



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



“Determinación del efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma spp.* en la disponibilidad de fósforo en el tejido vegetal.”

Autores:

- Monar Encarnación Samira Lisbeth
- Yánez Zambrano Ronald Fabricio

Tutor:

- Edison Javier Romero Salguero



INTRODUCCIÓN

01



En las regiones cálidas de Ecuador, el cultivo de ají (*Capsicum chinense* Jacq.) se ha consolidado como una alternativa altamente rentable y estratégica para pequeños productores, impulsado por su creciente demanda comercial e industrial durante la última década.



Según Vallejo (2023), aproximadamente el 96 % de la materia prima de ají producida en el Ecuador se exporta a mercados internacionales. Por otro lado, apenas un pequeño porcentaje permanece en el país, destinado principalmente al abastecimiento de grandes empresas nacionales.



El fósforo constituye un nutriente clave para el crecimiento y la productividad del ají, pero su aprovechamiento se ve restringido por procesos de fijación que lo inmovilizan en el suelo, reduciendo drásticamente su eficiencia de absorción por las raíces.



Estudios recientes en diversos cultivos demuestran que estos microorganismos pueden incrementar el contenido de P en tejido vegetal, mejorar el crecimiento aéreo y radical, e incluso potenciar la respuesta productiva bajo condiciones de baja fertilidad.





SISTEMA DE OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma* spp. en la absorción de fósforo en el tejido vegetal.

Objetivos Específicos

Implementar parcelas experimentales con tratamientos de inoculación de HMA, *Trichoderma* spp. y su coinoculación, en el cultivo de ají.

Determinar la absorción de fósforo por el cultivo en función de cada uno de los tratamientos.

Evaluar la colonización micorrízica a nivel radicular y la densidad poblacional de *Trichoderma* spp. en la rizosfera.

Analizar el efecto de los tratamientos sobre parámetros agronómicos (altura, número de hojas, flores, frutos, peso del fruto, tamaño de la raíz, producción) y bromatológicos (°brix, pH del fruto, firmeza, contenido de capsaicina), del cultivo de ají.

02





HIPÓTESIS NULA

No existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados para la evaluación de la efectividad de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma* spp. en la disponibilidad de fósforo en el tejido vegetal.



HIPÓTESIS ALTERNATIVA

Al menos un tratamiento aplicado genera diferencia significativa para la evaluación de la efectividad de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma* spp. en la disponibilidad de fósforo en el tejido vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

04





MATERIALES

- Piola
- Estacas
- Cinta métrica
- Caracas
- Alambre
- Grapas
- Manguera
- Tanque de 2000 L
- Tanque de 200 L
- Aspersores
- Uniones
- Uniones tipo T
- Adaptadores
- Abrazaderas
- Amarras
- Teflón
- Gabinete metálico (30 × 15 × 20 cm)
- Cable de luz
- Baldes
- Tarrinas

ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO

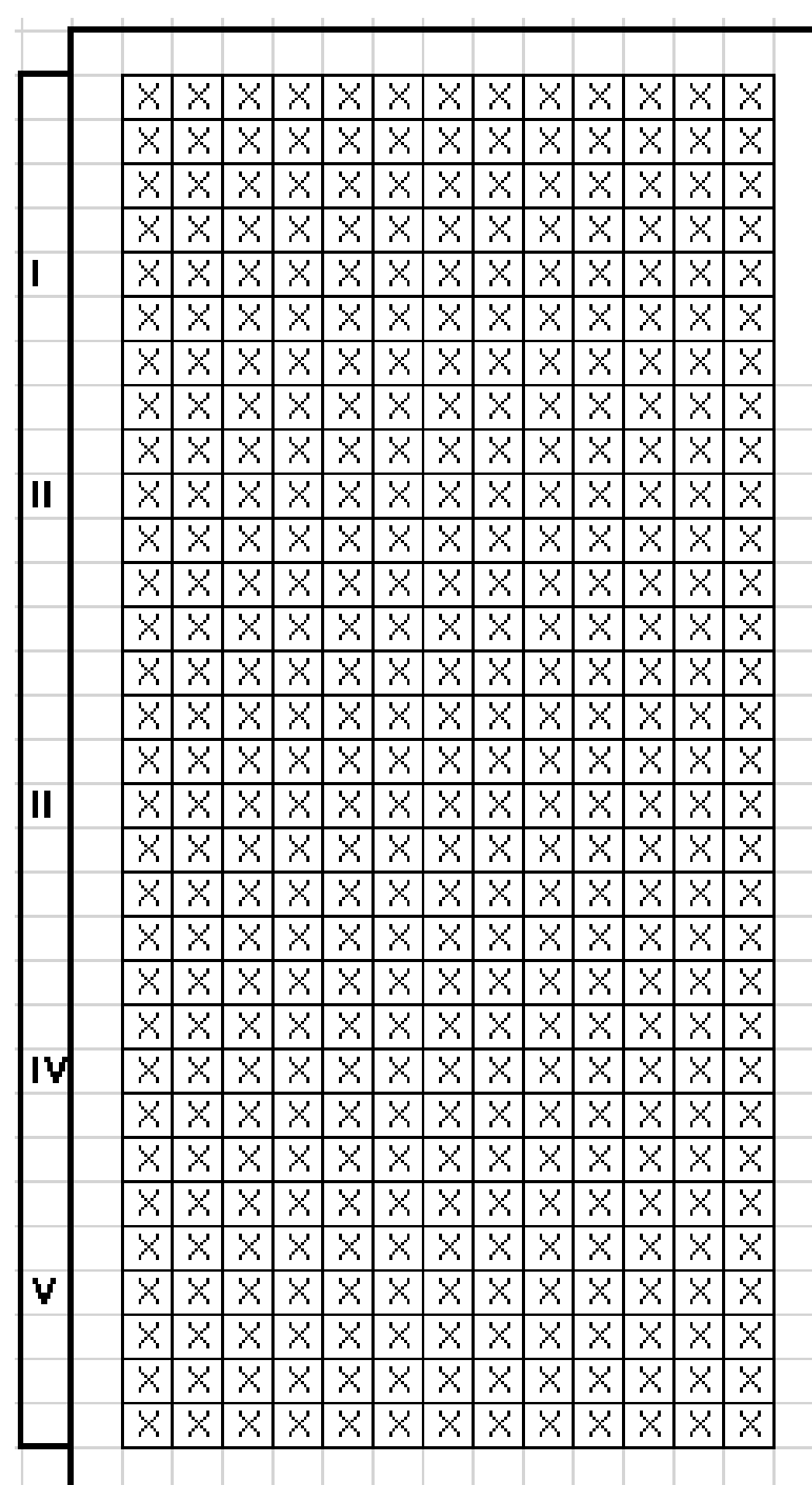
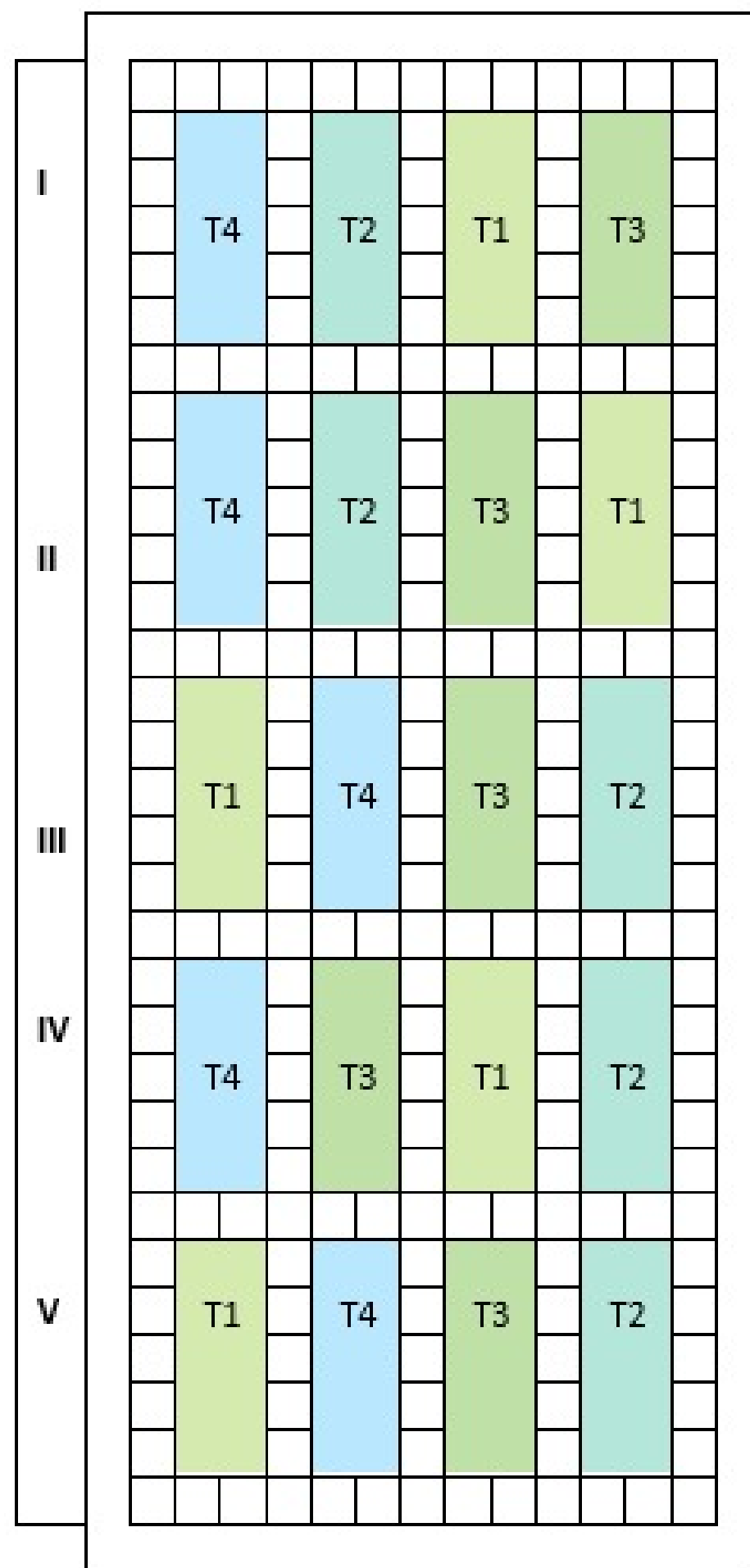
EQUIPOS

- Azadón
- GPS
- Machete
- Celular
- Pala
- Cava hoyos manual
- Martillo
- Bomba de 1 HP
- Programador reloj digital 110 V
- Contactor de dos polos (18–110 V)
- Breaker de 2 polos (16 amperios)
- Bomba de fumigar
- Dosificador
- Balanza
- Regaderas

INSUMOS

05

- Agua
- Glufosinato
- Glifosato
- Acetamiprid
- Abamectina
- Fosetil aluminio
- Micronutrientes
- Algas marinas
- Regulador de pH y fijador
- Melaza
- Urea
- DAP
- Muriato de potasio
- Sustrato con micorrizas (Fungifert)
- Sustrato con *Trichoderma* spp. (TrichoBio)
- Sustrato normal
- Plántulas de ají



T1	<i>Trichoderma</i>
T2	Micorriza
T3	Mic+ Tricho
T4	Testigo

Ancho m	9
Largo m	20
Total m2	180
Distanciamiento / planta	0.65
Distanciamiento / hilera	0.75
# plantas	403
# plantas a evaluar (UE)	10



Tratamientos

Simbología

Trichoderma

T1

Micorriza

T2

Trichoderma + Micorriza

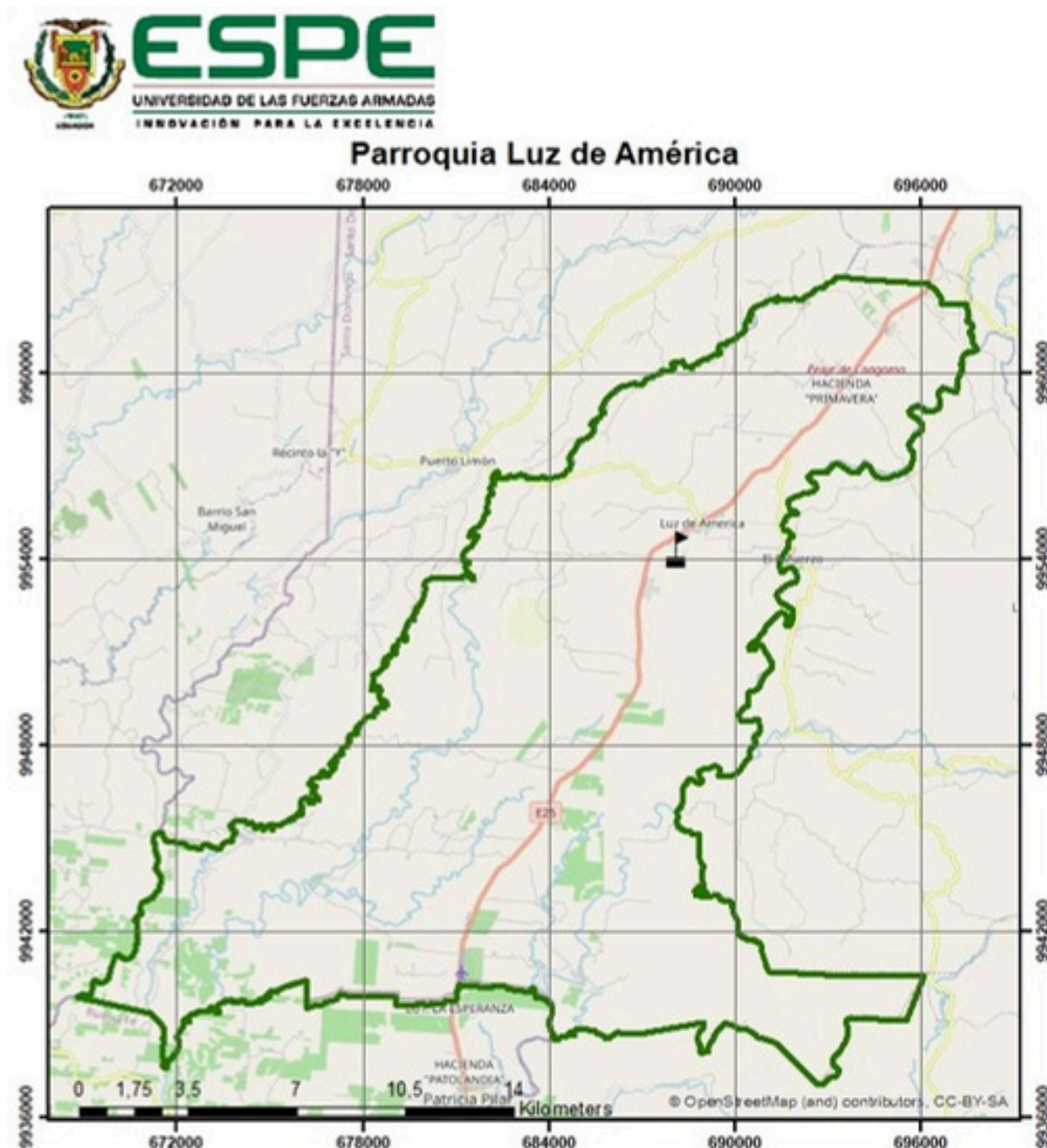
T3

Testigo

T4



Ubicación del área de investigación



Ubicación Política	
País:	Ecuador
Provincia:	Santo Domingo de los Tsáchilas
Cantón:	Santo Domingo
Parroquia:	Luz de América
Dirección:	Vía Santo Domingo-Quevedo Km 24

Ubicación Ecológica	
Zona de vida:	Bosque Húmedo Tropical, (bh-T)
Temperatura:	24-26°C
Humedad:	89%
Pluviosidad:	2980 mm anuales
Altitud:	276 m.s.n.m.
Heliofanía:	660 horas/luz/año

Implementación del cultivo

09



Limpieza del terreno



Arado



Surcado



Hoyado



Instalación eléctrica



Instalación de Riego

Implementación del cultivo

10



Inoculación

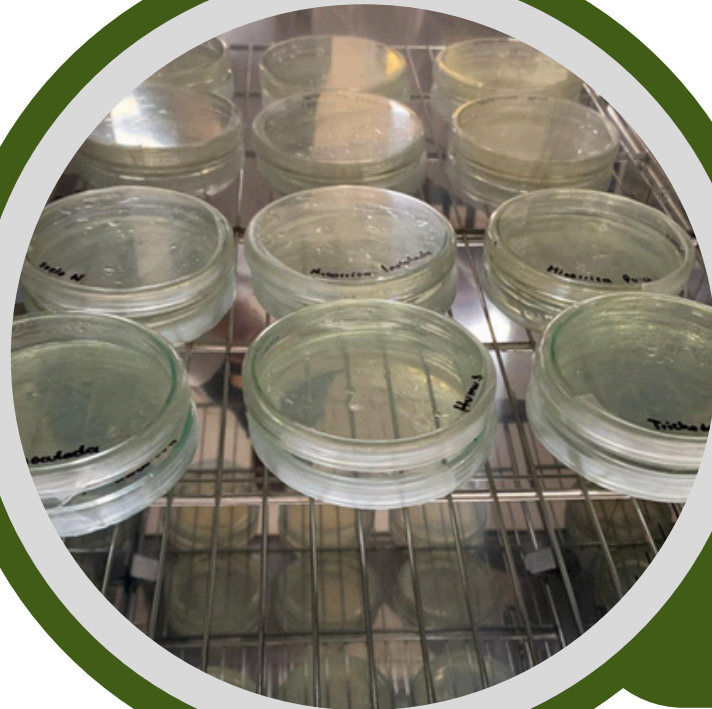


Fertilización



Siembra

Fase de laboratorio



Siembra de
microorganismos



Observación
en
microscopio



RESULTADOS



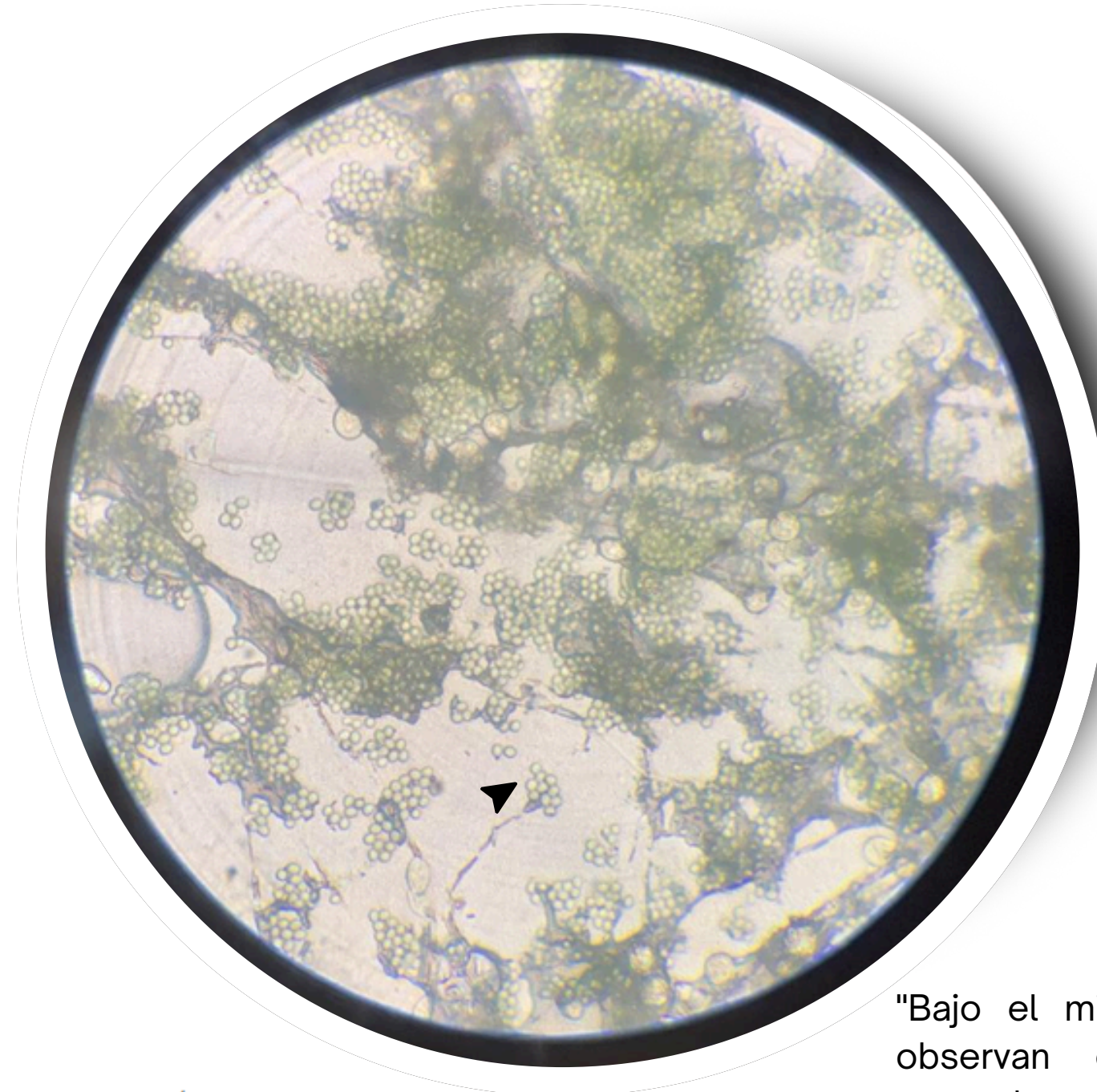
Trichoderma spp.



***Trichoderma*
sembrada en
caja petri**

$$UFC/g = \frac{340 \times 10^4}{10}$$

340000 propagulos viables por gramo de suelo.



***Trichoderma*
observada bajo el
microscopio**

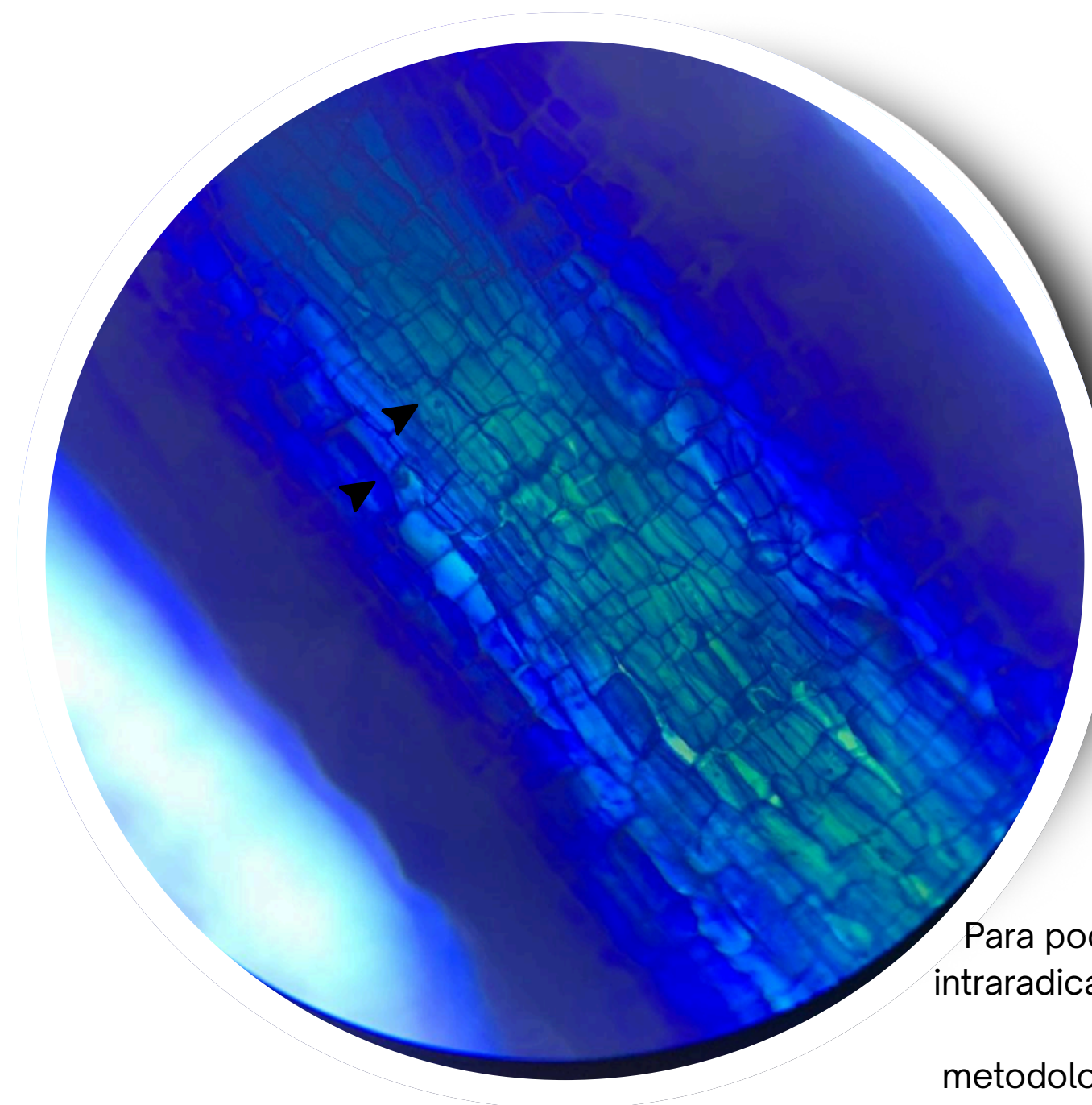
"Bajo el microscopio, las hifas se observan con hinchazones bien marcadas, micelio sin septos y esporangio ovoide, características particulares para identificar este tipo de microorganismo" (Barboza-García,2022).

Micorrizas arbusculares (HMA)

13



Aclarado de raíz con KOH para observar micorriza

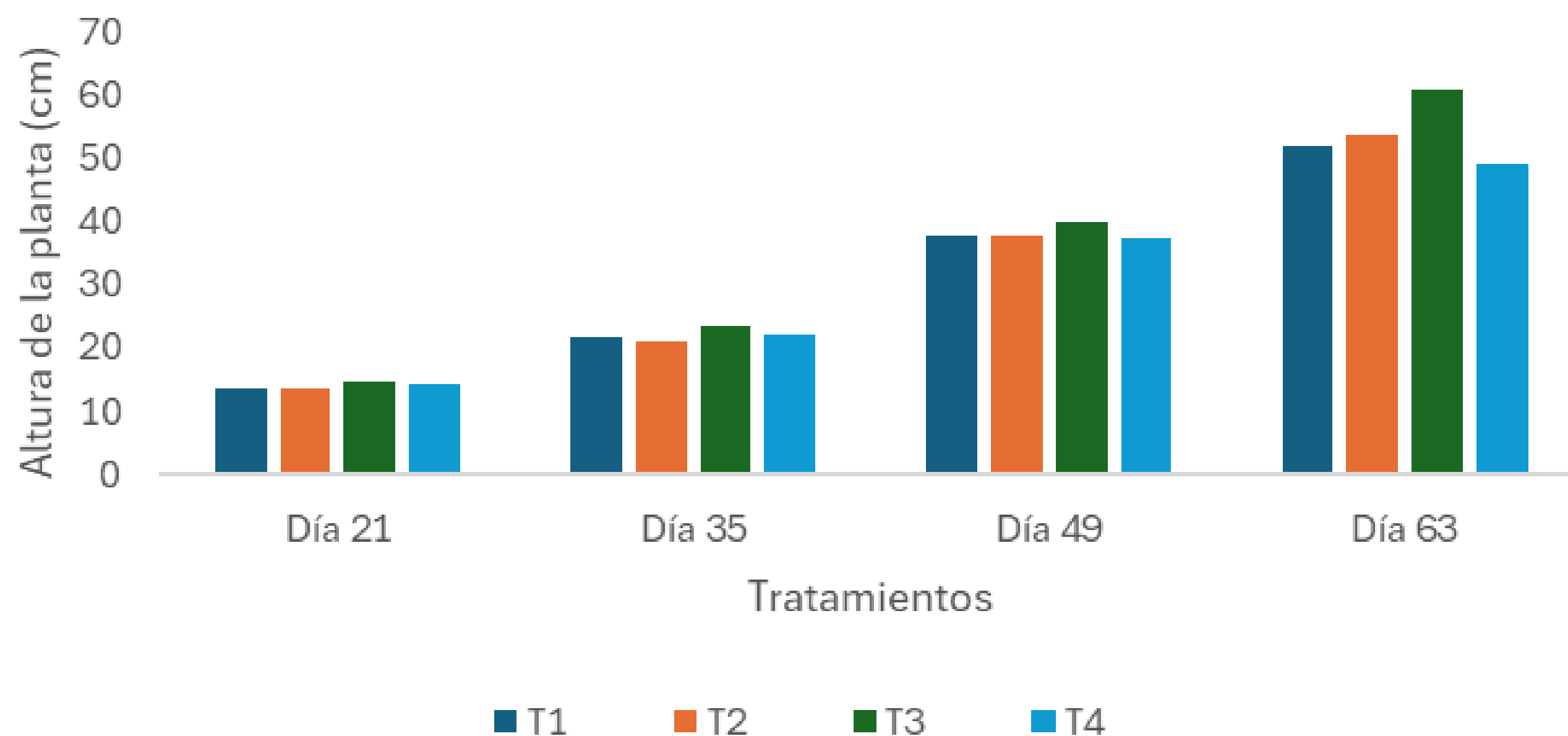


Micorriza observada bajo el microscopio

Para poder estudiar la colonización intraradical de las micorrizas se suelen utilizar diferentes metodologías de coloración de raíces (Vierheilig, 2005)

La colonización progresa mediante hifas septadas que se extienden a lo largo de las células corticales, donde se forman arbuscúlos y/o vesículas que penetran la célula hospedera y facilitan la absorción de nutrientes.

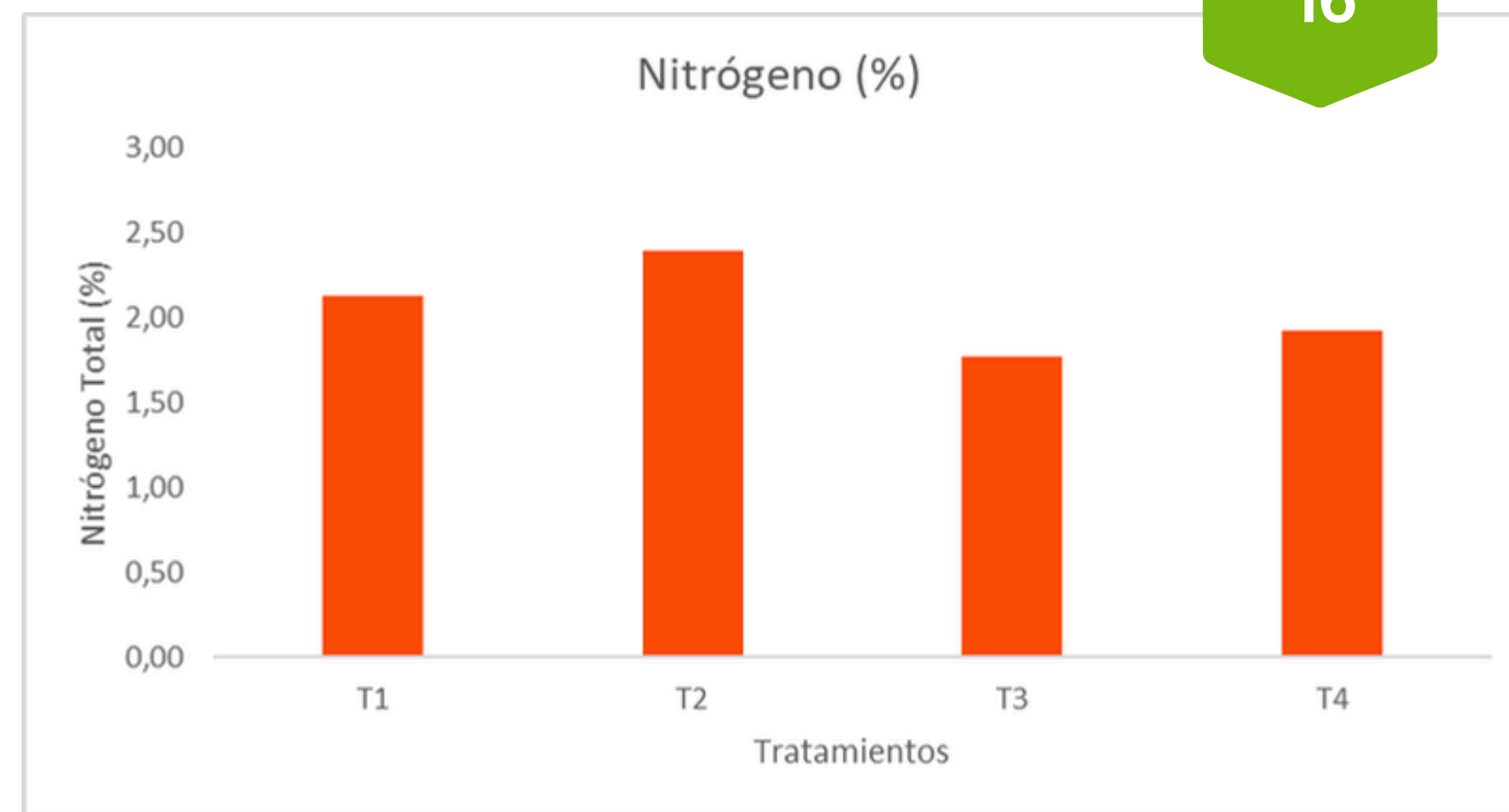
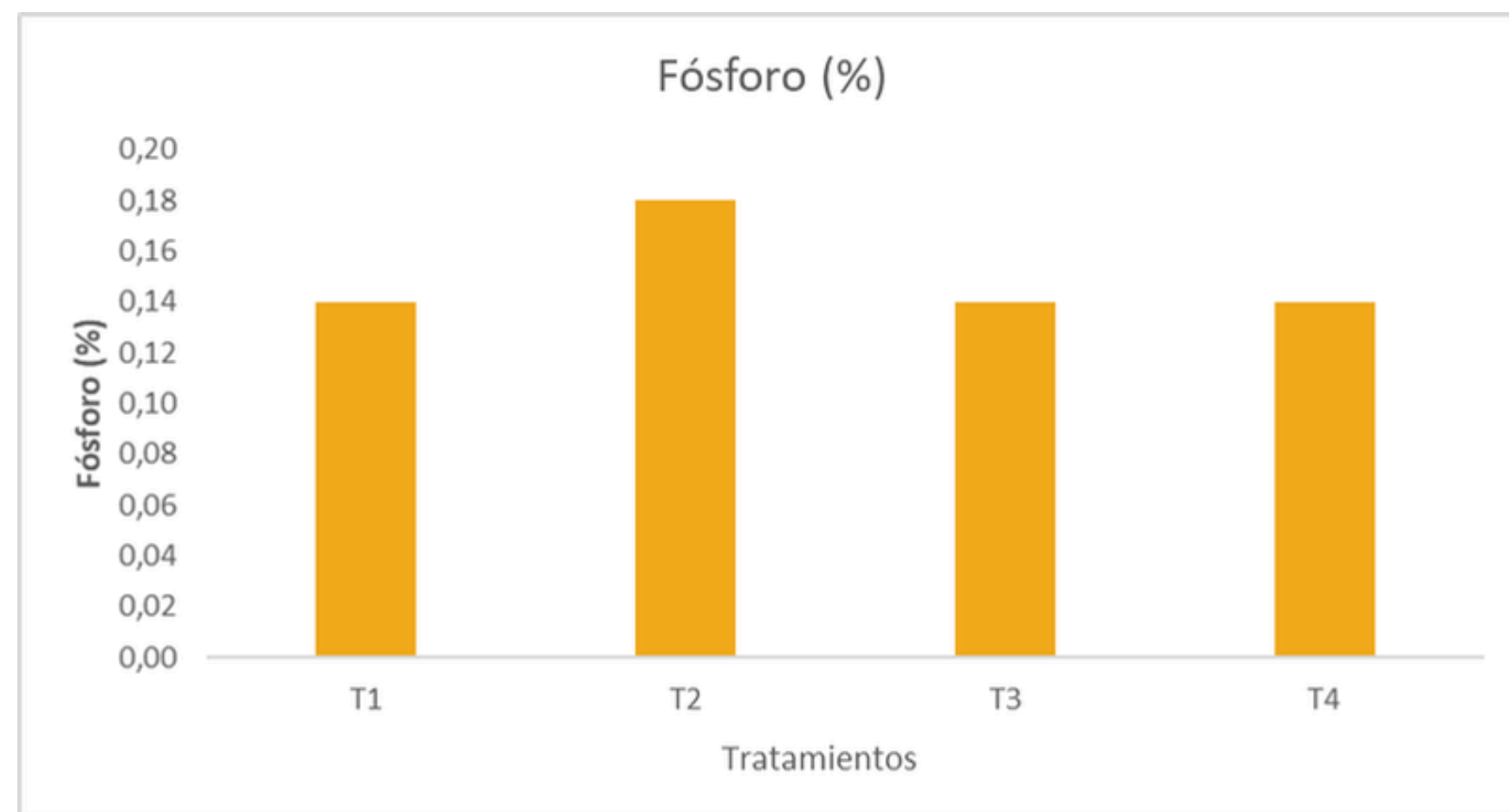
Crecimiento en altura de las plantas durante el período de evaluación



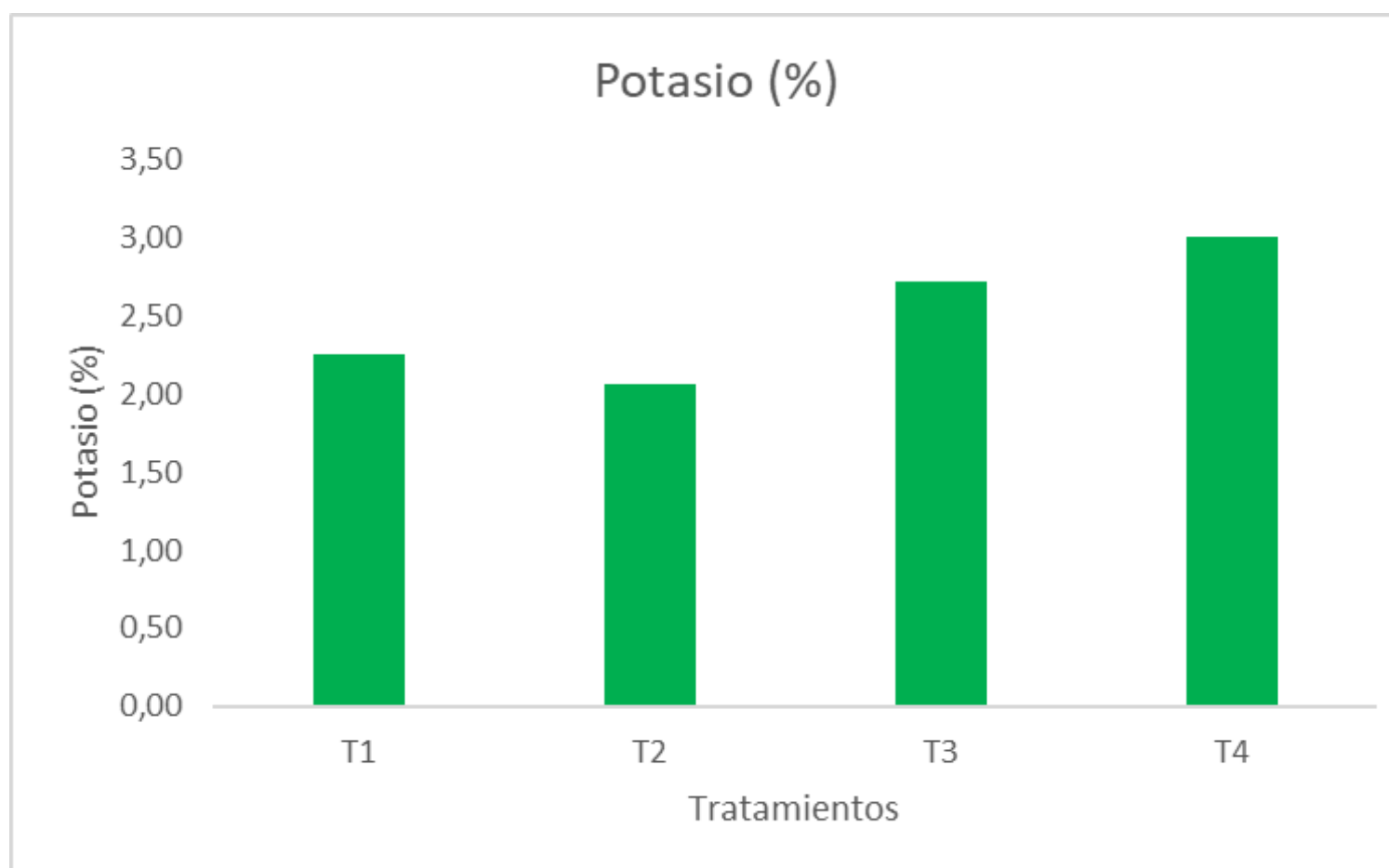
(Salazar et al., 2023) La combinación de *Trichoderma* y de las micorrizas, son altamente beneficiosas para el cultivo porque contribuye tanto en el crecimiento de la planta siendo mediador de nutrientes y como un biocontrolador.



(Mu et al., 2020) La aplicación de hongos micorrízicos arbusculares incrementa significativamente la longitud total, el área superficial y el volumen del sistema radicular, lo que optimiza la exploración del suelo y mejora la calidad final del cultivo.



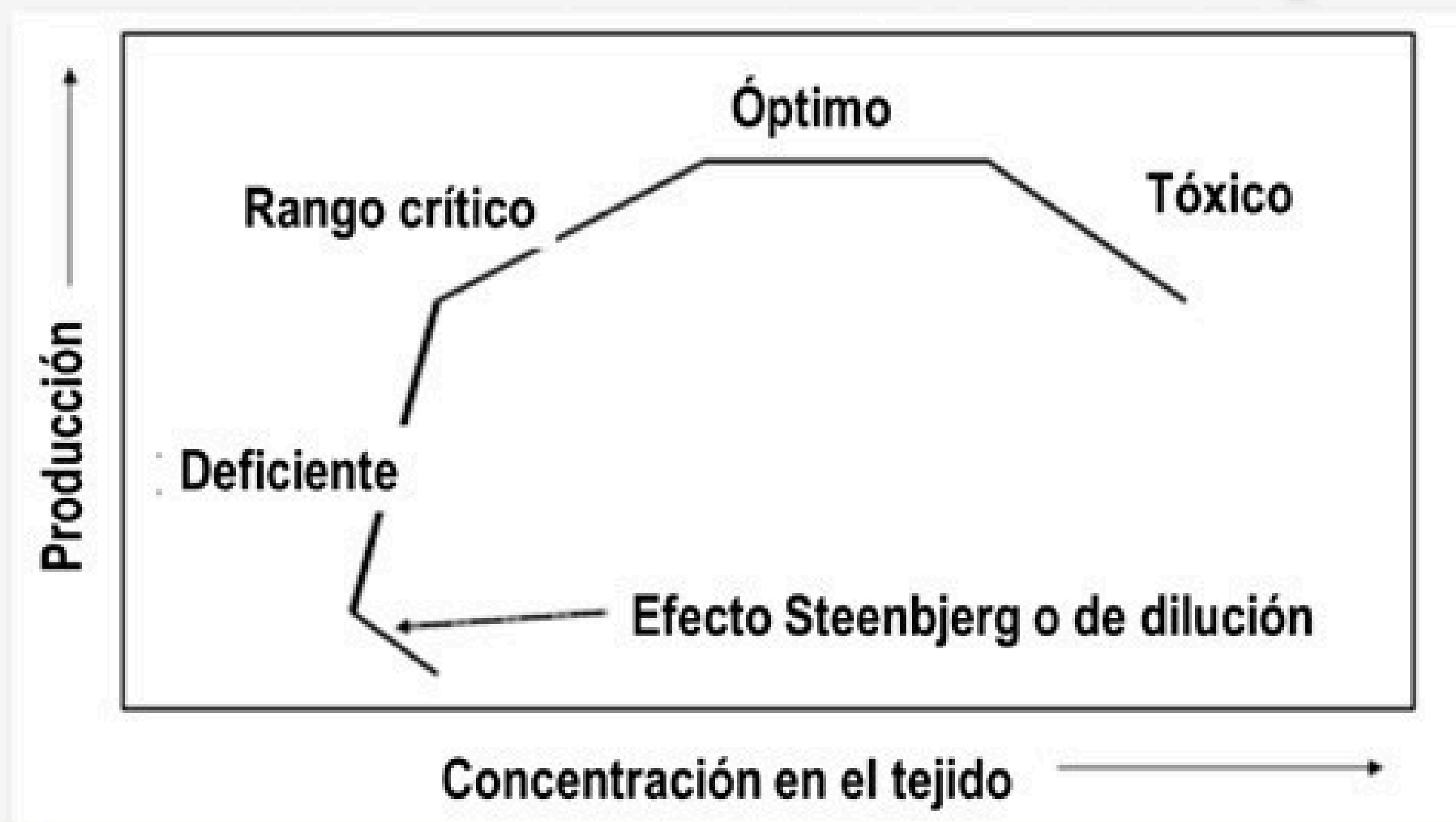
(Guerra Sierra, 2008) Las micorrizas funcionan como una extensión de la raíz que permite captar fósforo a una distancia mayor de la zona de agotamiento, transportándolo eficientemente hacia la planta a través de las hifas del hongo.



(Hussein et al., 2024) La interacción sinérgica entre *Trichoderma* y las micorrizas arbusculares mejora significativamente la disponibilidad y absorción de nutrientes como el nitrógeno y el potasio, lo que fortalece el metabolismo de la planta y aumenta su biomasa.

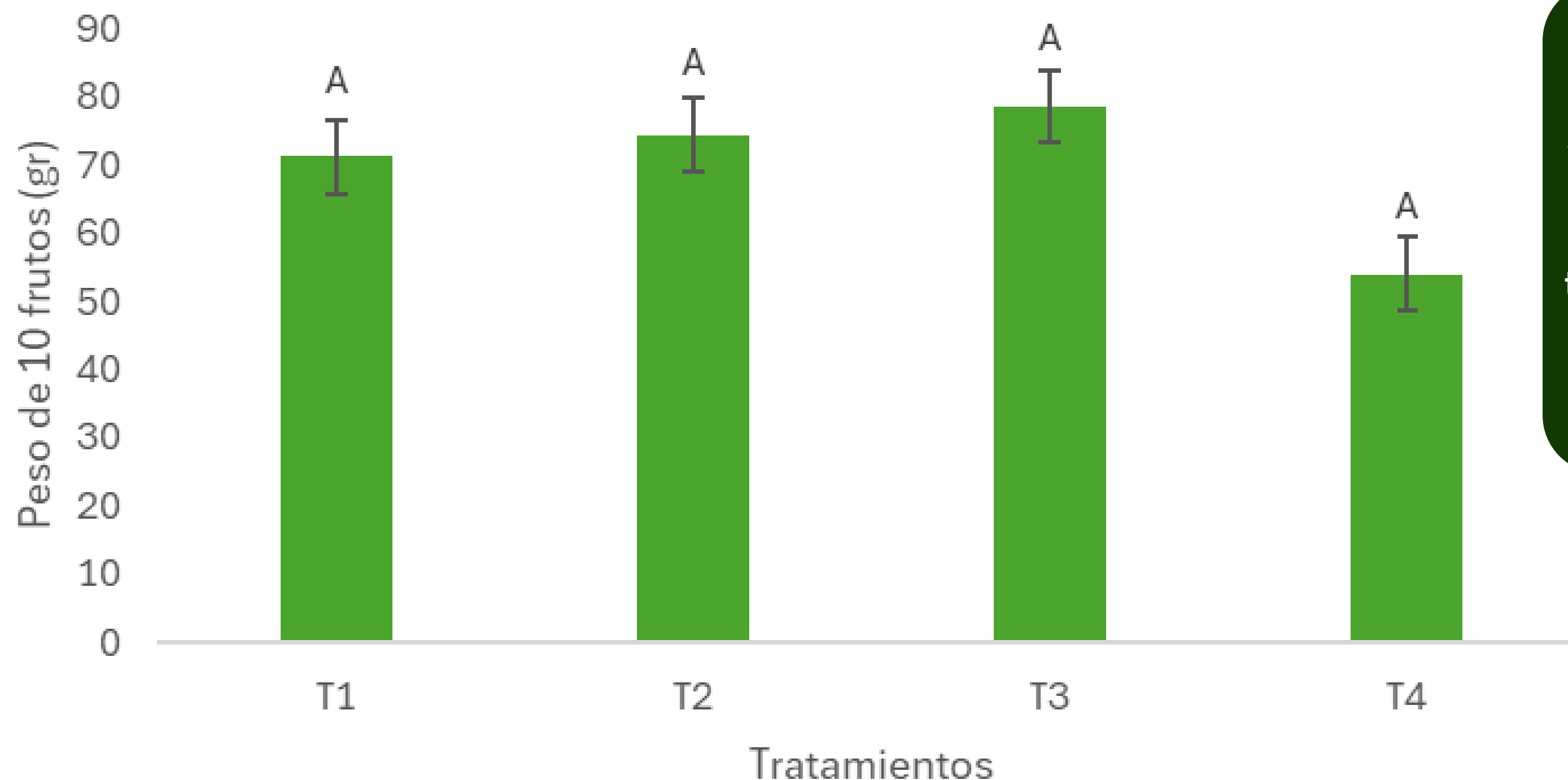


Niveles de nutrientes en el follaje



Principio de Steenbjerg: Si la producción se incrementa por la absorción de un nutriente, la concentración de ese u otros nutrientes en la planta disminuirá.

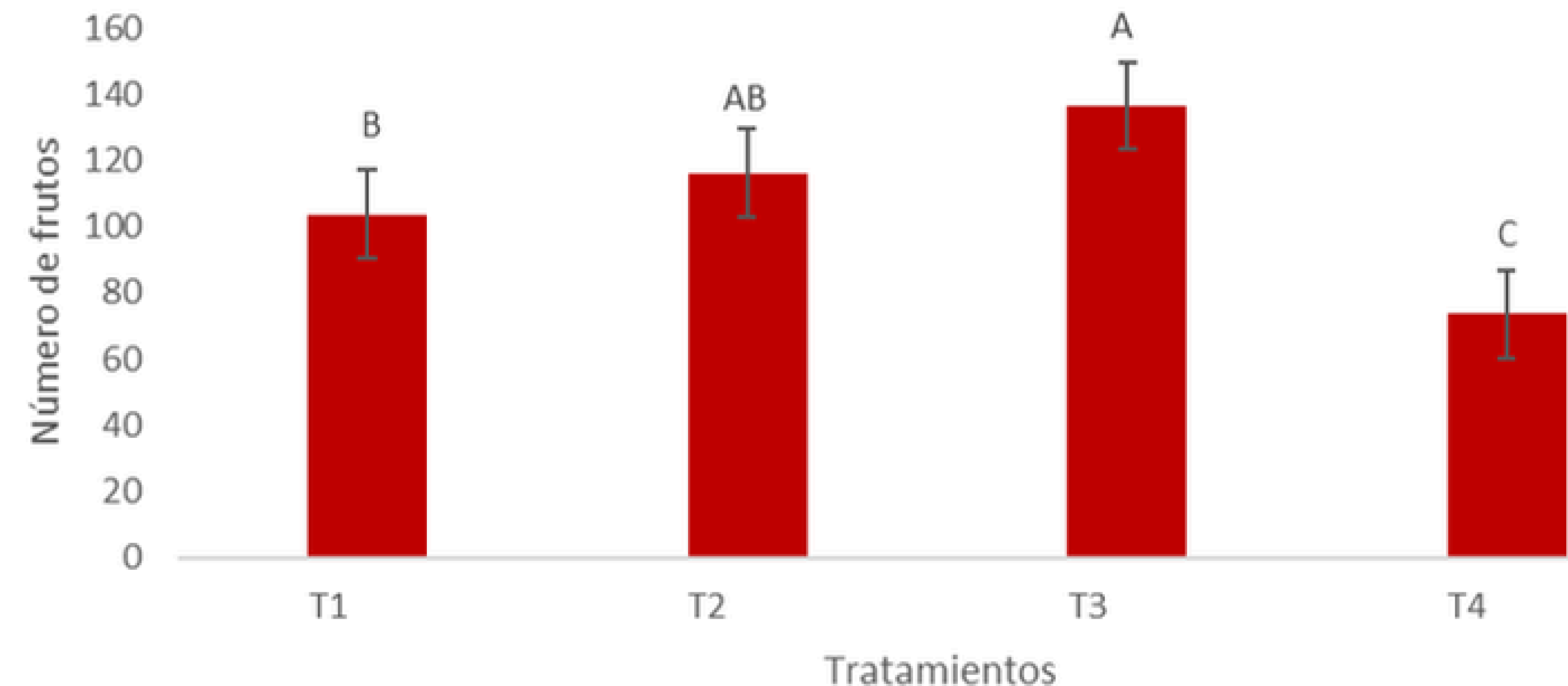
Peso del fruto a los 126 días después de la siembra



(Hussein et al., 2024) La aplicación conjunta de micorrizas arbusculares y *Trichoderma* genera un efecto sinérgico que incrementa significativamente el peso y tamaño de los frutos, debido a una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes y una tasa fotosintética optimizada.

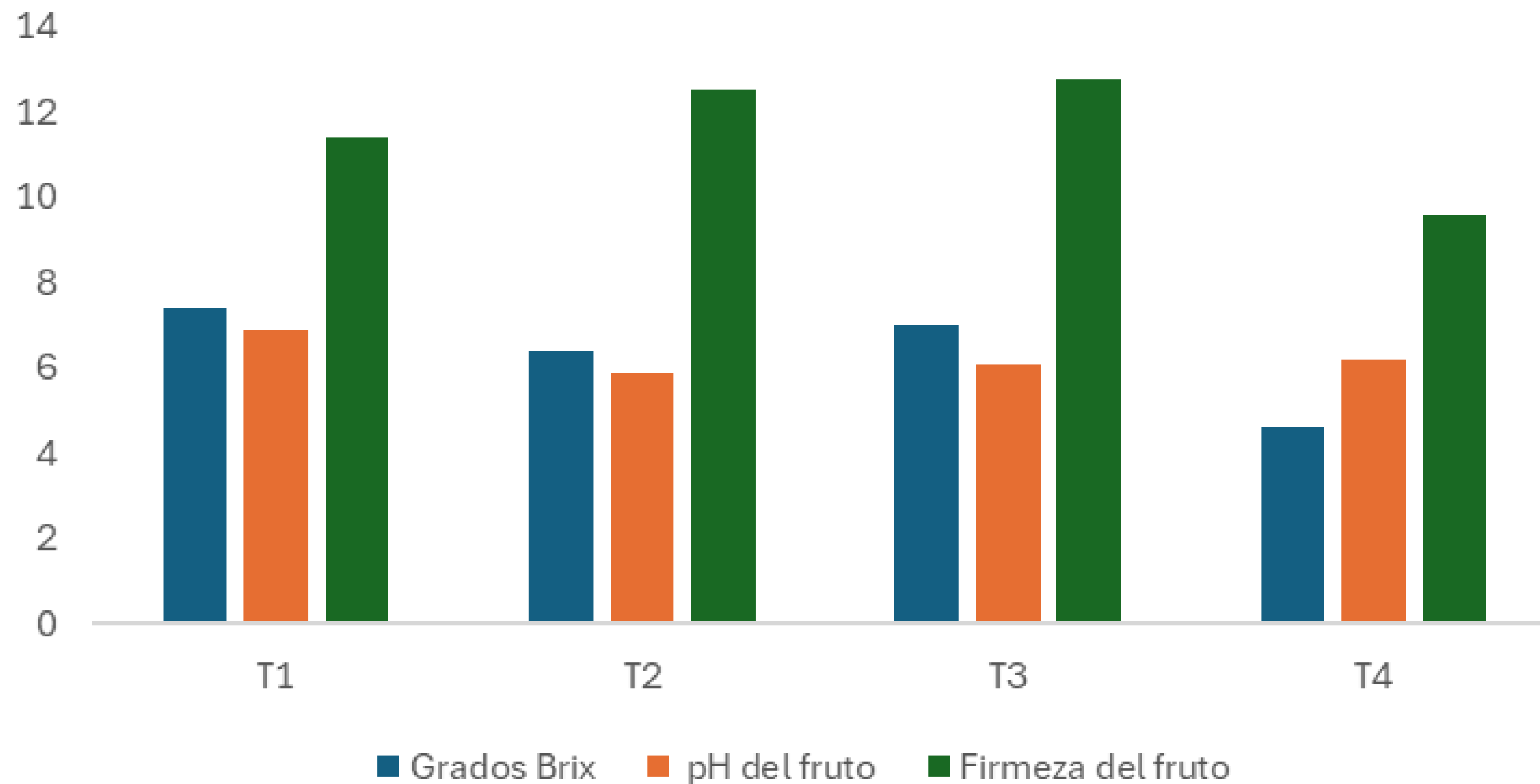


Número de frutos a los 126 días después de la siembra



(Hussein et al., 2024) La *Trichoderma* y las micorrizas arbusculares incrementa significativamente la productividad de los cultivos y el rendimiento de la cosecha, ya que estos microorganismos optimizan la arquitectura radicular

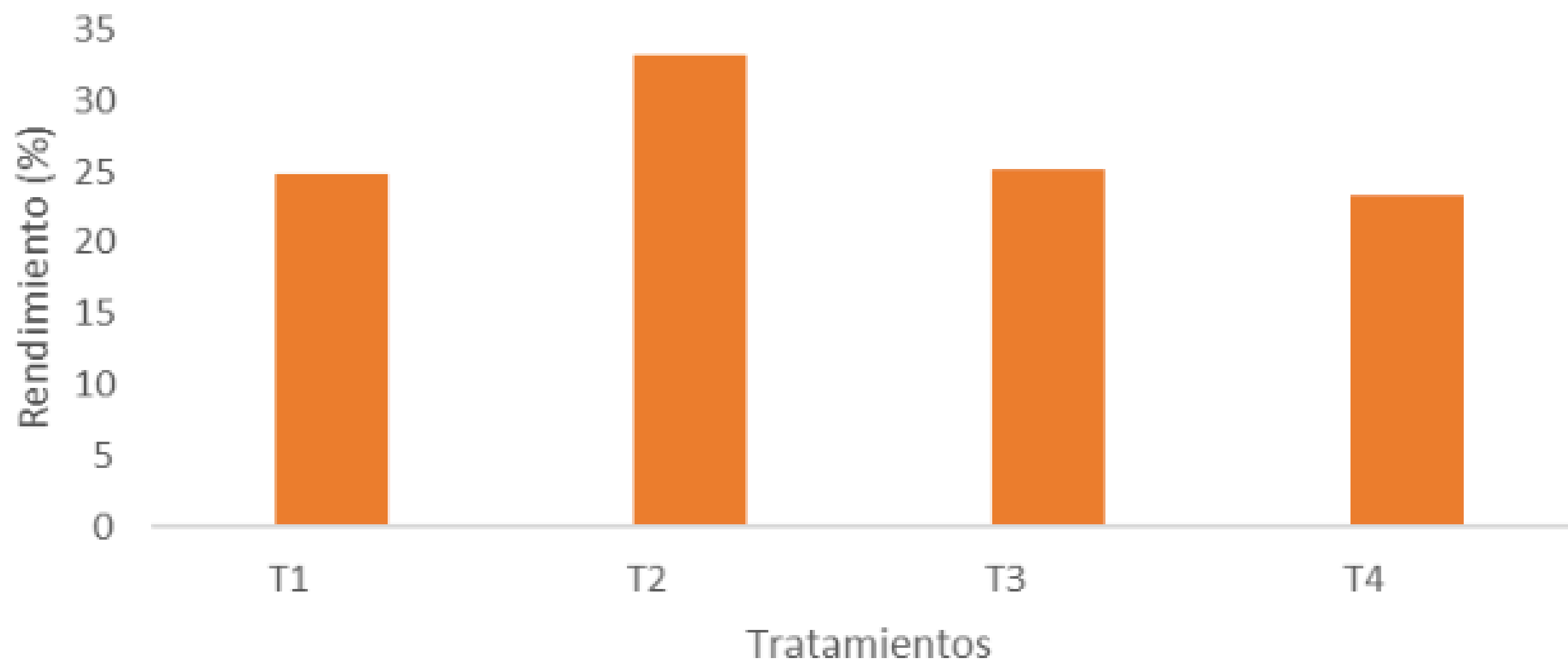
Análisis bromatológico



(Hussein et al., 2024) Las micorrizas arbusculares y *Trichoderma* mejoran los parámetros de calidad del fruto, incrementando la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) y la firmeza, además de regular el pH y el contenido de vitamina C, lo que resulta en productos de mayor valor comercial y nutricional.



Rendimiento de capsaicina en los frutos según el tratamiento.



El incremento de capsaicina observado en el tratamiento con micorrizas (T2) coincide con lo reportado por Canpolat, İşlek y Yildiz (2023), quienes demostraron que la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares incrementó hasta cuatro veces la producción de capsaicina y dihidrocapsaicina en *Capsicum annuum* en comparación con plantas no micorrizadas. Estos resultados sugieren que la simbiosis micorrícica favorece no solo el crecimiento vegetal, sino también la activación de rutas metabólicas asociadas a la síntesis de capsaicinoides.



Análisis de rendimiento y rentabilidad económica de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Peso promedio del fruto (gr)	Cantidad promedio de frutos	Rendimiento primera cosecha (kg)	Rendimiento promedio en 6 meses de producción (kg)	Costo total	Utilidad neta	B/C
T1	7,12	103,8	74,460	446,759	209,750	237,009	2,130
T2	7,44	116,2	87,101	522,607	209,750	312,857	2,492
T3	7,86	136,4	108,014	648,087	209,750	438,337	3,090
T4	5,4	73,4	39,933	239,600	188,840	50,760	1,269

Los resultados indican que el tratamiento T3 registró el mayor rendimiento total (108,014 kg) y el peso promedio por fruto más elevado (7,86 g), logrando consecuentemente la relación beneficio/costo más alta con un valor de 3,09.



Conclusiones

23

- Se implementaron parcelas para cada tratamiento, y la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares incrementó significativamente la absorción de fósforo en el cultivo de ají.
- La micorriza demostró ser el tratamiento más eficiente en la captación radicular de fósforo, confirmando su capacidad de ampliar la superficie de exploración mediante hifas extraradicales.
- La coinoculación Micorriza + *Trichoderma* spp. favoreció un mejor equilibrio nutricional general, especialmente en nitrógeno y potasio, evidenciando un efecto complementario entre ambos microorganismos.
- En la fase de laboratorio se confirmó la presencia de estructuras micorrízicas en las raíces evaluadas, evidenciando una colonización efectiva. Asimismo, mediante el análisis de muestras de suelo rizosférico se determinó la presencia de *Trichoderma* spp., lo que confirmó el establecimiento de los inóculos aplicados en campo.
- La coinoculación HMA + *Trichoderma* spp. mejoró significativamente el desarrollo agronómico del cultivo y favoreció la calidad bromatológica del fruto.



Recomendaciones

24



- Implementar el uso de micorrizas arbusculares en el cultivo de ají en suelos con baja disponibilidad de fósforo



- Activar previamente *Trichoderma* spp. y micorrizas con melaza para favorecer su establecimiento en campo.



- Para la aplicación de *Trichoderma* spp. utilizar 100 mL por bomba de 20 L, mientras que las micorrizas deben aplicarse en dosis de 15–50 g por planta, en contacto directo con la raíz.



- Se recomienda aplicar en horas frescas, mantener humedad adecuada y evitar fungicidas para no afectar la eficacia de *Trichoderma* spp. y micorrizas.



- Realizar tutorado y podas en el momento adecuado para evitar volcamiento, cruce de ramas y mejorar aireación y productividad.





MUCHAS *Gracias*

“El éxito es la suma de pequeños
esfuerzos repetidos día tras día.”

— Robert Collier

