

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp
en la productividad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo
diferentes dosis de nitrógeno

Estudiante

Victor Hugo Abarca Coello

Asesores

Ricardo Alexander Peña Venegas Ph.D.

Carlos Rogelio Trabanino Young M.Sc.

Honduras, julio 2023

Autoridades

SERGIO RODRIGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Materiales y Métodos	15
Localización del Experimento	15
Diseño y Establecimiento del Experimento	16
Muestreo del Lote	17
Plan de Fertilización	17
Siembra y Manejo	19
Riego	19
Prácticas Culturales	19
Manejo Fitosanitario y Control de Plagas	20
Material Vegetal e Inoculantes	20
VARIABLES MEDIDAS	21
Estimación De La Colonización De Micorrizas Arbusculares y Azospirillum sp.	21
VARIABLES DE CRECIMIENTO	21
Rendimiento del Cultivo	21
Análisis Estadístico	22
Resultados y Discusión	23
Crecimiento a los 30 Días Después del Trasplante	23
Crecimiento a los 60 Días Después del Trasplante	28

Productividad del Tomate.....	30
Colonización de Micorrizas	33
Presencia de <i>Azospirillum</i> sp. en la Raíz	35
Conclusiones	36
Recomendaciones.....	37
Referencias.....	38
Anexos.....	43

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Tratamientos usados en la experimentación de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y Azospirillum sp. en plantas de tomate bajo diferentes dosis de nitrógeno.	16
Cuadro 2 Presencia o Ausencia de Azospirillum en raíces de plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var Ponny Express)	35

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación geográfica del lote N ^o 24 de Zona 2, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras, donde se realizó el experimento de co-inoculación de micorrizas arbusculares y Azospirillum sp. en plantas de tomate bajo diferentes dosis de nitrógeno.....	15
Figura 2 Esquema del establecimiento del experimento en el del lote N ^o 24 de Zona 2, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras, donde se realizó el experimento de co-inoculación de micorrizas arbusculares y Azospirillum sp. en plantas de tomate bajo diferentes dosis de nitrógeno.	17
Figura 3 Consumo de los principales nutrientes por parte de la planta de tomate dependiendo la semana de trasplante.	18
Figura 4 Efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y Azospirillum sp en tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var Ponny Express) bajo diferentes dosis de nitrógeno a los 30 días después del trasplante (a, b) altura de la planta, (c, d) diámetro del tallo, (e, f) número de entrenudos y (g, h) número de flores.....	25
Figura 5 Efecto de la interacción de la co-inoculación con micorrizas arbusculares y Azospirillum sp × fertilización nitrogenada tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var Ponny Express) bajo diferentes dosis de nitrógeno a los 30 días después del trasplante (a) altura de la planta, (b) diámetro del tallo, (c) número de entrenudos y (d) número de flores.....	27
Figura 6 Efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y Azospirillum sp en tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var Ponny Express) bajo diferentes dosis de nitrógeno a los 60 días después del trasplante en la (a, b) altura de la planta.....	29
Figura 7 Efecto de la interacción de la co-inoculación con micorrizas arbusculares y Azospirillum sp × fertilización nitrogenada tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var Ponny Express) bajo diferentes dosis de nitrógeno a los 60 días después del trasplante en la altura de la planta	29

Figura 8 Efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y <i>Azospirillum</i> sp en tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var Ponny Express) bajo diferentes dosis de nitrógeno en la productividad expresada en kilogramos por planta	32
Figura 9 Efecto de la interacción de la co-inoculación con micorrizas arbusculares y <i>Azospirillum</i> sp × fertilización nitrogenada tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var Ponny Express) bajo diferentes dosis de nitrógeno en la productividad expresada en kilogramos por planta.....	32
Figura 10 Efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y <i>Azospirillum</i> sp. en tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var Ponny Express) bajo diferentes dosis de nitrógeno en el porcentaje de colonización de micorrizas arbusculares por planta.....	34
Figura 11 Efecto de la interacción de la co-inoculación con micorrizas arbusculares y <i>Azospirillum</i> sp × fertilización nitrogenada tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var Ponny Express) bajo diferentes dosis de nitrógeno en el porcentaje de colonización de micorrizas arbusculares por planta.....	34

Índice de Anexos

Anexo A Análisis de suelos del lote 24 de Zona 2, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras	43
Anexo B Requerimientos nutricionales por hectárea del cultivo de tomate.....	44
Anexo C Método de clarificar y teñir muestras de raíces	45
Anexo D Flujograma de identificación bioquímica de la bacteria Azospirillum sp.	47
Anexo E Calendarización de fertilización	48
Anexo F Resultados del análisis de varianza de dos vías del efecto de la co-inoculación con micorrizas arbusculares + Azospirillum sp y tres diferentes niveles de dosis de nitrógeno en la altura de las plantas de tomate (Solanum lycopersicum var Ponny Express) a los 30 días después de trasplante.	49
Anexo G Resultados del análisis de varianza de dos vías del efecto de la co-inoculación con micorrizas arbusculares + Azospirillum sp y tres diferentes niveles de dosis de nitrógeno en el número de entrenudos y el número de flores de las plantas de tomate (Solanum lycopersicum var Ponny Express) a los 30 días después de trasplante.	50
Anexo H Resultados del análisis de varianza de dos vías del efecto de la co-inoculación con micorrizas arbusculares + Azospirillum sp y tres diferentes niveles de dosis de nitrógeno en la altura de las plantas de tomate (Solanum lycopersicum var Ponny Express) a los 60 días después de trasplante.	51
Anexo I Resultados del análisis de varianza de dos vías del efecto de la co-inoculación con micorrizas arbusculares + Azospirillum sp y tres diferentes niveles de dosis de nitrógeno en la productividad de tomate y la colonización de micorrizas arbusculares en plantas de tomate (Solanum lycopersicum var Ponny Express)	52

Resumen

El tomate es la hortaliza más consumida y producida a nivel mundial. El uso excesivo de los fertilizantes nitrogenados y sus altos precios actuales plantean un desafío en términos de costos y sostenibilidad ambiental. Para abordar esta problemática, se exploran alternativas biotecnológicas como las bacterias fijadoras de nitrógeno y las micorrizas arbusculares. Estos microorganismos establecen interacciones mutualistas con las plantas de tomate, mejorando la absorción de nutrientes, resistencia a enfermedades y rendimiento. Se llevó a cabo una investigación en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, para evaluar el efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. en el rendimiento del cultivo de tomate a campo abierto. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con un arreglo factorial 2×3, que incluyó plantas co-inoculadas y no co-inoculadas y 3 dosis de nitrógeno, lo que dio lugar a seis tratamientos, con tres repeticiones cada uno. Se evaluaron variables de crecimiento y el rendimiento. Las plantas de tomate co-inoculadas con micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. mostraron un mayor crecimiento y productividad que aquellas no inoculadas. A su vez, se observó que aquellas plantas de tomate co-inoculadas con micorrizas y *Azospirillum* sp y que no recibieron fertilización nitrogenada mostraron un rendimiento similar a aquellas no co-inoculadas que recibieron una dosis de fertilización nitrogenada del 100% y a aquellas a las que no se les aplicó nitrógeno. Se pudo verificar la presencia de las micorrizas y *Azospirillum* sp. en las plantas co-inoculadas al final del experimento. La interacción entre las micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. muestra ser una prometedora alternativa biotecnológica para mejorar la productividad del tomate, al mismo tiempo que reduce la dependencia de los fertilizantes nitrogenados y la contaminación ambiental asociada a su mal uso.

Palabras clave: Co-inoculación, fertilización nitrogenada, hongo, rizo bacterias, simbiosis.

Abstract

The tomato is the most consumed and produced vegetable worldwide. The excessive use of nitrogen fertilizers and their current high prices becomes a challenge in terms of costs and environmental sustainability. To address this issue, biotechnological alternatives such as nitrogen-fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi are being explored. These microorganisms establish mutualistic interactions with tomato plants, improving nutrient absorption, disease resistance, and yield. A research study was conducted at Panamerican Agricultural School, Zamorano in Honduras to evaluate the effect of co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum* sp. on the yield of open-field tomato production. A randomized complete block design with a 2×3 factorial arrangement was used, which included co-inoculated and non-co-inoculated plants and 3 nitrogen doses, resulting in six treatments with three replications each. Growth variables and yield were evaluated. Tomato plants co-inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum* sp. showed greater growth and productivity than non-inoculated plants. It was also observed that tomato plants co-inoculated with mycorrhizae and *Azospirillum* sp., and without nitrogen fertilization, showed similar yields to non-co-inoculated plants that received 100% nitrogen fertilization and those that did not receive nitrogen. The presence of mycorrhizae and *Azospirillum* sp. in the co-inoculated plants was verified at the end of the experiment. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum* sp. proves to be a promising biotechnological alternative to improve tomato productivity while reducing dependence on nitrogen fertilizers and the environmental contamination associated with their misuse.

Keywords: Fertilization, fungi, inoculation, rhizobacteria, symbiosis.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es la hortaliza más consumida y producida a nivel mundial tanto en fresco como procesada (Andrade-Sifuentes et al. 2020). Gran parte de su importancia radica en su alta adaptabilidad, dado que se produce en zonas templadas y tropicales y a diferentes escalas de producción (Escalona et al. 2009). En Honduras, los departamentos de mayor producción de tomate son El Paraíso, Comayagua, Francisco Morazán, Choluteca y Olancho con un rendimiento promedio de 31.6 t h^{-1} (FHIA 2018). Las exportaciones de tomate han aumentado considerablemente en los últimos años, registrando un incremento del 10.4% en la cantidad exportada entre los años 2016 y 2019, pasando de 51,013 toneladas métricas a 61,855 toneladas métricas producidas anualmente (UPEG 2018).

Los fertilizantes son insumos indispensables para el desarrollo de la agricultura, debido a que estos desempeñan un papel fundamental en la productividad de los sistemas agrícolas y por ende en la seguridad alimentaria (IFA 2002). Los nutrientes que estos proveen pueden ser aportados mediante fuentes sintéticas, naturales y orgánicas. Los fertilizantes sintéticos y naturales son los más populares, ya que son responsables del 40 al 60% de la producción de alimentos (TFI 2012).

La fertilización nitrogenada incrementa los rendimientos agrícolas, sin embargo, los productores inconscientemente lo utilizan de una manera desmesurada, sin tener en cuenta las consecuencias que esta puede tener sobre el medio ambiente y la sostenibilidad de los sistemas de producción (Almaguer 2013). Comúnmente, la eficiencia de la fertilización nitrogenada en los sistemas de producción de tomate, en el mejor de los casos, no supera el 67% (Bertsch 2009). Esta muy baja tasa de aprovechamiento por parte de la planta, hace que el riesgo de contaminación ambiental aumente considerablemente en fuentes hídricas, en suelos y en la atmósfera (Cárdenas-Navarro et al. 2004). La baja eficiencia de la fertilización nitrogenada se debe fundamentalmente a la alta movilidad del nitrógeno en el suelo ya que sufre numerosos cambios que incluyen procesos de pérdida y transformación, tales como: desnitrificación, volatilización, inmovilización y lixiviación (IFA

2002). La eficiencia en el uso del nitrógeno puede ser aumentada si los cálculos se basan en los requerimientos nutricionales del cultivo, las condiciones climáticas, y las características físicas, químicas y biológicas del suelo Laboski y Peters (2012); o incluso si utilizamos alternativas biotecnológicas como la aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno u hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) (Thirkell et al. 2016).

La interacción de la planta con la actividad microbiana es extremadamente diversa, forma parte esencial de los ciclos biogeoquímicos. Esta interacción puede aumentar la absorción de varios nutrientes esenciales para la planta tales como, nitrógeno y fósforo, los cuales son comúnmente incorporados en los planes de fertilización (Osorio-Vega 2009). Esta interacción biológica entre la planta y los microorganismos puede ser estratégica en la producción de alimentos, dado que puede reducir el uso de fertilizante hasta en un 50% (Goldense 2016). En este tipo de simbiosis de carácter mutualista, ambas partes se ven beneficiadas; las plantas, por una parte, pueden incrementar la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés hídrico y una baja incidencia de plagas y enfermedades; mientras los hongos reciben carbohidratos de la planta, que le sirven de alimento o mecanismo de supervivencia a la planta (Ramírez y Rodríguez 2010; Berná et al. 2016). Por otro lado, la microbiota del suelos en general, puede ser un mejorador de calidad física, química y biológica del suelo (Delgado y Gutiérrez 2022). Es por ello, que los inoculantes bacterianos y fúngicos son utilizados como una alternativa sostenible a las practicas degradativas del suelo utilizadas por mucho tiempo en la agricultura (Medina et al. 2010).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno, también conocidas como rizobacterias, se han convertido en una gran alternativa para reducir la aplicación de fertilizantes, dado a que han demostrado aumentar la fijación biológica del nitrógeno, proceso el cual el N_2 es capturado y transformado a amoníaco (NH_3) y amonio (NH_4^+) (Francis et al. 2005; Kuan et al. 2016; Singh et al. 2020; Ji et al. 2022). Las rizo-bacterias son capaces de colonizar en su totalidad la raíz de un cultivo de preferencia y mejorar su rendimiento (Dobbelaere et al. 2002). Este impacto positivo se obtiene gracias a

mecanismos directos o indirectos (Aguado-Santacruz et al. 2012). En el mecanismo directo la bacteria fija nitrógeno, sintetiza fitohormonas, vitaminas y enzimas; mientras que el mecanismo indirecto solubiliza el fósforo inorgánico, reduce los niveles de etileno en los suelos, y sobre todo incrementa la permeabilidad de las raíces (Paredes 2013).

Dentro de las bacterias fijadoras de interés agrícola se encuentra *Azospirillum* sp. La mayoría de los efectos causados por esta rizo bacteria promotora de crecimiento parece estar asociado con la producción de fitohormonas, tales como auxinas, giberelinas, citoquininas que mejoran el desarrollo radicular de la planta (Pedraza et al. 2020). La mayoría de las cepas de *Azospirillum* sp. fijan nitrógeno atmosférico y participan en algunas de las transformaciones que ocurren en el ciclo de nitrógeno, y realizan estos procesos ya sea de forma libre o en asociación con las plantas (Parra y Cuevas 2002).

Las micorrizas arbusculares (HFMA) tienen asociaciones mutualistas que se establece con la corteza de la raíz del hospedero. El hongo recibe compuestos de carbono procedentes de la fotosíntesis y en retribución le ayuda a la planta en la absorción de nutrientes, particularmente fósforo (Guerra 2008). Sin embargo, en los últimos años se ha reportado que los HFMA pueden también ayudar a la planta en la absorción de nitrógeno (Miransari 2011; Jin H et al. 2012; Makarov 2019). Las micorrizas son capaces de convertir el nitrógeno atmosférico (N_2) y transformarlo a una forma biológicamente disponible como lo es el amonio (NH_4^+) mediante la acción de la enzima nitrogenasa (Urzúa 2002). Particularmente, en el cultivo de tomate se ha documentado que la aplicación de HFMA mejora la calidad, longitud, diámetro y peso de fruto, y aumenta la productividad hasta en un 30%, comparado con plantas no inoculadas (Alvarado et al. 2014).

En vista a lo expuesto anteriormente, la co-aplicación de bacterias fijadoras de nitrógeno y micorrizas arbusculares podría ser una alternativa biotecnológica para mejorar la productividad del tomate, al mismo tiempo que se reduce la dependencia de los fertilizantes nitrogenados y la contaminación ambiental asociada a su uso (Domínguez-Núñez et al. 2015; Zulueta-Rodríguez et al. 2020; Ji et al. 2022). Por esta razón se propuso como objetivo de este proyecto evaluar el efecto de la

co-inoculación de micorrizas y *Azospirillum* sp. en la productividad del cultivo de tomate a campo abierto bajo distintos niveles de fertilización nitrogenada.

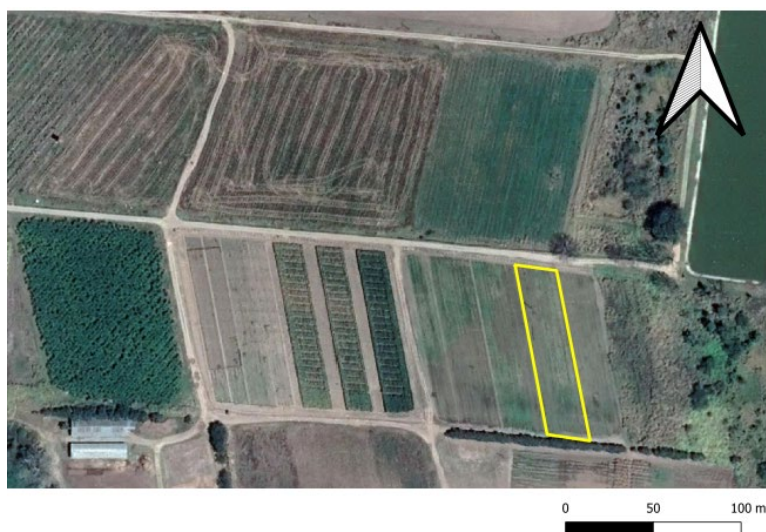
Materiales y Métodos

Localización del Experimento

El ensayo se realizó entre noviembre del 2022 y marzo del 2023, en el lote N^o 24 de Zona 2 (Figura 1). Perteneciente a la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en el municipio San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, Honduras, localizada a 32 km al este de Tegucigalpa, ubicada a 14°00'28" latitud norte y 86°59'5" longitud oeste. La zona cuenta con una precipitación de 1100 mm por año, una temperatura promedio de 23 °C y una altura de 800 msnm.

Figura 1

Ubicación geográfica del lote N^o 24 de Zona 2, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras, donde se realizó el experimento de co-inoculación de micorrizas arbusculares y Azospirillum sp. en plantas de tomate bajo diferentes dosis de nitrógeno.



Nota. Elaboración propia. Figura en amarillo indica el lote experimental

El suelo del lote donde se realizó el experimento cuenta una textura franco-arenosa, un pH neutro de 6.76, niveles bajos de carbono orgánico y nitrógeno total; y niveles altos de fósforo y potasio (Anexo A).

Diseño y Establecimiento del Experimento

El experimento se estableció en un diseño en bloques completos al azar con tres bloques y un arreglo factorial 2×3. El primer factor fue la co-inoculación con micorrizas y *Azospirillum* sp., en el cual se incluyó plántulas de tomate inoculadas con 100 g de micorrizas más 15 ml de *Azospirillum* sp. a una concentración de 1×10^9 UFC · ml⁻¹ y plantas no co-inoculadas; y el segundo factor consistió de tres dosis de nitrógeno; 0, 50% y el 100% de la dosis recomendada de nitrógeno, de acuerdo con el análisis de suelo y los requerimientos nutricionales del cultivo (Cuadro 1).

Cuadro 1

Tratamientos usados en la experimentación de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y Azospirillum sp. en plantas de tomate bajo diferentes dosis de nitrógeno.

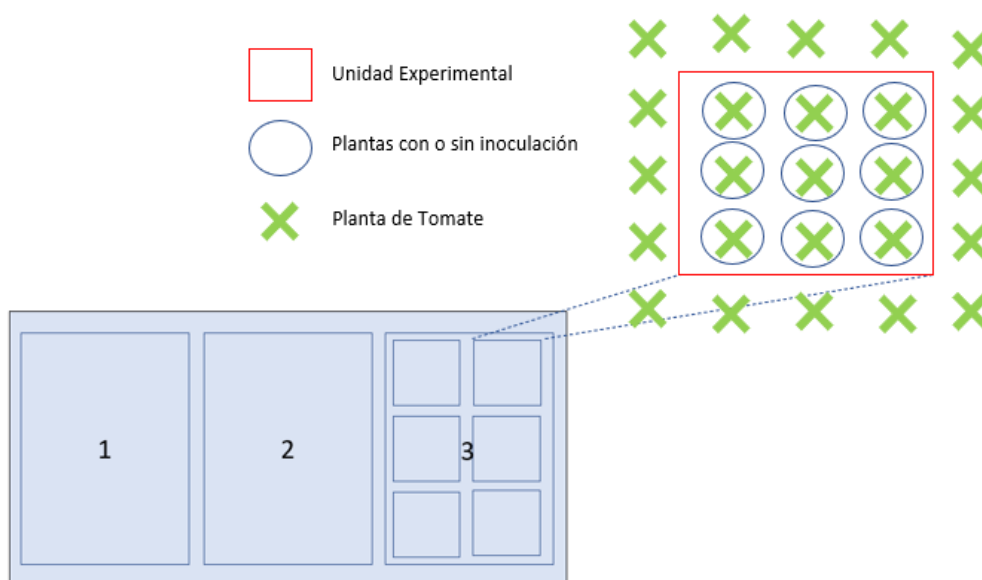
Tratamiento	Factor 1	Factor 2	g·planta ⁻¹	UFC · ml ⁻¹
	Inoculación	Dosis recomendada de N	Micorrizas	<i>Azospirillum</i>
1	No Co-inoculadas	0%	0	0
2	No Co-inoculadas	50%	0	0
3	No Co-inoculadas	100%	0	0
4	Co-inoculadas	0%	100	1×10^9
5	Co-inoculadas	50%	100	1×10^9
6	Co-inoculadas	100%	100	1×10^9

Nota. No Co-inoculadas: Tratamientos no inoculados con Micorrizas y *Azospirillum* sp.; Co-inoculadas: Tratamientos inoculados con Micorrizas y *Azospirillum* sp.

La Unidad experimental estuvo compuesta por 9 plántulas de tomate, para un total de 162 plantulas tratadas en el experimento (Figura 2). El distanciamiento por planta fue de 30 centímetros, además se utilizaron plantas sin inoculación como efecto borde que rodearon cada unidad experimental, con el fin de evitar contaminación cruzada entre tratamientos.

Figura 2

*Esquema del establecimiento del experimento en el del lote N° 24 de Zona 2, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras, donde se realizó el experimento de co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum sp.* en plantas de tomate bajo diferentes dosis de nitrógeno.*



Nota. Elaboración propia.

Muestreo del Lote

Para llevar a cabo el experimento, se identificó previamente el área a utilizar del lote No. 24 de la Zona 2, la cual correspondería a la unidad de muestreo, garantizando la mayor homogeneidad posible.

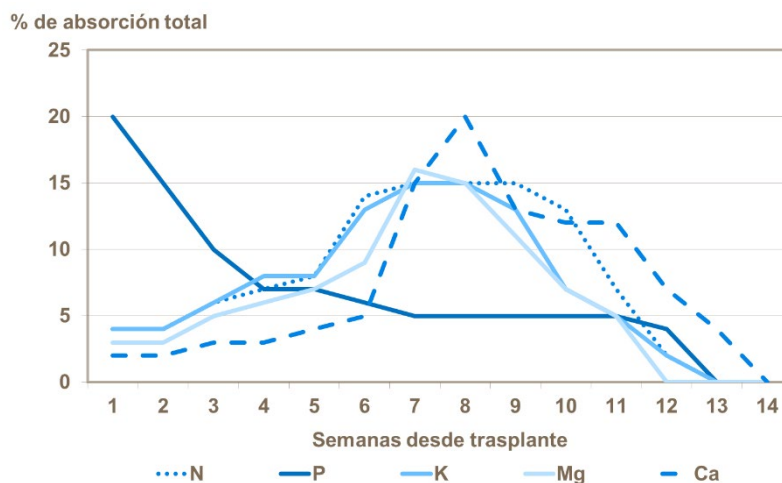
El proceso de muestreo se realizó cuatro semanas antes de establecer el experimento, con el fin de contar con el tiempo suficiente para enviar la muestra al laboratorio, y obtener los resultados de la caracterización fisicoquímica. La muestra de suelos fue tomada a 20 cm, fue una muestra compuesta obtenida a partir de 15 submuestras tomadas en un transecto realizado en zigzag.

Plan de Fertilización

Para el plan de fertilización se utilizó la gráfica de consumo de nutrientes (Figura 3).

Figura 3

Consumo de los principales nutrientes por parte de la planta de tomate dependiendo la semana de trasplante.



Nota. Tomado de Yara México (2019).

La tasa de fertilización para el cultivo, que correspondería a la dosis del 100%, fue calculada siguiendo la ecuación de necesidad de fertilización [1], la cual, considera como variables el requerimiento nutricional del cultivo (Anexo B), el análisis de suelo y la eficiencia de la fertilización. La fuente de nitrógeno que se usó para este experimento fue Nitrato de Calcio en forma líquida a una concentración de 15% de Nitrógeno.

Ecuación de Necesidad de Fertilización

$$NF = \frac{RNE - DNS}{E} * 100 \quad [1]$$

Donde:

NF: Necesidad de fertilización, en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

RNE: Requerimiento nutricional de la especie, en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

DNS: Disponibilidad de nutrientes en el suelo, en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

E: Eficiencia de la fertilización, en %

Siembra y Manejo

Las plántulas de tomate fueron obtenidas a través de bandejas de germinación de 200 alveolos. Pasando por procesos de germinación y aclimatación de aproximadamente 22 días. En el lote se realizaron 9 camas de 1.2 metros de ancho × 7.5 metros de largo, tomando en cuenta una densidad de 27000 plantas · hectárea⁻¹ y un distanciamiento de 30 cm entre plantas, en las cuales fueron distribuidos cada uno de los bloques y tratamientos, debidamente rotulados.

Riego

Se utilizó un sistema de riego presurizado y localizado por goteo en el cultivo, el cual consistió en la instalación de una cinta de riego en la mitad de la cama. Para asegurar una adecuada humedad del suelo, se realizaron riegos aproximados de 50 minutos cada dos días después del trasplante. Durante la época de fructificación, se incrementó la frecuencia del riego a diario y se disminuyó su duración a 30 minutos para asegurar una correcta fructificación y llenado de los frutos. Este sistema de riego permitió una distribución uniforme del agua y un uso más eficiente del recurso hídrico.

Prácticas Culturales

Previo al trasplante se realizó un pase de maquinaria agrícola para eliminar los agregados y malezas existentes en el lote. Además, una vez sembrado el cultivo se hizo uso de Casas Chinas de manta térmica para evitar la incidencia de viento, temperatura, enfermedades e insectos que se presentan por lo general en el primer mes después del establecimiento en campo, por lo tanto, esto permitió a que no hubiera ninguna anomalía en el desarrollo del cultivo. Por último, se realizaron prácticas de desmalezado mensuales para evitar competencia con las planta y posibles hospederos de enfermedades y plagas.

Manejo Fitosanitario y Control de Plagas

Se aplicaron únicamente dos veces insecticidas a base de deltamethrin y metomil debido a que, en los monitoreos, se observó una baja incidencia de plagas. Además, se decidió no utilizar fungicidas para evitar la alteración de la cantidad de microorganismos presentes en el suelo.

Material Vegetal e Inoculantes

En este experimento se utilizó un híbrido comercial de tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) de la variedad Pony Express F1, caracterizado por tener un alto potencial de crecimiento debido a que genera una planta de madurez precoz, con hábito determinado, compacto y muy productivo. Cuenta con frutos de excelente uniformidad, color y firmeza de frutos. Es ampliamente adaptable a muchas regiones, cuenta con una alta resistencia a *Verticillium dahliae*, *Verticillium albo atrum*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Raza 1,2,3) (HM•Clause 2022).

El inoculante a base de *Azospirillum* sp., fue proporcionado por la unidad de Control Biológico de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, este obtenido a través de aislamientos de lotes de maíz de Zamorano. El *Azospirillum* sp. se inoculó de manera foliar a una concentración 1×10^9 UFC \cdot ml⁻¹, 5 días después del establecimiento del experimento, usando una bomba de mochila manual.

El inoculante micorrícico fue obtenido de la Unidad de Suelos de la escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. El inoculante utilizado estaba compuesto por las siguientes especies de micorrizas arbusculares pertenecientes a la familia Endogonaceae: *Glomus* spp., *Acaulospora* spp. y *Entrophospora* spp.

Variables Medidas

Estimación De La Colonización De Micorrizas Arbusculares y Azospirillum sp.

Al finalizar el experimento se tomaron muestras de raíz , debido a que durante el periodo de tiempo de producción ya se extrajeron todos los nutrientes disponibles para la planta, este tiempo es crítico, debido a que los microorganismos ya han logrado una buena colonización en las raíces del cultivo. Las muestras para la estimación de micorrizas se procesaron en el Laboratorio de Biotecnología Aplicada de la Unidad de Investigación y Desarrollo de Cultivos siguiendo el protocolo de Jarstfer (1970) (Anexo C).

Por otro lado, para estimar el número de bacterias fijadoras de nitrógeno se procesó las muestras de raíz de las plantas de tomate en el laboratorio de Control biológico, siguiendo el protocolo del laboratorio de hongos de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (Anexo D).

Variables de Crecimiento

Se midió altura de planta, diámetro del tallo, número de flores y número de entrenudos a los 30 días después del trasplante (DDT), la altura de la planta fue tomada desde la base del tallo, hasta el envés de la hoja más joven; El diámetro del tallo fue medido utilizando un pie de rey graduado en milímetros, colocándolo de a uno a tres milímetros por encima del entrenudo más joven. El número de entrenudos y el número de flores fueron contados de manera visual, y solo fueron incluidas las partes ya desarrolladas. Cabe recalcar, que en todas las variables se muestrearon todas las plantas que conformaban cada una de las unidades experimentales.

Rendimiento del Cultivo

Para medir la productividad de las plantas de tomate se cosecharon todos los frutos comerciales y no comerciales en cada una de las unidades experimentales. La cosecha se realizó cada semana empezando desde el día 70 y se extendió hasta el día 112 después de trasplante. Los criterios más importantes en la cosecha fueron que el fruto tuviera una coloración verde amarillenta y el tamaño óptimo que el mercado exige, si el fruto no llenaba ambos requisitos se consideraban frutos

no comerciales. La cosecha se realizó manualmente y se clasificó en canastas de plástico, para posteriormente pesar los kilogramos de cosecha obtenidos por tratamiento.

Análisis Estadístico

Se empleó el software Infostat versión 2020 para examinar los datos recopilados y obtener los gráficos. Para asegurar que los datos cumplieran las premisas normalidad y homocedasticidad, se llevaron a cabo la prueba de Shapiro Wilk y Levene respectivamente. Solo después de confirmar que los datos cumplieran todas las premisas, se realizó un análisis de varianza con una separación de medias de Tukey, usando un nivel de significancia $p \leq 0.05$.

Resultados y Discusión

Crecimiento a los 30 Días Después del Trasplante

A los 30 DDT la altura de la planta y el diámetro del tallo del cultivo de tomate no mostraron variación en respuesta a la co-inoculación con micorrizas y *Azospirillum* sp. y a la fertilización nitrogenada (Figura 4a, 4b, 4c, 4d y Anexo F). Tampoco se observó un efecto significativo en la interacción de la co-inoculación con micorrizas y *Azospirillum* × fertilización nitrogenada en la altura de la planta y diámetro del tallo (Figura 5a, 5b y Anexo F). La investigación realizada por Rivera-Espejel et al. (2014), respalda la idea de que la dosificación de nitrógeno puede tener un impacto significativo en el crecimiento de las plantas de tomate después de los 30 DDT. Según sus hallazgos, a los 43 y 36 días después del trasplante DDT, se observó una variación significativa en la altura de la planta y el diámetro del tallo. Específicamente, el grupo de plantas que recibió el 50% de la dosis de nitrógeno alcanzó una altura de 90 cm y un diámetro de tallo de 9 mm. Es importante destacar que los efectos de la co-inoculación y la fertilización nitrogenada pueden no manifestarse de inmediato, sino que pueden tomar cierto tiempo en aparecer (Smith et al. 2019). Estos resultados sugieren la necesidad de considerar el factor temporal al evaluar los efectos de diferentes prácticas agrícolas en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

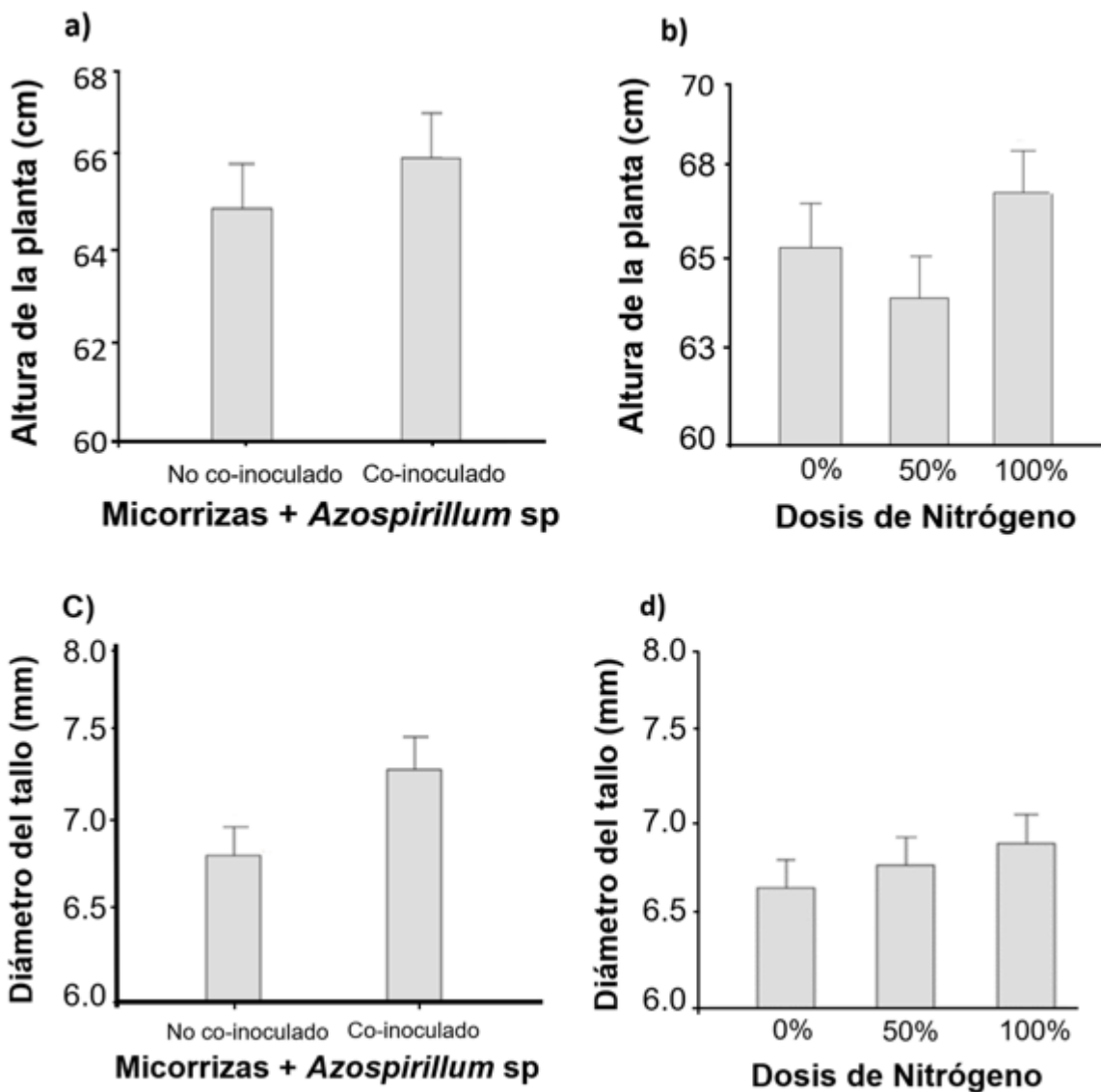
La co-inoculación micorrizas y *Azospirillum* sp., así como la fertilización nitrogenada tuvieron un efecto altamente significativo sobre el número de entrenudos por planta de tomate ($p < 0.01$) (Figura 4e, 4f y Anexo F). A su vez, se observó que la interacción de la co-inoculación micorrizas y *Azospirillum* × fertilización nitrogenada tuvo un efecto significativo en el número de entrenudos por planta de tomate, donde el grupo de plantas que recibieron el 50% y el 100% de la fertilización nitrogenada alcanzaron los 15 entrenudos por planta, mientras que el grupo de plantas que no fueron co-inoculadas oscilaron entre los 12 y 13 entrenudos por planta ($p \leq 0.05$) (Figura 5c y Anexo F). En la investigación llevada a cabo por Hernandez Pérez (2011), se examinó el efecto de la co-inoculación de *Glomus* sp. y *Azospirillum* sp. en plantas de tomate en un entorno experimental controlado. Los

resultados obtenidos revelaron un patrón consistente a esta investigación, obteniendo 15 entrenudos por planta en las plantas co-inoculadas. Esto podría deberse a que *Azospirillum* sp. puede sintetizar fitohormonas, y probablemente la giberelina la cual ha demostrado anteriormente tener un efecto directo en la formación de entrenudos en la planta de tomate (Pedraza et al. 2020).

En cuanto al número de flores del cultivo de tomate, se observó que la interacción de la co-inoculación x fertilización nitrogenada y el grupo de plantas que recibió fertilización nitrogenada mostraron diferencias estadísticamente significativas, y se observó que el grupo de plantas que fueron co-inoculadas con micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. y fueron fertilizadas con el 0 y el 50% de la fertilización nitrogenada presentaron una media de 11 flores por planta; mientras que las plantas con la misma dosificación de fertilizante, pero no fueron co-inoculadas promediaron 9 flores por planta de tomate ($p \leq 0.05$) (Figura 5d y Anexo G). Sin embargo, no se presentaron diferencias en el número de flores por planta de tomate en respuesta a la co-inoculación con micorrizas y *Azospirillum* sp. (Figura 4g y Anexo G). En el estudio de Terry y Leyva (2005) también se exploró la co-inoculación en plantas de tomate bajo condiciones controladas, en donde existió un cambio altamente significativo entre las plantas co-inoculadas con *Glomus* sp. y *Azospirillum* sp. logrando un promedio de 17 flores por planta, mientras que las plantas sin co-inoculación solo obtuvieron un promedio de 4 flores por planta. Esto podría ser explicado debido a que, el nitrógeno tiene un impacto significativo en la producción de flores, dado que es un macronutriente esencial que desempeña un papel clave en la síntesis de enzimas (Paredes 2013). Una disponibilidad adecuada de nitrógeno da origen a una planta más vigorosa y favorece una mayor producción de flores en las plantas de tomate (Bodale et al. 2021).

Figura 4

Efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp en tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) bajo diferentes dosis de nitrógeno a los 30 días después del trasplante (a, b) altura de la planta, (c, d) diámetro del tallo, (e, f) número de entrenudos y (g, h) número de flores.



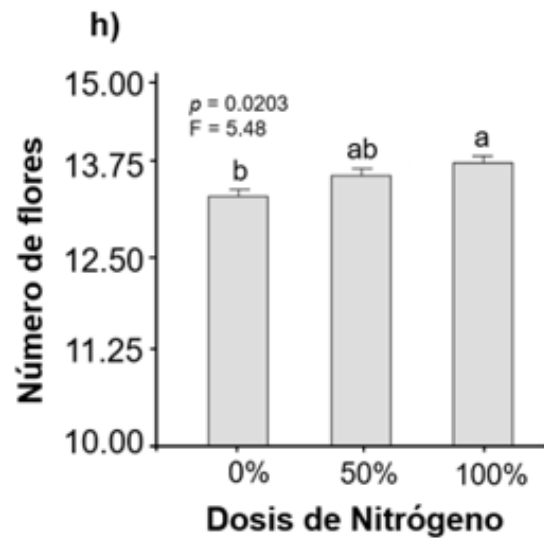
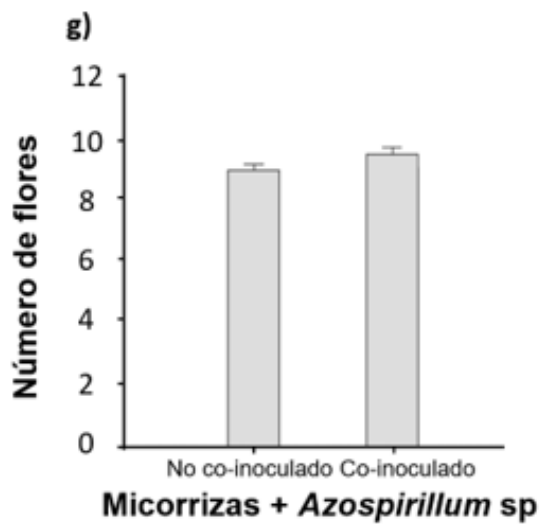
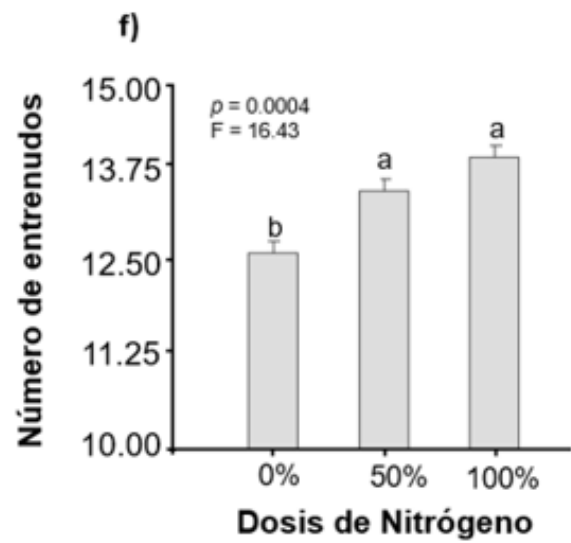
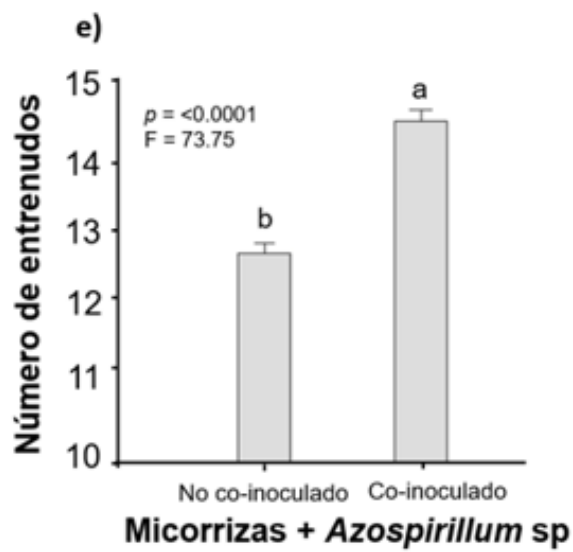
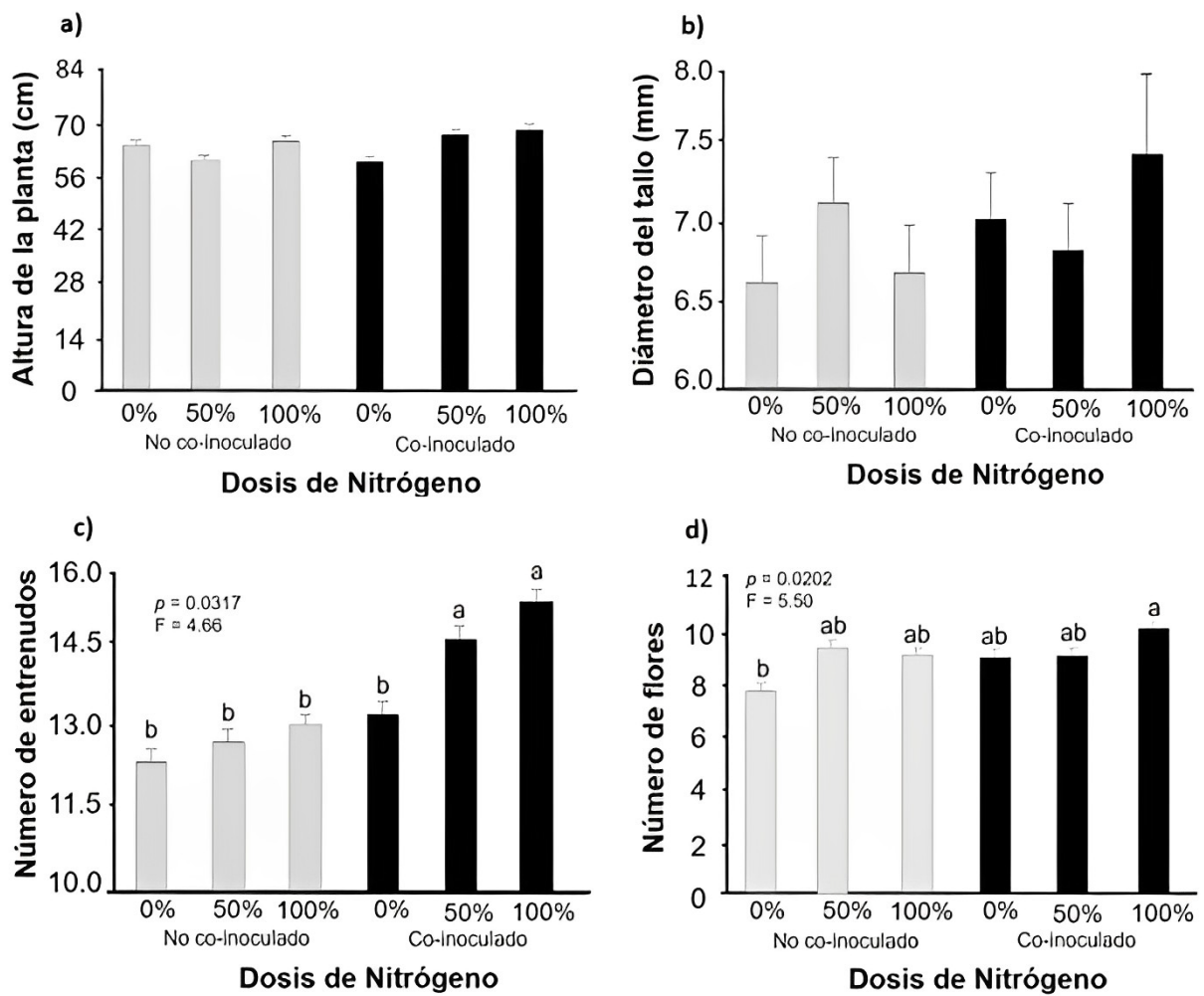


Figura 5

Efecto de la interacción de la co-inoculación con micorrizas arbusculares y *Azospirillum sp* × fertilización nitrogenada tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) bajo diferentes dosis de nitrógeno a los 30 días después del trasplante (a) altura de la planta, (b) diámetro del tallo, (c) número de entrenudos y (d) número de flores.



Crecimiento a los 60 Días Después del Trasplante

A los 60 DDT, se evaluó el efecto de la co-inoculación y la fertilización nitrogenada en la altura de la planta del cultivo de tomate. Los resultados indicaron que tanto la co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. y la interacción de la co-inoculación x fertilización nitrogenada tuvieron un efecto altamente significativo en la altura de planta de tomate ($p \leq 0.01$) (Figura 6a, Figura 7 y Anexo H). Las plantas no co-inoculadas con micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp., y que recibieron una fertilización nitrogenada del 0% y del 100%, mostraron una altura igual a aquellas plantas que recibieron un 0% y un 50% y fueron inoculadas; presentando una altura promedio de 120 cm. El estudio de Lira R et al. (2014) también tuvo un comportamiento similar al antes descrito. Sin embargo, es importante destacar que en dicho estudio se observó una altura de hasta 200 cm en plantas que fueron co-inoculadas. Esto podría atribuirse al hecho de que se aplicó una fertilización completa. Por otro lado, al evaluar las diferentes dosis de nitrógeno aplicadas, no se observó un efecto sobre la altura de la planta de tomate (Figura 6b). Esto puede estar ligado a que la relación mutualista que se establece entre micorrizas y bacterias promotoras del crecimiento vegetal ocurre de tal forma que, por un lado, las bacterias fijadoras de nitrógeno como *Azospirillum* sp. ponen a disposición de la planta el N atmosférico fijado, y, por otro lado, las micorrizas arbusculares incrementan la absorción de otros elementos, principalmente fósforo y también nitrógeno, posiblemente (Rivera Espinosa et al. 2003; Terry y Leyva 2005).

Figura 6

Efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum sp* en tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) bajo diferentes dosis de nitrógeno a los 60 días después del trasplante en la (a, b) altura de la planta

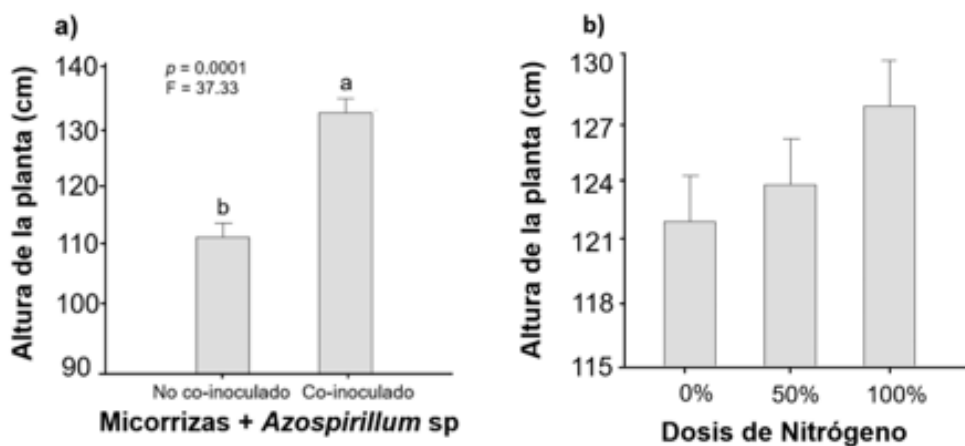
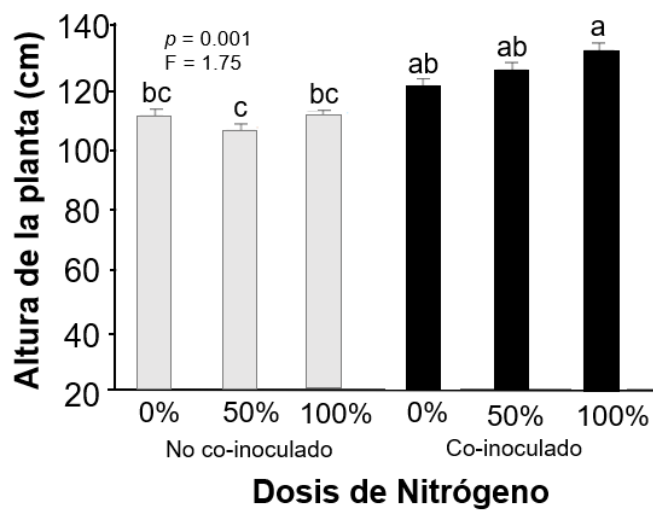


Figura 7

Efecto de la interacción de la co-inoculación con micorrizas arbusculares y *Azospirillum sp* × fertilización nitrogenada tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) bajo diferentes dosis de nitrógeno a los 60 días después del trasplante en la altura de la planta



Productividad del Tomate

A la cosecha se evaluó el número de kilogramos por planta como indicador de productividad. Se observó que la productividad del tomate varió significativamente cuando las plantas fueron co-inoculadas con micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. obteniendo $2.14 \text{ kg} \cdot \text{planta}^{-1}$ en promedio; en comparación con aquellas plantas que no fueron co-inoculadas, cuya productividad fue de $1.55 \text{ kg} \cdot \text{planta}^{-1}$ ($p \leq 0.05$) (Figura 8a, Anexo I). Esta diferencia en productividad representa de manera hipotética, alrededor de $16.39 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, si consideramos la densidad de siembra de $27000 \text{ plantas} \cdot \text{ha}^{-1}$, utilizada en el experimento. Estos resultados pueden ser comparados con los hallazgos de Hernández et al. (2004) y Lira R et al. (2014) quienes encontraron una menor diferencia entre las plantas no co-inoculadas y aquellas que recibieron co-inoculación, cuya variación estuvo alrededor de $6.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Un enfoque más preciso en la gestión de nutrientes puede mejorar aún más los rendimientos de los cultivos, maximizando el potencial de la co-inoculación y otros factores de mejora del crecimiento (De los Santos-Villalobos y Parra 2023). La interacción co-inoculación x fertilización nitrogenada también mostró un efecto altamente significativo en la productividad de tomate. Las plantas que fueron co-inoculadas con micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. y fueron aplicadas el 0%, 50% y 100% de la fertilización nitrogenada, obtuvieron rendimientos de $1.89, 2.18, 2.34 \text{ kg} \cdot \text{planta}^{-1}$, respectivamente ($p \leq 0.01$) (Figura 10, Anexo I). Sin embargo, la dosis de nitrógeno aplicada mostró no afectar la productividad de tomate cuando se consideró un $p < 0.05$; a pesar de ello, se observaron diferencias significativas a un $p \leq 0.1$ (Figura 8b, Anexo I), y al ser un experimento de campo, este resultado fue considerado en el presente análisis y discusión. Se observó que, las plantas que recibieron un 100% de la fertilización nitrogenada mostraron una tendencia hacia un mayor incremento en la productividad de tomate obteniendo un rendimiento promedio de $1.96 \text{ kg} \cdot \text{planta}^{-1}$ de tomate. El estudio de Lira R et al. (2014), demostró que la co-inoculación con *Azospirillum* sp y micorrizas arbusculares tiene un efecto positivo en la producción de tomate. Es importante destacar que, en dicho estudio los rendimientos obtenidos fueron de hasta $12 \text{ kg} \cdot \text{planta}^{-1}$ de tomate en plantas co-

inoculadas, muy superiores a las del presente estudio, debido probablemente a que, se realizó una fertilización completa con nitrógeno, fósforo y potasio, contrario a este estudio donde solo se aplicó nitrógeno. Otra razón por la que los resultados de Lira R et al. (2014) difieren de los obtenidos en esta investigación pueden ser atribuidos a que las condiciones controladas proporcionan un ambiente favorable para el crecimiento del tomate, protegen las plantas de condiciones adversas, controlan las plagas y enfermedades, utilizan eficientemente los recursos y permiten el cultivo continuo durante todo el año. Estos factores combinados contribuyen a obtener mayores rendimientos de tomate en comparación con los cultivos al aire libre (Went 1944; Yasuba et al. 2011).

La interacción co-inoculación x fertilización nitrogenada mostró que la productividad del tomate en plantas que fueron co-inoculadas con micorrizas y *Azospirillum* sp y fertilizadas con el 50% y 100% de la fertilización nitrogenada fueron estadísticamente iguales, pero significativamente mayores a aquellas no co-inoculadas, indistintamente del nivel de fertilización que fue aplicado (Figura 9, Anexo I). Goldense (2016), señala que la interacción entre micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. mejoran significativamente la eficiencia de absorción de nutrientes nitrogenados y fosforados, lo que puede reducir la necesidad de aplicar fertilizantes nitrogenados hasta en un 50%. Por otro lado, se observó que aquellas plantas de tomate co-inoculadas con micorrizas y *Azospirillum* sp y que no recibieron fertilización nitrogenada mostraron un rendimiento similar a aquellas no co-inoculadas que recibieron una dosis de fertilización nitrogenada del 100% y a aquellas a las que no se les aplicó nitrógeno (Figura 10 y Anexo I). Estos rendimientos se pudieron presentar porque las plantas co-inoculadas presentan una mayor altura de la planta, diámetro de tallo, número de flores y número de entrenudos por planta, la cual afectar positivamente la productividad del tomate (Hernandez Pérez 2011).

Figura 8

Efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum sp* en tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) bajo diferentes dosis de nitrógeno en la productividad expresada en kilogramos por planta

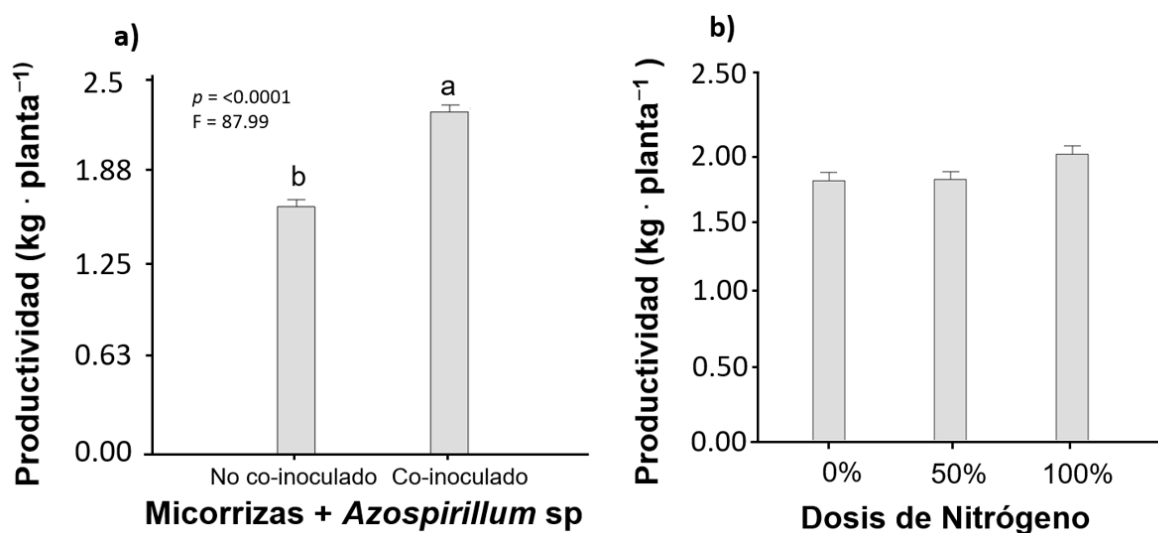
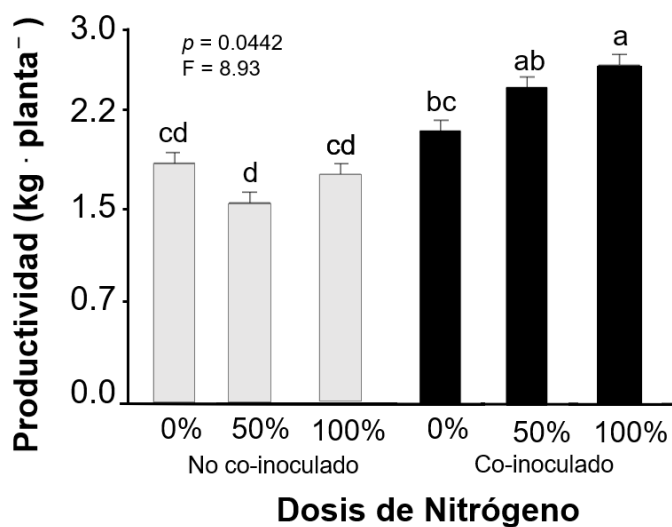


Figura 9

Efecto de la interacción de la co-inoculación con micorrizas arbusculares y *Azospirillum sp* × fertilización nitrogenada tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) bajo diferentes dosis de nitrógeno en la productividad expresada en kilogramos por planta



Colonización de Micorrizas

Al final del experimento se determinó el porcentaje de colonización de micorrizas por planta de tomate. En donde, se observó que la co-inoculación de micorrizas y *Azospirillum* sp., así como la interacción entre co-inoculación x fertilización nitrogenada, provocaron cambios altamente estadísticamente significativos en la colonización de micorrizas en las plantas ($p \leq 0.01$) (Figura 10a, Figura 11, Anexo I). Las plantas no-inoculadas no presentaron colonización de micorrizas arbusculares, y las plantas co-inoculadas con micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. y fueron fertilizados con el 0%, 50% y 100% de la dosis recomendada de nitrógeno presentaron porcentajes de colonización de 11%, 10% y 14%. Resultados similares obtuvieron Terry y Leyva (2005) utilizando *Azospirillum brasilense* y *Glomus clarum* en plantas de tomate tipo manzano co-inoculadas en etapa de semillero, ellos demostraron que no existe variación en la colonización de micorrizas arbusculares bajo ningún nivel de fertilización. La baja colonización de micorrizas arbusculares en este contexto puede atribuirse a las condiciones fisicoquímicas del suelo (pH y humedad) y a su manejo (Pérez y Vertel 2010). Dado que, tradicionalmente, el lote N° 24 de Zona 2 de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ha sido manejado bajo monocultivo y labranza convencional. (Vries et al. 2006) mencionan que este tipo de prácticas puede afectar directamente la microbiota del suelo, particularmente la presencia de microorganismos

Por otro lado, la dosis de nitrógeno mostró no afectar el porcentaje de colonización de las micorrizas arbusculares (Figura 10b y Anexo I). Hernández et al. (2004), demostraron que la fertilización nitrogenada no tiene efecto en el porcentaje de colonización, y que las plantas que fueron co-inoculadas con micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. mostraron una variación sobre la colonización de micorrizas arbusculares, obteniendo valores promedios del 45% de colonización de micorrizas arbusculares.

Figura 10

Efecto de la co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. en tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) bajo diferentes dosis de nitrógeno en el porcentaje de colonización de micorrizas arbusculares por planta

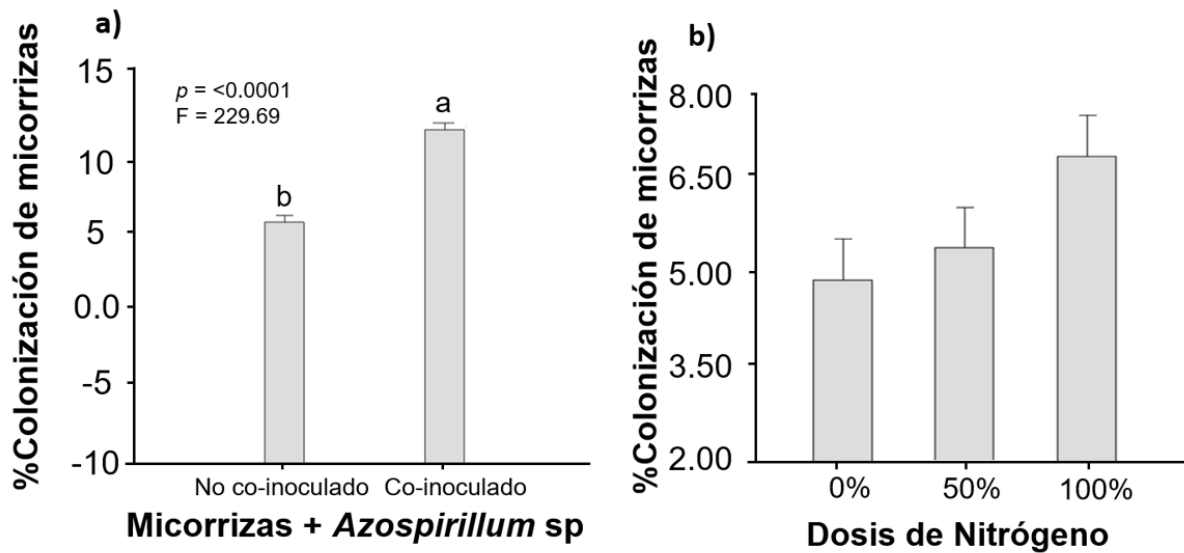
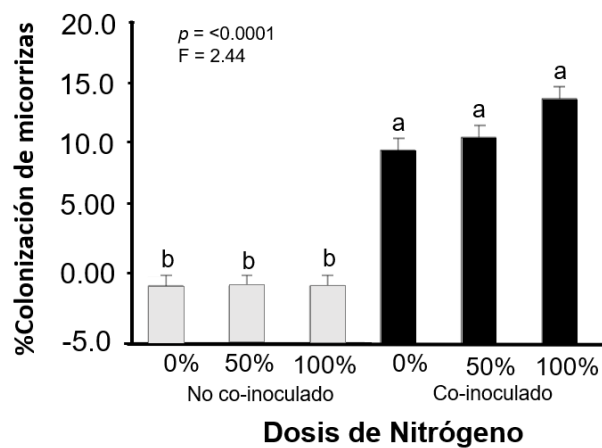


Figura 11

Efecto de la interacción de la co-inoculación con micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp \times fertilización nitrogenada tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) bajo diferentes dosis de nitrógeno en el porcentaje de colonización de micorrizas arbusculares por planta



Presencia de *Azospirillum* sp. en la Raíz

Se observó que el grupo de plantas que fueron co-inoculadas con *Azospirillum* sp. y micorrizas arbusculares independientemente de la dosificación de nitrógeno, denotó la presencia de esta bacteria fijadora de nitrógeno. Por otro lado, las plantas no inoculadas con *Azospirillum* sp. y micorrizas arbusculares no mostraron la presencia de esta bacteria.

Cuadro 2

Presencia o Ausencia de Azospirillum en raíces de plantas de tomate (Solanum lycopersicum var Ponny Express)

Fertilización nitrogenada (Dosis en %)	Tratamiento	
	Micorrizas + <i>Azospirillum</i> (100 g-planta ⁻¹ / 1x10 ⁻⁹ UFC)	Presencia/Ausencia de <i>Azospirillum</i>
0	No Co-inoculadas	Ausencia
50	No Co-inoculadas	Ausencia
100	No co-inoculadas	Ausencia
0	Co-inoculadas	Presencia
50	Co-inoculadas	Presencia
100	Co-inoculadas	Presencia

Conclusiones

La co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. tuvo un impacto significativo en el crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo de tomate a campo abierto. Por lo tanto, la co-inoculación de micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. representa una alternativa prometedora para mejorar la productividad del tomate, reduciendo la dependencia de los fertilizantes nitrogenados y disminuyendo la contaminación ambiental asociada a su uso.

Recomendaciones

Replicar el experimento con la co-inoculación de *Azospirillum* sp. y micorrizas arbusculares en etapa de semillero y evaluar el desarrollo vegetativo y la productividad bajo condiciones controladas.

Evaluar diferentes dosis de inoculación de *Azospirillum* sp. y micorrizas arbusculares para analizar si existen diferencias en la efectividad de la bacteria y de los hongos para fijar nitrógeno y absorber nutrientes.

Probar el efecto de la co-inoculación de las micorrizas arbusculares y *Azospirillum* sp. con diferentes dosificaciones de nitrógeno, fósforo y potasio.

Referencias

- Aguado-Santacruz GA, Moreno-Gómez B, Jiménez-Francisco B, García-Moya E, Preciado-Ortiz RE. 2012. Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis. *RevFitotecMex*; [consultado el 28 de mar. de 2023]. 35(1):9. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v35n1/v35n1a4.pdf>. doi:10.35196/rfm.2012.1.9.
- Almaguer J. 2013. "Fertilización nitrogenada, impactos sobre los rendimientos y el medio ambiente". *Delos*; [consultado el 27 de mar. de 2023]. 6(16):1–6. <https://www.eumed.net/rev/delos/16/fertilizacion-nitrogenada.pdf>.
- Alvarado M, Díaz A, Peña del Río, María de los Ángeles. 2014. Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*; [consultado el 16 de oct. de 2022]. 5(3):2–5. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263130497014>
- Andrade-Sifuentes A, Fortis-Hernández M, Preciado-Rangel P, Orozco-Vidal JA, Yescas-Coronado P, Rueda-Puente EO. 2020. *Azospirillum brasilense* and Solarized Manure on the Production and Phytochemical Quality of Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomy*. 10(12):1956. en. doi:10.3390/agronomy10121956.
- Berná L, Gutiérrez A, Navarro A, Morte A. 2016. Uso de hongos micorrícicos y bacterias beneficiosas del suelo como biofertilizantes en cultivos hortícolas. *Interempresas*; [consultado el 15 de oct. de 2022]. <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/165232-Uso-hongos-micorriscos-bacterias-beneficiosas-suelo-biofertilizantes-cultivos-horticolos.html>.
- Bertsch F. 2009. *Absorción de Nutrimientos por cultivos*. 1ª ed. San Jose Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. ISBN: 978-9968-9422-3-2.
- Bodale I, Mihalache G, Achiței V, Teliban G-C, Cazacu A, Stoleru V. 2021. Evaluation of the Nutrients Uptake by Tomato Plants in Different Phenological Stages Using an Electrical Conductivity Technique. *Agriculture*; [consultado el 6 de jun. de 2023]. 11(4):292. doi:10.3390/agriculture11040292.
- Cárdenas-Navarro R, Sánchez-Yáñez JM, Farías-Rodríguez R, Peña-Cabriales JJ. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *rchsh*; [consultado el 27 de mar. de 2023]. 10(2):173–178. https://www.researchgate.net/profile/Rodolfo-Farias-Rodriguez/publication/235965482_Contribution_of_nitrogen_to_agriculture/links/0a85e537f89422358f000000/Contribution-of-nitrogen-to-agriculture.pdf. doi:10.5154/r.rchsh.2002.07.039.
- De los Santos-Villalobos, Parra F. 2023. *Tecnologías para una producción sostenible de trigo: El caso del Valle del Yaqui Méxic.o*. México: Fontamarta; [consultado el 30 de may. de 2023]. 117 p. https://www.researchgate.net/profile/Sergio-De-Los-Santos-Villalobos/publication/370068584_Tecnologias_para_una_produccion_sostenible_de_trigo_El_caso_del_Valle_del_Yaqui_Mexico/links/644c25234af788735245a920/Tecnologias-para-una-produccion-sostenible-de-trigo-El-caso-del-Valle-del-Yaqui-Mexico.pdf.
- Delgado H, Gutiérrez L. 2022. Hongos micorrizas arbusculares: la simbiosis de los múltiples beneficios. *Higo*. 12(2):2–14. doi:10.5377/elhigo.v12i2.15196.
- Dobbelaere S, Croonenborghs A, Thys A, Ptacek D, Okon Y, Vanderleyden J. 2002. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and A. irakense strains on development and nitrogen uptake

- of spring wheat and grain maize. *Biol Fertil Soils*. 36(4):284–297. En;en. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-002-0534-9>. doi:10.1007/s00374-002-0534-9.
- Domínguez-Núñez JA, Berrocal-Lobo M, Albanesi AS. 2015. Interaction of *Azospirillum* and Mycorrhiza. En: Cassan FD, Yaacov O, Creus C, editores. *Handbook for Azospirillum*. Estados Unidos: Springer, Cham. p. 419–432. en. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-06542-7_23.
- Escalona V, Alvarado P, Monardes H, Urbina C, Martin A. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*). Innova Chile: [sin editorial]; [consultado el 27 de mar. de 2023]. 60 p. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/>.
- [FHIA] Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. 2018. Informe Técnico 2017. Centro de Comunicación Agrícola de la FHIA. Honduras: Secretaria de Ganadería y Agricultura; [consultado el 13 de abr. de 2023]. 110 p. http://www.fhia.org.hn/descargas/informes_tecnicos/inf_Programa_de_Hortalizas-2017.pdf.
- Francis CA, Roberts KJ, Beman JM, Santoro AE, Oakley BB. 2005. Ubiquity and diversity of ammonia-oxidizing archaea in water columns and sediments of the ocean. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 102(41):14683–14688. eng. doi:10.1073/pnas.0506625102.
- Goldense D. 2016. El uso de micorrizas reduce el uso de fertilizantes de fósforo hasta un 50%. España: Altech. <https://alltechspain.blogspot.com/2016/02/el-uso-de-micorrizas-reducen-el-uso-de.html>.
- Guerra B. 2008. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en marcha*; [consultado el 2 de jun. de 2023]. 21(1):39–44.
- Hernández, I M, Chailloux, Marisa. 2004. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como alternativa a la nutrición mineral del tomate. *Cultivos Tropicales*; [consultado el 8 de abr. de 2023]. 25(2):4–6. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217832001.pdf>.
- Hernandez Pérez A. 2011. Desarrollo de Tomate Cherry (*Solanum lycopersicum L. cv. Camelia*) en Respuesta a la Biofertilización Bajo Condiciones de Casasombra y Análisis de Algunos Parámetros Fisiológicos [Tesis]. México: Centro de investigación en Química Aplicada. 164 p; [consultado el 30 de may. de 2023]. <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/195/1/Armando%20Hernandez%20Perez%2C%20Maestria.pdf>.
- HM•Clause. 2022. Tomate Pony Express HM Clause. Queretaro, México: Harris Moran; [consultado el 27 de feb. de 2023]. 1 p. <https://agrogto.com/wp-content/uploads/2022/02/TOMATE-PONY-EXPRESS-HM-CLAUSE.pdf>.
- [IFA] Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. 2002. Los fertilizantes y su uso. [sin lugar]: IFA; [consultado el 27 de mar. de 2023]. 83 p. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>.
- Jarstfer A. 1970. Método para tinción de raíces. Estados Unidos: University of Florida.
- Ji, Chen Z, Kong X, Xin Z, Sun F, Xing J, Li C, Li K, Liang Z, Cao H. 2022. Biocontrol and plant growth promotion by combined *Bacillus* spp. inoculation affecting pathogen and AMF communities in the wheat rhizosphere at low salt stress conditions. *Front Plant Sci*. 13(8):1043171. eng. doi:10.3389/fpls.2022.1043171.

- Jin H, Liu J, Liu J, Huang X. 2012. Forms of nitrogen uptake, translocation, and transfer via arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Sci China Life Sci.* 55(6):474–482. eng. doi:10.1007/s11427-012-4330-y.
- Kuan KB, Othman R, Abdul Rahim K, Shamsuddin ZH. 2016. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Inoculation to Enhance Vegetative Growth, Nitrogen Fixation and Nitrogen Remobilisation of Maize under Greenhouse Conditions. *PLoS One.* 11(3):e0152478. eng. doi:10.1371/journal.pone.0152478.
- Laboski A, Peters j. 2012. Nutrient application guidelines for field, vegetable, and fruitcrops in Wisconsin. 1ª ed. Wisconsin: Cooperative Extension. <https://walworth.extension.wisc.edu/files/2018/11/Nutrient-Application-Guidelines-for-Field-Vegetable-Fruit-Crops-in-WI-A2809.pdf>.
- Lira R, Hernandez A, Valdez L, Cardenas A, Ibarra L, Hernandez M, Ruiz N. 2014. *Azospirillum brasilense* and *Glomus intraradices* co-inoculation stimulates growth and yield of cherry tomato under shadehouse conditions. *Phyton*; [consultado el 22 de jun. de 2023]. 83(1):133–138. https://www.academia.edu/26704431/Azospirillum_brasilense_and_Glomus_intraradices_co-inoculation_stimulates_growth_and_yield_of_cherry_tomato_under_shadehouse_conditions.
- Makarov MI. 2019. The Role of Mycorrhiza in Transformation of Nitrogen Compounds in Soil and Nitrogen Nutrition of Plants: A Review. *Eurasian Soil Sc.* 52(2):193–205. doi:10.1134/S1064229319020108.
- Medina A, Roldán A, Azcón R. 2010. The effectiveness of arbuscular-mycorrhizal fungi and *Aspergillus niger* or *Phanerochaete chrysosporium* treated organic amendments from olive residues upon plant growth in a semi-arid degraded soil. *Journal of Environmental Management.* 91(12):2547–2553. eng. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710002033>. doi:10.1016/j.jenvman.2010.07.008.
- Miransari M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake. *Arch Microbiol.* 193(2):77–81. eng. doi:10.1007/s00203-010-0657-6.
- Osorio-Vega N. 2009. Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. En: Marín López SM, Arcila Pulgarín J, González Osorio H, Cuervo Alzate JE, editores. *Materia orgánica, biología del suelo y productividad agrícola: Comité Regional Eje Cafetero*. Armenia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo; Cenicafé; Federación Nacional de Cafeteros. p. 43–71 ; [consultado el 27 de mar. de 2023]. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4203/1/cap3.pdf>.
- Paredes M. 2013. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Argentina: Universidad Nacional de Argentina. <https://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>.
- Parra Y, Cuevas F. 2002. Potencialidades de *Azospirillum* como inoculante para la agricultura. *Cultivos Tropicales.* 23(3). <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218120004.pdf>.
- Pedraza R, Filippone M, Fontana C, Salazar S, Ramírez-Mata A, Sierra-Cacho D, Baca B. 2020. Beneficial Microbes in Agro-Ecology. Elsevier: Academic Press. [sciencedirect.com/science/article/pii/B978012823414300006X?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012823414300006X?via%3Dihub).

- Pérez A, Vertel M. 2010. Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. *Revista MVZ Córdoba*; [consultado 06/04/23]. 15(3):3–7. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-02682010000300004.
- Ramírez M, Rodríguez A. 2010. Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 11(1). <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/download/195/200>.
- Rivera Espinosa R, Fernández Martín F, Fernández Suárez K, Hernández Jiménez A, Martín Triana JR. 2003. El Manejo efectivo de la simbiosis micowízica, una vía hacia la agricultura sostenible: Estudio de caso: El Caribe. Rivera Espinosa RA, editor. La Habana: Eds. INCA. 166 p. (Hivos). ISBN: 9597023245. Spanish.
- Rivera-Espejel E, Sandoval-Villa M, Rodríguez-Mendoza M, Trejo-López C, Gasga-Peña R. 2014. Tomato fertilization using ammonium and nitrate in split roots in hydroponics. *rchsh.* 20(1):57–70. doi:10.5154/r.rchsh.2012.12.069.
- Singh, Singh P, Li H, Song Q, Guo D, Solanki M, Verma K, Malviya S, Song X, Lakshmanan P, et al. 2020. Diversity of nitrogen-fixing rhizobacteria associated with sugarcane: a comprehensive study of plant-microbe interactions for growth enhancement in *Saccharum* spp. *BMC Plant Biol.* 20(1):220. eng. <https://bmcpantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-020-02400-9>. doi:10.1186/s12870-020-02400-9.
- Smith A, Jhonson C, Brown K. 2019. Time-dependent effects of inoculation and fertilization on plant growth. Springer: *Frontiers*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-018-3867-6>.
- Terry E, Leyva A. 2005. Evaluación agrobiológica de la coinoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. *Agronomía Costarricense: Agronomía Costarricense*; [actualizado el 21 de may. de 2023; consultado el 21 de may. de 2023]. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6832/6519>.
- [TFI] The Fertilizar Institute. 2012. What is the Role of Fertilizer in Today's Society? Arlington: The Fertilizar Institute; [actualizado el 2 de nov. de 2016; consultado el 27 de mar. de 2023]. <https://www.tfi.org/the-feed/what-role-fertilizer-today%E2%80%99s-society>.
- Thirkell TJ, Cameron DD, Hodge A. 2016. Resolving the 'nitrogen paradox' of arbuscular mycorrhizas: fertilization with organic matter brings considerable benefits for plant nutrition and growth. *Plant Cell Environ.* 39(8):1683–1690. eng. doi:10.1111/pce.12667.
- [UPEG] Unidad de Planeamiento y Evaluación de la Gestión. 2018. Tomate - El análisis de coyuntura. En: Murillo F, Rodríguez A, SAAVEDRA, editores. *Manual de metodología y análisis de coyuntura*. 1ª ed. [sin lugar]: UNIVERSIDAD DEL EXTERNADO. p. 229–258 ; [consultado el 27 de mar. de 2023]. <https://www.upeg.sag.gob.hn/wp-content/uploads/2022/03/AC-TOMATE-V20.4.pdf>.
- Urzúa H. 2002. Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. <http://scriptusnaturae.8m.com/Ai-ticulos/flin/simbiosis.htm%5D>.
- Vries FT de, Hoffland E, van Eekeren N, Brussaard L, Bloem J. 2006. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biology and Biochemistry.* 38(8):2092–2103. doi:10.1016/j.soilbio.2006.01.008.
- Went FW. 1944. Plant growth under controlled conditions. II. thermoperiodicity in growth and fruiting of the tomato. *American Journal of Botany.* 31(3):135–150. en. <https://>

bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.1537-2197.1944.tb08011.x. doi:10.1002/j.1537-2197.1944.tb08011.x.

Yara México. 2019. Resumen nutricional del tomate | Yara México. Mexico; [consultado el 19 de mar. de 2023]. <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/tomate/resumen-nutricional-del-tomate/>

Yasuba K, Suzuki K, Sasaki H, Higashide T, Takaichi M. 2011. Fruit yield and environmental condition under integrative environment control for high yielding production at long-time culture of tomato. Elsevier: Cabi. 10 vol.

Zulueta-Rodríguez R, Gómez-Merino FC, Alemán-Chávez I, Del Núñez-Camargo MC, Lara-Capistrán L. 2020. Respuesta del cultivo de maíz a la bio-inoculación y fertilización química reducida en campo. *Terra*. 38(3):597–612. doi:10.28940/terra.v38i3.656.

Anexos

Anexo A

Análisis de suelos del lote 24 de Zona 2, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras

Textura	g/100g				mg/Kg (extractable)					Relación C/N
	pH	C.O	M.O	N	P	K	Ca	Mg	Na	
Franco	6.76	0.96	1.65	0.08	129	453	1420	160	20	10.2

Nota: Proporcionado por el Laboratorio de Suelos de Zamorano

Anexo B

Requerimientos nutricionales por hectárea del cultivo de tomate.

ESPECIE	Requerimiento total (kg/ha)				
	N	P	K	Ca	Mg
Tomate	210	35	245	105	42

Anexo C

Método de clarificar y teñir muestras de raíces

SUGERENCIAS:

- A. Utilizar equipo apropiado para mayor seguridad y protección personal (anteojos, guantes y delantal).
- B. Utilizar “cassettes” plásticos (denso polymer tissue “cassettes” de Fisher Scientific) para retener las muestras de raíces.
- C. Todas las etapas que incluyan calentamiento de químicos deben ser manejadas y supervisadas cuidadosamente.
- D. Lea cuidadosamente todas las instrucciones antes de empezar el proceso.

PROCEDIMIENTO DE CLARIFICACIÓN:

1. Preparar los “cassettes” con muestras de raíces y manténgalos en agua hasta que todo esté listo para iniciar el proceso.
2. En un “beaker” vierta una solución de KOH al 10% de modo que cubra todos los cassettes.
3. Caliente el KOH hasta 80 °C de temperatura.
4. Coloque los cassettes en el KOH caliente durante: 15 minutos para cebolla y otras raíces tiernas, 30 minutos para la mayoría de las raíces (p.e. maíz, gramíneas)
5. Lave con agua cinco veces.

NOTA: Si las muestras de raíces tienen pigmentos oscuros (p.e. cafés, negros, morados) después de clarificarlas con KOH, coloque los cassettes en un beaker con 30% de agua oxigenada a temperatura ambiente (10 minutos a < 50 °C) hasta que las muestras se aclaren. Revíselas constantemente para evitar daños en las estructuras de las raíces. Enjuague cinco veces con agua y proceda. En caso de no tener agua oxigenada, cubra los cassettes con HCl (5.0 ml) y agua (200 ml). Mezcle y desagüe bien. Repítalo otra vez (no enjuague los cassettes con agua).

PROCEDIMIENTO DE TINCIÓN:

1. En un beaker, vierta suficiente cantidad de Azul de Tripano (0.05%) para cubrir los cassettes.

2. Caliente el tinte azul sin los cassettes hasta 80 °C de temperatura.

3. Coloque los cassettes en el tinte caliente y mantenga la temperatura en 80 °C. Después de 30 minutos, deje enfriar hasta que la temperatura sea menor de 50 °C; luego filtre el tinte para remover pedazos de raíces y almacenarlo bajo refrigeración en un frasco. Enjuague los cassettes una sola vez con agua.

4. En una placa, monte varias raíces para su observación y cúbralas con el cubreobjetos presionando levemente. Las raíces se deben manipular con pinza y guantes ya que el tinte es cancerígeno. En caso de no visualizar claramente las estructuras del hongo, coloque las raíces en un plato petri para enjuagarlas y luego observe. 43

5. Si no se van a analizar las muestras el mismo día, colóquelas en el refrigerador en una bolsa plástica etiquetada.

PREPARACIÓN DEL TINTE AZUL DE TRIPANO (0.05%)

En un frasco, añada y mezcle constantemente los siguientes ingredientes en el siguiente orden:

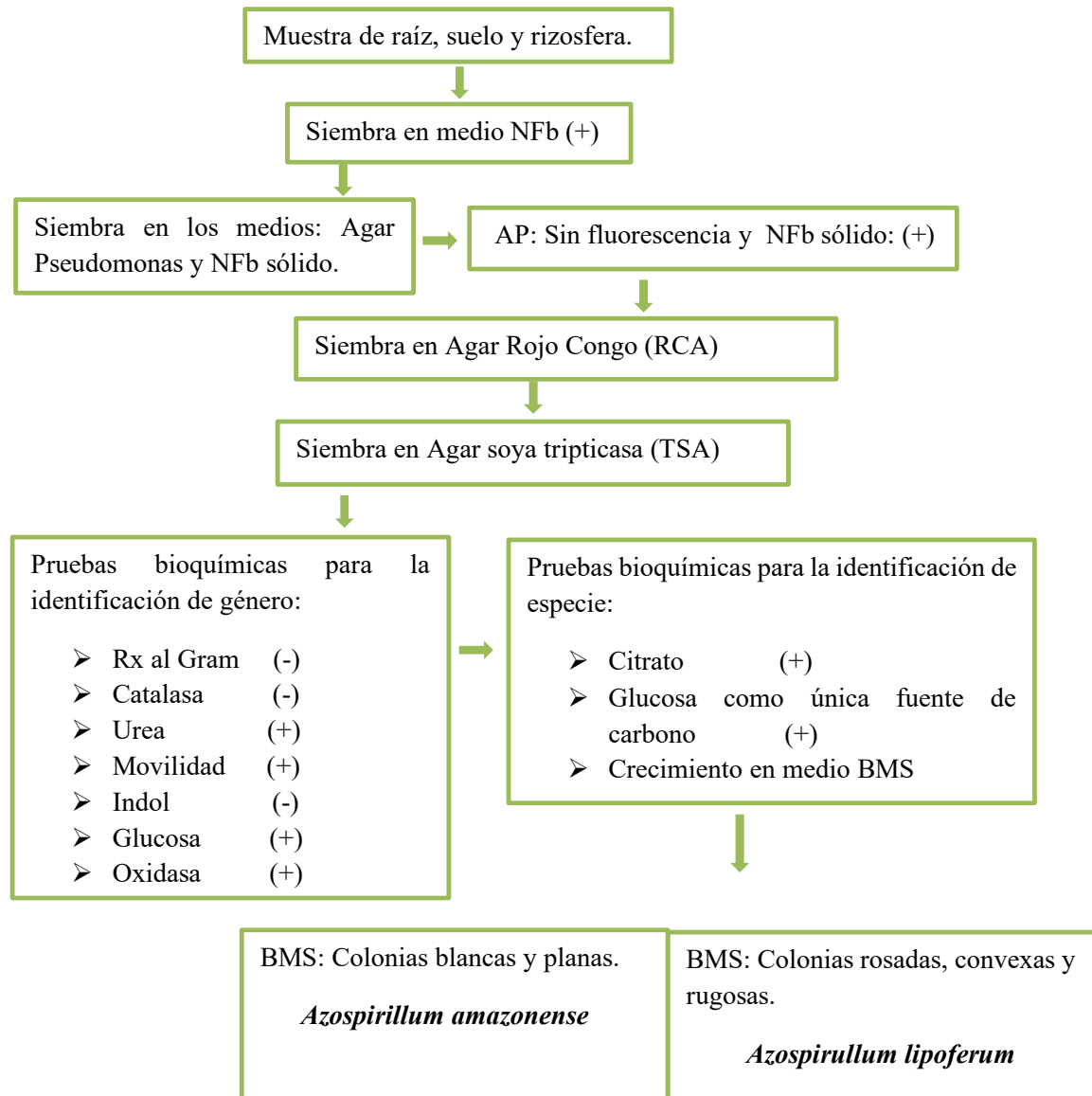
- 1) 800 ml glicerina
- 2) 800 ml ácido láctico
- 3) 800 ml agua destilada
- 4) 1.2 g del tinte Azul de Tripano

Método por:

JARSTFER, A.G. 1970. University of Florida, Soil Science Department, 2171 McCarty Hall, Gainesville, FL 32611-0151 USA.

Anexo D

Flujograma de identificación bioquímica de la bacteria *Azospirillum* sp.



Anexo E

Calendarización de fertilización

Fecha de aplicación	DDT	TRT 2 y 5		TRT 3 y 6	
		Nitrato Ca g/planta	Nitrato Ca Total (g)	Nitrato Ca g/planta	Nitrato Ca Total (g)
17/12/2022	21	0.88	47.52	1.76	95.04
21/12/2022	25	1.18	63.72	2.36	127.44
24/12/2022	28	1.18	63.72	2.36	127.44
28/12/2022	32	1.18	63.72	2.36	127.44
31/12/2022	35	1.18	63.72	2.36	127.44
4/1/2023	39	1.18	63.72	2.36	127.44
7/1/2023	42	1.18	63.72	2.36	127.44
11/1/2023	46	0.8	43.2	1.6	86.4
14/1/2023	49	0.8	43.2	1.6	86.4
18/1/2023	53	0.8	43.2	1.6	86.4
21/1/2023	56	0.8	43.2	1.6	86.4
25/1/2023	60	0.8	43.2	1.6	86.4
28/1/2023	63	0.8	43.2	1.6	86.4

Anexo F

Resultados del análisis de varianza de dos vías del efecto de la co-inoculación con micorrizas arbusculares + *Azospirillum* sp y tres diferentes niveles de dosis de nitrógeno en la altura de las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) a los 30 días después de trasplante.

Factor	Altura de la Planta (cm)					Diámetro de tallo (mm)				
	ANDEVA		Análisis post-hoc Tukey			ANDEVA		Análisis post-hoc Tukey		
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Mean (± standard error)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Mean (± standard error)
Inoculación	0.74	1	0.4078	Con	64.88 ± 0.92 a	1.88	1	0.1949	Con	7.15 ± 0.14 a
				Sin	66.01 ± 1.11 a				Sin	6.83 ± 0.2 a
Fertilización	1.67	2	0.2287	0%	65.19 ± 1.23 a	0.61	2	0.5601	0% de N	6.83 ± 0.24 a
				50%	64.11 ± 1.41 a				50% de N	6.99 ± 0.16 a
				100%	67.04 ± 0.88 a				100% de N	7.15 ± 0.26 a
Inoculación x Fertilización	1.78	2	0.2107	Con - 0% de N	64.15 ± 2.3 a	2.43	2	0.1297	Con - 0% de N	7.04 ± 0.07 a
				Con - 50% de N	66.11 ± 1.19 a				Con - 50% de N	6.82 ± 0.04 a
				Con - 100% de N	67.78 ± 0.23 a				Con - 100% de N	7.59 ± 0.27 a
				Sin - 0% de N	66.22 ± 1.07 a				Sin - 0% de N	6.63 ± 0.49 a
				Sin - 50% de N	62.11 ± 2.13 a				Sin - 50% de N	7.16 ± 0.3 a
Sin - 100% de N	66.33 ± 1.8 a	Sin - 100% de N	6.7 ± 0.26 a							

Nota: Medias con diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.

Anexo G

Resultados del análisis de varianza de dos vías del efecto de la co-inoculación con micorrizas arbusculares + *Azospirillum* sp y tres diferentes niveles de dosis de nitrógeno en el número de entrenudos y el número de flores de las plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* var *Ponny Express*) a los 30 días después de trasplante.

Factor	Número de entrenudos					Número de Flores				
	ANDEVA			Análisis post-hoc Tukey		ANDEVA			Análisis post-hoc Tukey	
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Mean (± standard error)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Mean (± standard error)
Inoculación	74.75	1	<0.0001**	Con Sin	14.33±0.33 a 12.67±0.13 b	3.27	1	0.0955	Con Sin	9.9 ± 0.3 a 0.36 ± 0.32 a
Fertilización	16.43	2	0.0004**	0% 50% 100%	12.77±0.21 b 13.63±0.46 a 14.1±0.54 a	5.48	2	0.0203*	0% de N 50% de N 100% de N	8.98 ± 0.32 a 9.72 ± 0.26 ab 10.19 ± 0.43 a
Inoculación x Fertilización	4.66	2	0.0317*	Con - 0% de N Con - 50% de N Con - 100% de N Sin - 0% de N Sin - 50% de N Sin - 100% de N	13.2±0.12 a 14.57±0.38 a 15.23±0.26 b 12.33±0.12 b 12.7±0.15 b 12.97±0.26 b	5.50	2	0.0202*	Con - 0% de N Con - 50% de N Con - 100% de N Sin - 0% de N Sin - 50% de N Sin - 100% de N	9.37 ± 0.13 ab 9.33 ± 0.17 ab 11 ± 0.33 a 8.59 ± 0.58 b 10.11 ± 0.39 ab 9.37 ± 0.41 ab

Nota: Medias con diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.

Anexo H

Resultados del análisis de varianza de dos vías del efecto de la co-inoculación con micorrizas arbusculares + Azospirillum sp y tres diferentes niveles de dosis de nitrógeno en la altura de las plantas de tomate (Solanum lycopersicum var Ponny Express) a los 60 días después de trasplante.

Factor	Altura de la planta (cm)				
	ANDEVA			Análisis post-hoc Tukey	
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Mean (± standard error)
Inoculación	37.33	1	0.0001**	Con	132.02 ± 1.83 a
				Sin	116.78 ± 1.99 b
Fertilización	1.65	2	0.233	0%	123.75 ± 3.02 a
				50%	122.01 ± 4.99 a
				100%	127.44 ± 3.91 a
Co- inoculación x Fertilización	1.75	2	0.001**	Con - 0%	128.4 ± 4.61 ab
				Con - 50%	132.22 ± 2.38 ab
				Con - 100%	135.55 ± 0.46 a
				Sin - 0%	119.20 ± 1.93 bc
				Sin - 50%	111.8 ± 3.83 c
				Sin - 100%	119.33 ± 3.25 bc

Nota: Medias con diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p <$

0.05). * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.

Anexo I

Resultados del análisis de varianza de dos vías del efecto de la co-inoculación con micorrizas arbusculares + *Azospirillum* sp y tres diferentes niveles de dosis de nitrógeno en la productividad de tomate y la colonización de micorrizas arbusculares en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* var Ponny Express)

Factor	Productividad del tomate (kg planta ⁻¹)					Colonización de micorrizas arbusculares (%)				
	ANDEVA		Análisis post-hoc Tukey			ANDEVA		Análisis post-hoc Tukey		
	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Mean (± standard error)	Valor F	Gl	valor - p	Nivel	Mean (± standard error)
Inoculación	88.03	1	<0.0001**	Con	2.14 ± 0.07 a	229.69	1	<0.0001**	Con	11.67 ± 0.9 a
				Sin	1.55 ± 0.06 a				Sin	0 ± 0 a
Fertilización	3.51	2	0.0624	0%	1.78 ± 0.07 a	2.44	2	0.1293	0% de N	5.5 ± 2.63 a
				50%	1.79 ± 0.18 a				50% de N	5 ± 2.24 a
				100%	1.96 ± 0.18 a				100% de N	7 ± 3.16 a
Inoculación x Fertilización	8.85	2	0.042*	Con - 0% de N	1.89 ± 0.08 bc	47.89	2	<0.0001**	Con - 0% de N	11 ± 2.08 a
				Con - 50% de N	2.18 ± 0.05 ab				Con - 50% de N	10 ± 0 a
				Con - 100% de N	2.34 ± 0.06 a				Con - 100% de N	14 ± 1 a
				Sin - 0% de N	1.67 ± 0.09 cd				Sin - 0% de N	0 ± 0 b
				Sin - 50% de N	1.39 ± 0.01 cd				Sin - 50% de N	0 ± 0 b
Sin - 100% de N	1.58 ± 0.14 d	Sin - 100% de N	0 ± 0 b							

Nota: Medias con diferentes letras son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$). * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.