech.
- Hridya, A. C., Byju, G. y Misra, R. S. (2012). Effect of biocontrol agents and biofertilizers on root rot, yield, harvest index and nutrient uptake of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(9), 1215-1227. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.702896>
- Integrated Taxonomic Information System (2022). *Manihot esculenta* Crantz. Recuperado el 2 de agosto de 2023 de: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=503688#null
- Kubheka, B. P. y Ziena, L. W. (2022). *Trichoderma*: A Biofertilizer and a Bio-Fungicide for Sustainable Crop Production. En F. Cezar Juliatti (Ed.), *Trichoderma - Technology and Uses*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102405>
- Kumar, S., Chandra, R., Behera, L., Keswani, C. y Sansinenea, E. (2022). Dual *Trichoderma* consortium mediated elevation of systemic defense response against early blight in potato. *European Journal of Plant Pathology*, 162(3), 681-696. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02431-4>
- López, A. C. (2021). *Selección y caracterización de microorganismos con capacidad antifúngica y fertilizante aislados de la rizósfera de plantas de yerba mate de la provincia de Misiones para su aplicación como promotores del crecimiento vegetal* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/119072>
- Maçik, M., Gryta, A. y Fraç, M. (2020). Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 162, 31-87. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001>
- Madrassi, L. M., Alvarenga, A. E. y Vedoya, M. C. (2024). Antagonistic activity of biocontrol agent *Trichoderma* spp. against *Fusarium* sp., causal agent of *Ananas comosus* fruitlet rot. *Bionatura Journal*, 1(2),11.
- Manzar, N., Kashyap, A. S., Goutam, R. S., Rajawat, M. V. S., Sharma, P. K., Sharma, S. K. y Singh, H. V. (2022). *Trichoderma*: Advent of Versatile Biocontrol Agent, Its Secrets and Insights into Mechanism of Biocontrol Potential. *Sustainability*, 14(19), 12786. <https://doi.org/10.3390/su141912786>
- Martínez-Crovetto, R. (1963). Esquema fitogeográfico de la provincia de Misiones (República Argentina). *Bonplandia*, 1(3), 171-223. <https://www.jstor.org/stable/41941088>
- Menegucci, N. C. (2020). *Mandioca para indústria: matéria seca e nutrientes em plantas de mandioca com diferentes estádios de desenvolvimento* [Tesis de maestría, Universidade Estadual Paulista]. <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/194442>
- Nafady, N. A., Sultan, R., El-Zawahry, A. M., Mostafa, Y. S., Alamri, S., Mostafa, R. G., Hashem, M. y Hassan, E. A. (2022). Effective and promising strategy in management of tomato root-knot nematodes by *Trichoderma harzianum* and Arbuscular Mycorrhizae. *Agronomy*, 12(2), 315. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020315>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *Agricultural Outlook 2021-2030*. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO.
- Oliveira, C. R. S. D., Borel, J. C., Pereira, D. A., Carvalho, B. P. D., Medrado, E. D. S., Ishikawa, F. H. y Oliveira, E. J. D. (2021). Genetic parameters and path analysis for root yield of cassava under drought and early harvest. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 21(3). <https://doi.org/10.1590/1984-70332021v21n3a46>
- Otaiku, A. A. (2022). Biofertilizer impacts| Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivation crop yield and regenerative agriculture. *Global Journal of Agricultural Research*, 10(1), 1-90. <https://tudr.org/id/eprint/394/>
- Otaiku, A. A., Mmom, P. C. y Ano, A. O. (2019). Biofertilizer impacts on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cultivation: Improved soil health and quality, Igbariam, Nigeria. *World Journal of Agriculture and Soil Science*, 4(1), 1-14. <http://dx.doi.org/10.33552/WJASS.2019.04.000578>
- Padawer, A. (2018). Las buenas prácticas agrícolas en la producción de mandioca en el noreste argentino (1999-2017): homogeneización y autonomía para la definición de problemas acerca de un cultivo. *Redes*, 24(47), 141-159. <https://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/3423>
- Pannakkong, W., Parthanadee, P. y Buddhakulsomsiri, J. (2022). Impacts of harvesting age and pricing schemes on economic sustainability of cassava farmers in Thailand under market uncertainty. *Sustainability*, 14(13), 7768. <https://doi.org/10.3390/su14137768>

- Pearson, E. S. (1931). The test of significance for the correlation coefficient. *Journal of the American Statistical Association*, 26(174), 128-134. <https://www.jstor.org/stable/2277761>
- Promwee, A. y Intana, W. (2022). *Trichoderma asperellum* (NST-009): A potential native antagonistic fungus to control *Cercospora* leaf spot and promote the growth of 'Green Oak' lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in the commercial NFT hydroponic system. *Plant Protection Science*, 58(2), 139-149. <https://doi.org/10.17221/69/2021-PPS>
- Rachmawati, R. S., Khumaida, N., Ardie, S. W., Sukma, D. y Sudarsono, S. (2022). Effects of harvest period, storage, and genotype on postharvest physiological deterioration responses in cassava. *Biodiversitas. Journal of Biological Diversity*, 23(1), 100-109. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230113>
- Reghmit, A. (2023). Phytohormones and biomolecules produced by *Trichoderma* strains as eco-friendly alternative for stimulation of plant growth. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1002017>
- Rifai, M. A. (1969). A revision of the genus *Trichoderma*. *Mycological Papers*, 116, 1-56.
- Samuels, G. J., Ismaiel, A., Bon, M. C., De Respinis, S. y Petrini, O. (2010). *Trichoderma asperellum* sensu lato consists of two cryptic species. *Mycologia*, 102(4), 944-966. <https://doi.org/10.3852/09-243>
- Schultz, B. B. (1985). Levene's test for relative variation. *Systematic Zoology*, 34(4), 449-456. <https://doi.org/10.2307/2413207>
- Séry, D. J. M., Kouadjo, Z. C., Voko, B. R. y Zeze, A. (2016). Selecting native arbuscular mycorrhizal fungi to promote cassava growth and increase yield under field conditions. *Frontiers in Microbiology*, 7, 2063. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02063>
- Shapiro, S. S., y Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591-611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Sharma, P., Jambhulkar, P. P., Raja, M., Sain, S. K. y Javeria, S. (2020). *Trichoderma* spp. in consortium and their rhizospheric interactions. En A. Sharma y P. Sharma (Eds.), *Trichoderma: Host Pathogen Interactions and Applications* (pp. 267-292). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1_14
- Stefanello, L. (2016). *Produtividade e controle de podridão radicular na cultura da mandioca (Manihot esculenta) com o uso de Trichoderma spp.* [Tesis de doctorado, Universidad Estatal del Oeste de Paraná]. <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1330>
- Stefanello, L., Stefanello, V. F. V., Heling, A. L., Henkemeier, N. P., Coltro-Roncato, S., Kuhn, O. J. y Stangarlin, J. R. (2017). Management of cassava root rot disease by the combination of soil management, resistant variety and biological control with *Trichoderma harzianum*. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, 13, 31-45.
- Stummer, B. E., Zhang, X., Yang, H. y Harvey, P. R. (2022). Co-inoculation of *Trichoderma gamsii* A5MH and *Trichoderma harzianum* Tr906 in wheat suppresses in planta abundance of the crown rot pathogen *Fusarium pseudograminearum* and impacts the rhizosphere soil fungal microbiome. *Biological Control*, 165, 104809. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104809>
- Trentini, C. P., Campanello, P. I., Villagra, M., Ferreras, J. y Hartmann, M. (2020). Thinning partially mitigates the impact of Atlantic forest replacement by pine monocultures on the soil microbiome. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1491. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01491>
- Utsumi, Y., Tanaka, M., Utsumi, C., Takahashi, S., Matsui, A., Fukushima, A., Kobayashi, M., Sasaki, R., Oikawa, A., Kusano, M., Saito, K., Kojima, M., Sakakibara, H., Sojikul, P., Narangajavana, J. y Seki, M. (2020). Integrative omics approaches revealed a crosstalk among phytohormones during tuberous root development in cassava. *Plant Molecular Biology*, 109, 249-269. <https://doi.org/10.1007/s11103-020-01033-8>
- von Crantz, H. J. N. (1766). *Institutiones rei herbariae: juxta nutum naturae digestae ex habitu.* (Vol.1). Impensis Joannis Pauli Kraus.
- Wooding, S. P. y Payahua, C. N. (2022). Ethnobotanical Diversity of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in the Peruvian Amazon. *Diversity*, 14(4), 252. <https://doi.org/10.3390/d14040252>
- Worlu, C. W., Nwauzoma, A. B., Chuku, E. C. y Ajuru, M. G. (2022). Comparative Effects of *Trichoderma* species on Growth Parameters and Yield of *Zea mays* (L.). *GPH-International Journal of Biological and Medicine Science*, 5(02), 01-09.
- Wright, S. (1918). On the nature of size factors. *Genetics*, 3(4), 367-374. <https://doi.org/10.1093/genetics/3.4.367>
- Yadav, M., Dubey, M. K. y Upadhyay, R. S. (2021). Systemic Resistance in Chilli Pepper against Anthracnose (Caused by *Colletotrichum truncatum*) induced by *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum* and *Paenibacillus dendritiformis*. *Journal of Fungi*, 7(4), 307. <https://doi.org/10.3390/jof7040307>