



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EFICIENCIA DE HONGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EN DOS HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays*
L.) BAJO DOS DENSIDADES DE SIEMBRA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Abel Eduardo José Pozo

LA LIBERTAD, 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EFICIENCIA DE HONGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EN DOS HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays*
L.) BAJO DOS DENSIDADES DE SIEMBRA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor/a: Abel Eduardo José Pozo

Tutor/a: Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **ABEL EDUARDO JOSÉ POZO** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 10/12/2024



Firmado electrónicamente por:
**ANDRÉS FERNANDO
RAMÍREZ CRUZ**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, PhD
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Andrés Ramírez Cruz, Mgtr
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD
**PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. Washington Perero Vera, MSc
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia para completar este proyecto. Sin Su guía y bendiciones, este logro no habría sido posible.

Extiendo mi más sincero agradecimiento a mi tutora, la Ing. Nadia Quevedo, por su valiosa orientación durante todo el proceso de implementación y desarrollo de esta tesis. Sus recomendaciones y consejos fueron fundamentales para la elaboración de este trabajo.

Agradezco también a los profesores que compartieron generosamente sus conocimientos y me brindaron apoyo académico a lo largo de mi formación.

A mis amigos y familiares, gracias por su apoyo incondicional y por estar a mi lado en cada etapa de este proyecto. Su motivación, compañía y ayuda fueron esenciales para superar los desafíos y alcanzar esta meta.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, por haberme dado la fortaleza, la sabiduría y la fe necesarias para enfrentar cada desafío de este camino académico. Sin Su presencia y bendiciones, este logro no habría sido posible.

A mi querida familia, que ha sido mi pilar fundamental: a mis padres, por su amor, sacrificio y enseñanzas, que me impulsaron a luchar por mis sueños; ya mis hermanos, por su constante apoyo y confianza. Gracias por creer en mí y por brindarme su amor incondicional.

Dedico también este trabajo a mis abuelos, cuyas historias y experiencias me inspiraron a valorar y respetar la agricultura. A todos mis amigos y seres queridos que estuvieron a mi lado, ofreciéndome ánimo y compañía, les agradezco profundamente por hacer de este recorrido una experiencia enriquecedora y memorable.

Este proyecto es un reflejo del esfuerzo conjunto y del amor con el que me rodearon.

RESUMEN

Este estudio evaluó el impacto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el crecimiento y rendimiento de dos Híbridos de maíz bajo dos densidades de siembra en la comuna San Marcos, provincia de Santa Elena.

Se empleó un diseño de bloques completamente al azar factorial 2x2x2 con 32 unidades experimentales, que incluyó las combinaciones de dos híbridos de maíz, dos densidades de siembra (alta y baja) y la presencia o ausencia de HMA. Las variables evaluadas fueron altura de planta, número de hileras y rendimiento en quintales por hectárea (qq/ha), y los datos se analizaron mediante ANOVA y la prueba de Tukey. Los resultados mostraron que la inoculación con HMA incrementó significativamente la altura de las plantas a los 45 días. En cuanto al rendimiento, la variedad Advanta alcanzó un rendimiento superior en alta densidad (162,875 qq/ha), mientras que Dass mantuvo un rendimiento estable en ambas densidades. La inoculación con HMA mejoró la eficiencia micorrízica en ambas variedades, siendo el efecto más notable en Advanta, sin diferencias significativas entre densidades. La inoculación con HMA incrementa la eficiencia micorrízica y el rendimiento del maíz, especialmente en variedades y densidades que optimizan la simbiosis, sugiriendo que el uso de HMA, junto con una densidad de siembra adecuada, es una estrategia efectiva para maximizar la productividad. y sostenibilidad del cultivo de maíz en suelos de baja fertilidad.

Palabras claves: Simbiosis, inoculación, rendimiento, Grano, Fertilidad.

ABSTRACT

This study assessed the effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) inoculation on growth and yield of two maize hybrids under varying planting densities in San Marcos, Santa Elena Province. A 2x2x2 factorial randomized block design with 32 experimental units was employed, combining two maize hybrids, two planting densities (high and low), and AMF presence/absence. Variables evaluated included plant height, ear number, and yield (qq/ha). ANOVA and Tukey's test analyzed the data. Results showed AMF inoculation significantly increased plant height at 45 days. Advanta yielded higher at high density (162,875 qq/ha), while Dass maintained stable yields across densities. AMF improved mycorrhizal efficiency in both varieties, with Advanta showing the most notable effect, regardless of density. AMF inoculation enhances mycorrhizal efficiency and maize yield, particularly in optimized varieties and densities, suggesting AMF use, combined with suitable planting density, is an effective strategy for maximizing productivity and sustainability in low-fertility soils.

Keywords: Symbiosis, inoculation, yield, grain, fertility.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado **EFICIENCIA DE HONGOS MICORRÍZICOS ARSBUSCULARES EN DOS HBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays L.*) BAJO DOS DENSIDADES DE SIEMBRA** y elaborado por **ABEL EDUARDO JOSÉ POZO** declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firmado electrónicamente por:
**ABEL EDUARDO JOSE
POZO**

Firma del estudiante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico:	2
Justificación	2
Objetivos	3
Objetivo General:	3
Objetivos Específicos:	3
Hipótesis	3
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 Definición y características de los HMA	4
1.1.1 Ciclo de vida y reproducción de los HMA	4
1.1.2 Tipos de hongos micorrízicos arbusculares presentes en el suelo	5
1.1.3 Funciones de los HMA en la simbiosis planta-hongo	6
1.2 Cultivo de maíz	6
1.2.1 Características	6
1.2.2 Descripción morfológica.....	6
1.2.3 Manejo cultural	7
1.2.4 Afectación por plagas al cultivo de maíz.....	8
1.3 Interacción entre hongos micorrízicos arbusculares y maíz (zea mays l.)	10
1.3.1 Mecanismos de colonización de raíces de maíz por los HMA	10
1.3.2 Beneficios de la simbiosis para el maíz	10
1.3.3 Efectos en el desarrollo radicular de maíz	10
1.3.4 Mejora en la absorción de nutrientes por parte de las plantas	10
1.4 Densidad de siembra en el cultivo de maíz	11
1.4.1 Definición y determinantes de la densidad de siembra.....	11
1.4.2 Impacto de la densidad de siembra en la competencia intra e entreplantas	11
1.4.3 Relación entre densidad de siembra y rendimiento del maíz.....	12
1.4.4 Influencia de la densidad de siembra en la disponibilidad de recursos	12
1.5 Estudios Previos sobre la Interacción HMA-Maíz y Densidad de Siembra	12
1.5.1 Revisión de investigaciones relacionadas con la influencia de HMA en el maíz. 12	
1.5.2 Análisis de estudios sobre la respuesta del maíz a diferentes densidades de siembra 13	
1.6 Identificación de brechas en el conocimiento existente	13
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1 Caracterización del área	14
2.2 Material biológico y condiciones experimentales	15
2.2.1 Hongos micorrízicos arbusculares	15
2.2.2 Antecedentes de uso de suelo	15
2.2.3 Preparación del suelo	15
2.3 Materiales, equipos y insumos	16
2.3.1 Material de campo	16
2.3.2 Material de laboratorio.....	16
2.3.3 Equipos de oficina	16
2.3.4 Insumos.....	16
2.4 Tipo de investigación	16
2.5 Diseño de investigación	16
2.5.1 Diseño experimental	16

2.6	Manejo del experimento.....	18
2.6.1	Inoculación de semilla	18
2.6.2	Siembra	18
2.6.3	Control de Maleza.....	19
2.6.4	Plan de fertilización	19
2.6.5	Manejo fitosanitario	19
2.6.6	Frecuencia de riego	20
2.7	Parámetros evaluados	20
2.7.1	Morfológicos.....	20
2.7.2	Parámetros productivos.....	21
2.8	Análisis estadístico de los resultados.....	21
	CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1	Efectos en los parámetros morfológicos	21
3.1.1	Altura a los 30 y 45 días	21
3.2	Eficiencia micorrízica.....	23
3.3	Parámetros Productivos.....	25
3.3.1	Rendimiento.....	25
3.3.2	Numero de hileras.....	28
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
	Conclusiones.....	32
	Recomendaciones.....	32
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
	ANEXOS.....	38
	39
	39
	39
	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los híbridos ADVANTA 9789 y DASS 3383	15
Tabla 2. Descripción de los tratamientos del experimento que se estableció	17
Tabla 3. Información del producto utilizado	19
Tabla 4. Resumen de análisis de la varianza en la altura de planta día 30 y 45 con inoculación y no inoculación y diferentes distancias de siembras	22
Tabla 5. Respuesta del factor Híbrido y presencia ausencia de HMA en la variable altura de las plantas a los 30 y 45 DDS.....	23
Tabla 6. Respuesta de la interacción de los factores híbrido densidad en la variable altura de las plantas a los 30 y 45 DDS.	23
Tabla 7. Resumen del análisis de varianza del rendimiento (qq/ha), bajo el efecto de la inoculación micorrízica, distintas distancias de siembra y dos híbridos de maíz en la comuna San Marcos	26
Tabla 8. Interacción entre híbrido y densidad de siembra en el rendimiento (qq/ha).....	27
Tabla 9. Resumen del análisis de varianza del número de hileras, bajo el efecto de la inoculación micorrízica, distintas distancias de siembra y dos híbridos de maíz en la comuna San Marcos	28
Tabla 10. Respuesta del factor híbrido y presencia ausencia de HMA en la variable número de hilera.....	29
Tabla 11. Respuesta de la interacción de los factores híbridos densidad en la variable número de hilera.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación donde se desarrolló el experimento (“Google Maps,” 2024).....	14
Figura 2. Distribución de tratamientos	18
Figura 3. Eficiencia micorrizica de dos Híbridos de maíz sembradas a dos densidades de siembra	25
Figura 4. Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento de dos híbridos de maíz en la comuna San Marcos.....	26
Figura 5. Efecto de la inoculación con Hongos Micorrizicos Arbusculares en el rendimiento de dos híbridos de maíz en la comuna San Marcos.....	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Ilustración 1A. Preparación del terreno.....	38
Ilustración 2A. Instalación de sistema de riego.....	38
Ilustración 3A. Híbrido Dass 3383.....	38
Ilustración 4A. Híbrido Advanta 9789.....	38
Ilustración 5A. MICORRIZAS.....	39
Ilustración 6A. Tratamiento de semillas.....	39
Ilustración 7A. Siembra.....	39
Ilustración 8A. Cultivo día 8.....	39
Ilustración 9A. Fumigación fitosanitaria.....	40
Ilustración 10A. Primera fertilización.....	40
Ilustración 11A. Monitoreo del cultivo día 23.....	40
Ilustración 12A. Medición de altura de planta día 30.....	40
Ilustración 13A. Segunda fertilización.....	41
Ilustración 14A. Tercera fertilización.....	41
Ilustración 15A. Medición de altura de planta día 45.....	41
Ilustración 16A. Monitoreo del cultivo día 50.....	41
Ilustración 17A. Recolección de muestra para el cálculo de la eficiencia micorrizica.....	42
Ilustración 18A. Ingreso de las muestras fresca a la estufa.....	42
Ilustración 19A. Peso de las muestras secas.....	42
Ilustración 20A. Numero de hileras.....	42
Ilustración 21A. Cosecha.....	43
Ilustración 22A. Proceso para cálculo de rendimiento.....	43
Ilustración 23A. Ingreso de la muestra fresca a la estufa.....	43
Ilustración 24A. Peso del grano seco.....	43

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L.*) es el único cereal que puede ser utilizado como alimento tanto para personas como para animales en cualquier etapa de su desarrollo o producción. Este cultivo tiene una gran importancia económica a nivel mundial debido a su versatilidad, ya que además de ser una fuente básica de alimentación, es utilizada en la industria para la elaboración de diversos productos (Guamán Guamán et al., 2020).

El bajo nivel de fósforo en los suelos es un factor crítico que reduce el rendimiento del cultivo de maíz. En áreas donde se ha realizado monocultivos, como en la provincia de Santa Elena, esta deficiencia se expresa en una capacidad muy reducida de intercambio catiónico, bajo nivel de concentración de bases, una menor disponibilidad de fósforo y menor cantidad de materia orgánica (Cruz and Yadirsa, 2021).

En la provincia de Santa Elena los agricultores se dedican a sembrar maíz, en 2022 la superficie sembrada de maíz fue de 3.327 hectáreas, sin embargo, enfrenta desafíos debido a las condiciones climáticas como las sequías y el alto costo de los fertilizantes. La implementación de micorrizas surge como una alternativa, para mejorar los nutrientes como nitrógeno y fósforo en el suelo, satisfaciendo así las necesidades del cultivo (Montenegro Pozo, 2022a).

Los microorganismos en los suelos tienen funciones importantes para la salud de los cultivos. Entre todos los microorganismos, los hongos micorrízicos tienen un papel importante para formar asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas (Navarrete et al., 2020).

Las estructuras simbióticas facilitan la distribución de fósforo y brinda protección contra enfermedades radiculares. El hongo capta compuestos de carbono elaborados por la planta durante el proceso de la fotosíntesis (Rivera, 2015).

Las raíces de las plantas y los hongos micorrízicos aportan el incremento la absorción de fósforo, esto estimula el crecimiento vegetal y mejora la nutrición. Esta interacción de los hongos es particularmente importante para la producción de maíz en Santa Elena.

El presente estudio propone determinar la eficiencia de la inoculación de hongo micorrízico arbusculares (HMA) en el cultivo de maíz, analizando parámetros productivos, como el crecimiento y rendimiento del cultivo. La investigación busca aportar conocimientos de la interacción de los hongos con diferentes variedades de maíz y diferentes densidades de siembra.

Problema Científico:

¿De qué manera la eficiencia de los hongos micorrízicos arbusculares afecta el desarrollo y el rendimiento de dos variedades de maíz (*Zea mays* L.) cultivadas bajo distintas densidades de siembra?

Justificación

Esta investigación es importante porque busca optimizar la producción de maíz (*Zea mays* L.) de manera sostenible, utilizando hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y evaluando su impacto en diferentes densidades de siembra. El estudio aborda el problema de la baja eficiencia en la producción agrícola y propone un enfoque innovador que combina prácticas biotecnológicas y agronómicas para mejorar el rendimiento del cultivo de maíz, reduciendo el uso de fertilizantes químicos y fomentando la biodiversidad del suelo. El aporte principal al campo de la agronomía es el conocimiento sobre cómo los HMA, en combinación con densidades de siembra adecuadas, pueden aumentar el rendimiento del maíz y mejorar la salud del suelo. A corto plazo, este trabajo beneficiará a los agricultores al proporcionarles estrategias más eficientes y ecológicas, mientras que, a largo plazo, puede influir en la formulación de políticas de agricultura sostenible. La novedad de este estudio radica en su enfoque en la interacción entre HMA benéficos y prácticas de manejo agronómico, un área poco explorada en la región. Este conocimiento es crucial para el desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y productivos, beneficiando a agricultores, técnicos y comunidades locales.

Objetivos

Objetivo General:

- ❖ Evaluar la influencia de los hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y rendimiento de dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.) sometidas a dos densidades de siembra.

Objetivos Específicos:

1. Determinar el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo agronómico de los híbridos de maíz estudiados.
2. Evaluar el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en el rendimiento de dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.).
3. Definir los niveles de eficiencia micorrízica bajo las condiciones en estudio.

Hipótesis

La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares mejorará el desarrollo radicular, aumentará la absorción de nutrientes y, conducirá a un mayor rendimiento y calidad de la cosecha en ambos híbridos de maíz.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Definición y características de los HMA

La palabra micorriza proviene del vocablo griego myco (hongo) y rhyza, (raíz) y es la capacidad que tienen las plantas de establecer relaciones compatibles con algunos hongos del suelo de forma generalizada en la naturaleza. La conservación de los sistemas naturales y recuperación de aquellos suelos que han sido degradados por un mal manejo las micorrizas constituyen un poderoso recurso microbiano, incrementar o mejorar los suelos productivos con su implementación, como una buena alternativa en la agricultura (Serrano, 2014).

La micorriza se encuentra en la mayoría de los suelos y están asociados con las plantas a través de una relación simbiótica que incrementa la absorción de agua y nutrientes (Neira Gonzalez, 2024).

Los hongos formadores de micorriza arbuscular (HMA) son simbioses benéficos de la mayoría de las plantas terrestres. La planta involucrada en la simbiosis es aprovisionada de nutrimentos por parte del hongo que promueve el crecimiento vegetal, a cambio de energía para reproducción del HMA (Quiñones-Aguilar et al., 2019).

1.1.1 Ciclo de vida y reproducción de los HMA

Las micorrizas arbusculares se originan a partir de propágulos en el suelo, como esporas, fragmentos de raíces micorrizadas o plantas adyacentes que ya albergan la simbiosis. Cuando una hifa micorrízica entra en contacto con la epidermis de la raíz, forma un apresorio que facilita la penetración en las células o espacios intercelulares. A nivel del córtex de la raíz, se desarrollan estructuras intracelulares denominadas "ovillos" y arbusculos, los cuales, mediante una ramificación dicotómica, actúan como sitios clave para el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta huésped (León Velandia, 2007).

León Velandia (2007), destaca la importancia de las micorrizas arbusculares en la formación de vesículas en el córtex de la raíz, las cuales almacenan reservas lipídicas cruciales para la planta. Después de la colonización de la raíz, el micelio externo se ramifica y extiende, facilitando la absorción de nutrientes y generando nuevos puntos de colonización en la raíz principal y en las cercanas. Esta red tridimensional de hifas da lugar a esporas que actúan como estructuras de resistencia, permitiendo al hongo completar su ciclo de vida y asegurar su persistencia en el suelo.

Los hongos de micorriza arbuscular (HMA) son simbioses biotróficos obligados con un ciclo de vida que se divide en dos fases principales. La primera comprende los estadios de reposo y reproducción, que incluyen esporas, esporocarpios y, potencialmente, vesículas,

y que se desarrollan de manera independiente de la planta huésped. La segunda fase involucra interacciones complejas con la planta, abarcando el reconocimiento, la colonización y el intercambio de nutrientes. Durante esta fase, el desarrollo de hifas externas en el suelo y de hifas internas, arbusculos y vesículas dentro de la raíz es fundamental para el establecimiento de la simbiosis y la eficacia del intercambio de nutrientes.

Es una asociación endosimbiótica quiere decir que el hongo invade el interior de la raíz (Zapata *et al.*, 2024).

1.1.2 Tipos de hongos micorrízicos arbusculares presentes en el suelo

Según serrano (2014), la clasificación de las micorrizas está de acuerdo con la forma en cómo se encuentran dispuestas las hifas del hongo dentro de los tejidos corticales de la raíz, así:

Ectomicorrizas: Las ectomicorrizas se caracterizan por la disposición de las hifas del hongo, que no penetran directamente en las células de la raíz de la planta. En lugar de eso, las hifas se ubican en la superficie de la raíz y en los espacios intercelulares, formando una red conocida como la "red de Hartig". Esta red es visible a simple vista, lo que permite una observación directa de la estructura micorrízica.

Son indispensables para el establecimiento y funcionamiento de los bosques templados. Algunos de ellos tienen esporas u otros propágulos resistentes y longevos; Éstos se acumulan en el suelo forestal formando bancos de propágulos que constituyen la fuente de inóculo más importante después de perturbaciones severas (Garibay-Orijel *et al.*, 2013).

Endomicorrizas: las endomicorrizas son aquellas donde el micelio penetra tanto intra como intercelularmente en las células corticales de las raíces. Dentro de las células, las hifas forman vesículas y arbusculos, lo que caracteriza este tipo de micorriza por su capacidad de colonizar el interior celular.

Endomicorrizas son estructuras altamente ramificadas, típicamente intracelulares, que se localizan en las células cercanas al cilindro vascular, y su función es la transferencia de nutrimentos desde el suelo hasta el huésped; las vesículas son protuberancias que quedan revestidas por la membrana plasmática. Las hifas, por otra parte, se extienden varios centímetros por fuera de la raíz, incrementando la cantidad de nutrientes absorbidos. En este sentido, las hifas no están septadas, es decir, ausentes de tabiques que separan las células y las asociaciones hongo/hospedante no son muy específicas (Noda, 2009).

Ectendomicorrizas: Las ectendomicorrizas representan una etapa intermedia entre las ectomicorrizas y las endomicorrizas. Este tipo de micorriza se distingue por la formación

de un manto fungoso en la superficie externa de las células de la raíz, similar a las ectomicorrizas. Sin embargo, también presenta una penetración parcial en las células de la raíz para formar vesículas y arbusculos, combinando así características de ambos tipos de micorrizas (Pérez-Moreno and Read, 2004).

1.1.3 Funciones de los HMA en la simbiosis planta-hongo

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son simbioses beneficiosos que se asocian con la mayoría de las plantas terrestres. En esta relación simbiótica, el hongo suministra nutrientes esenciales a la planta, estimulando su crecimiento, mientras que la planta proporciona al hongo la energía necesaria para su reproducción (Quiñones-Aguilar et al., 2019).

Son microorganismos rizosféricos que pueden ser sujetos de manipulación para la producción de inoculantes. Establecen una simbiosis mutualista con las raíces de la mayoría de las plantas; que ayuda a mejorar el crecimiento gracias al sistema de hifas que se desarrollan fuera de la raíz y que permiten una mayor exploración del suelo al incrementar la captación de nutrimentos poco móviles (Tapia-Goné et al., 2010).

1.2 Cultivo de maíz

1.2.1 Características

El maíz es un cultivo de importancia económica a nivel mundial. Las características genotípicas y fenotípicas, son afectadas por las condiciones ambientales a las que se expone la planta (Guamán et al., 2020). El maíz es una planta monocotiledónea muy cultivada a lo largo de todo el mundo, siendo uno de los alimentos de consumo básico en muchas poblaciones. Perteneciente a la familia de las Poáceas, de la tribu Maydeas, las especies del género *Tripsacum* son formas salvajes parientes del maíz, también con origen americano, pero sin valor económico directo (Sánchez Ortega and Pérez-Urria Carril, 2014).

Es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética, teniendo el más alto potencial para la producción de carbohidratos (Simón and Golik, 2020).

1.2.2 Descripción morfológica

El maíz (*Zea mays L.*) es una planta herbácea anual de la familia Poaceae, caracterizada por un crecimiento erecto y robusto. Su sistema radicular es fibroso y se extiende tanto de forma lateral como vertical, proporcionando estabilidad y absorción de nutrientes. El tallo es cilíndrico, hueco en los entrenudos, con una longitud que puede variar entre 1 y 4 metros, dependiendo de la variedad. Las hojas son alternas, alargadas y lanceoladas, con márgenes lisos o ligeramente dentados y nervaduras paralelas bien definidas. La planta es monoica,

presentando flores masculinas en una inflorescencia terminal (la panoja) y flores femeninas agrupadas en mazorcas axilares, protegidas por brácteas. El fruto es un grano seco (cariópside), cuyo tamaño, color y forma dependen de la variedad cultivada.

Raíz: El sistema radicular del maíz, las raíces seminales se desarrollan a partir de la radícula de la semilla a la profundidad a la que ha sido sembrada. Las primeras raíces adventicias inician su desarrollo a partir del primer nudo en el extremo del mesocotilo. El sistema de raíces adventicias es el principal sistema de fijación de la planta y además absorbe agua y nutrimentos (Caicedo-Camposano et al., 2019). Un sistema radical sano es determinante en el desarrollo de todos sus órganos aéreos (Espinoza-Velázquez et al., 2012).

El tallo: es erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. Por su aspecto recuerda al de una caña, no presenta entrenudos y si una médula esponjosa si se realiza un corte transversal (Carbonelli Mosqueira, 2021).

Las hojas: son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes (Justiniano Aysanoa, 2010).

Las flores: femeninas se encuentran agrupadas en una espiga envueltas de largas brácteas, a esta espiga se la conoce como mazorca, estas aparecen en las axilas de ciertas hojas. Las flores masculinas están agrupadas en panículas, brotan en la extremidad del tallo. La flor está formada por un pistilo rudimentario, dos órganos laterales que se conocen como lodículos y tres estambres fértiles (Moreira Landívar, 2021).

Fruto: (Grano) del maíz es una cariópside, donde el pericarpio está fusionado con la semilla. Los granos se disponen en hileras alrededor del eje central de la mazorca. Su tamaño, forma y color varían dependiendo de la variedad, pudiendo ser amarillos, blancos, rojizos, morados o multicolores. Los granos son ricos en almidón, proteínas y aceites, lo que los convierte en un alimento básico de gran importancia mundial.

1.2.3 Manejo cultural

El manejo cultural del maíz incluye prácticas agronómicas clave para maximizar su rendimiento y adaptarse a las condiciones locales. Aquí te resumo algunos puntos importantes basados en artículos científicos:

Densidad de siembra: La densidad es fundamental para maximizar el uso de recursos. Estudios sugieren densidades que oscilan entre 50,000 y 90,000 plantas por hectárea dependiendo del tipo de híbrido y las condiciones ambientales. Densidades más altas suelen aplicarse en zonas con acceso a riego y condiciones favorables.

Preparación del suelo: Se recomienda la labranza adecuada para garantizar una buena germinación y desarrollo radicular. Esto incluye arar y rastrear el terreno para obtener una superficie uniforme.

Fertilización: El manejo de NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) debe ajustarse a las necesidades del cultivo y las condiciones del suelo. Por ejemplo, fórmulas como 250-60-60 o 202-46-60 de N-P-K se aplican en diferentes etapas del cultivo junto con fertilizantes foliares para suplir micronutrientes como hierro, zinc y manganeso.

Control de plagas y enfermedades: El uso de insecticidas y fungicidas en etapas críticas del cultivo, como anthesis y grano lechoso, es común para prevenir daños y asegurar un buen rendimiento.

Riego: En regiones con déficit hídrico, el riego suplementario en momentos clave puede marcar la diferencia, como en la etapa de floración y llenado de grano.

1.2.4 Afectación por plagas al cultivo de maíz

Algunas plagas pueden ser agrupadas dependiendo del daño que causen, ya sea en la implantación, en hojas, tallos y espigas, siendo el grupo más relevante el de los que causan daño en la implantación debido a que es mucho más difícil de controlar (Triana Cruz, 2021).

Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

El gusano cogollero es una de las plagas más destructivas del maíz, atacando principalmente las hojas jóvenes en el cogollo de la planta. Las larvas causan perforaciones características que disminuyen la capacidad fotosintética y, por ende, afectan el crecimiento y el rendimiento del cultivo. El manejo incluye monitoreo frecuente, uso de insecticidas biológicos como *Bacillus thuringiensis* y siembras sincronizadas para interrumpir su ciclo de vida.

Gusano de la Mazorca (*Helicoverpa zea*)

Esta plaga ataca las mazorcas, donde las larvas se alimentan de los granos en desarrollo, causando pérdidas directas de rendimiento y favoreciendo la contaminación por hongos. Los daños reducen la calidad del producto y aumentan el riesgo de presencia de micotoxinas. Su manejo se basa en el control biológico con parasitoides, insecticidas específicos y monitoreo en etapas críticas del cultivo.

Perforador del Tallo (*Diatraea spp.*)

El perforador del tallo causa daños internos al crear galerías en los tallos y entrenudos del maíz, debilitando la estructura de la planta y afectando el transporte de agua y nutrientes. Esto puede llevar al volcamiento de las plantas, especialmente bajo condiciones de viento o

lluvia intensa. Se controla mediante la rotación de cultivos, eliminación de residuos y el uso de variedades resistentes.

Pulgón del Maíz (Rhopalosiphum maidis)

El pulgón del maíz se alimenta de la savia de las hojas, provocando amarilleamiento, enrollamiento y debilitamiento general de la planta. Además, actúa como vector de enfermedades virales que afectan el rendimiento del cultivo. Su manejo incluye el uso de insecticidas específicos, control biológico con depredadores naturales como mariquitas y prácticas culturales como la eliminación de malezas hospedantes.

Gallina Ciega (Phyllophaga spp.)

Las larvas de gallina ciega atacan las raíces del maíz, causando daños severos en plántulas y plantas jóvenes. Los síntomas incluyen marchitez, retraso en el crecimiento y, en casos extremos, la muerte de la planta. Se controla mediante labranza profunda, uso de bioinsecticidas y aplicación de insecticidas químicos en las etapas iniciales del cultivo.

Mosquita del Maíz (Delphacodes kuscheli)

Esta plaga es un vector importante del virus del Mal de Río Cuarto, una enfermedad que afecta severamente el desarrollo del maíz. Los síntomas incluyen deformaciones en hojas y mazorcas, así como una reducción significativa del rendimiento. El manejo consiste en el control de insectos vectores mediante insecticidas y la implementación de medidas culturales como la rotación de cultivos.

Viajes del Maíz (Frankliniella williamsi)

Los viajes son insectos diminutos que raspan las hojas del maíz, dejando manchas plateadas que disminuyen la capacidad fotosintética de la planta. Aunque el daño directo suele ser limitado, pueden debilitar el cultivo y favorecer infecciones secundarias. El manejo incluye la rotación de cultivos, el uso de insecticidas de baja toxicidad y la promoción de enemigos naturales.

Termitas (Microtermes spp.)

Las termitas atacan las raíces y tallos del maíz, especialmente cuando están debilitados o en análisis, provocando el colapso de las plantas y reduciendo el rendimiento. Su control incluye la eliminación de restos orgánicos en el campo y la aplicación de productos específicos en el suelo para prevenir su establecimiento y propagación.

1.3 Interacción entre hongos micorrízicos arbusculares y maíz (*zea mays* L.)

1.3.1 Mecanismos de colonización de raíces de maíz por los HMA

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son estructuras simbióticas que establecen una relación mutualista con diversas plantas, incluyendo el maíz (*Zea mays*). Estos hongos no solo aumentan la productividad del cultivo, sino que también mejoran la resistencia de las plantas al estrés hídrico, aumentan la producción de clorofila y fortalecen su capacidad para sobrevivir en condiciones adversas. Diversos estudios han respaldado que la inoculación con micorrizas mejora la capacidad de absorción de nutrientes en las plantas, lo que resulta en un crecimiento más vigoroso y resiliente (Pérez et al., 2021).

1.3.2 Beneficios de la simbiosis para el maíz

Las micorrizas establecen relaciones simbióticas con hongos del phylum Glomeromycota y la mayoría de las plantas vasculares. Estas asociaciones tienen la capacidad de mejorar la absorción de nutrientes poco móviles. La inoculación con hongos micorrízicos generalmente provoca un notable incremento en los procesos de absorción y translocación de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), hierro (Fe), manganeso (Mn), entre otros (Navarrete et al., 2020).

La micorriza arbuscular (MA) es la simbiosis mutualista que se establece entre hongos del phylum Glomeromycota y la mayoría de plantas vasculares (Pérez-Luna et al., 2012).

1.3.3 Efectos en el desarrollo radicular de maíz

La simbiosis mutualista de las micorrizas con el maíz tiene el efecto de aumentar la superficie de absorción de las raíces a través de un sistema de hifas extrarradicales. Este proceso permite que la planta absorba y asimile de manera más eficiente agua, minerales como nitrógeno y fósforo, así como iones de baja movilidad como ácido fosfórico, amoníaco, zinc y cobre, mejorando así su balance hídrico y nutricional (Garzón, 2016).

1.3.4 Mejora en la absorción de nutrientes por parte de las plantas

La principal función de la simbiosis entre micorrizas y plantas es el intercambio de nutrientes. La planta proporciona al hongo carbono generado a través de la fotosíntesis, mientras que el hongo suministra principalmente nitrógeno y fósforo. Cabe resaltar que las plantas destinan entre un 5% y un 20% del carbono asimilado por fotosíntesis para generar exudados radiculares que sostienen a los simbiontes en las raíces. Este proceso resulta más

eficiente para la planta que invertir en la producción de nuevas raíces (Carrillo-Saucedo et al., 2022a).

El fósforo, es el principal elemento que el HMA transloca a la planta, sin embargo, también moviliza el agua, expande el área de exploración radical a través de las hifas, accediendo a nutrientes y espacios edáficos inaccesibles para las raíces. A pesar de los beneficios, la planta tiene influencia en el crecimiento del hongo (Hernández-Acosta et al., 2020).

1.4 Densidad de siembra en el cultivo de maíz

1.4.1 Definición y determinantes de la densidad de siembra

La densidad de siembra en el cultivo de maíz es una de las decisiones más complejas que tiene que tomar el agricultor, ya que implica calcular la cantidad de semilla a comprar. Por esta razón, se hace necesario determinar la cantidad óptima de plantas que permitan su adecuado desarrollo y garanticen un alto rendimiento (Caviedes et al., 2020).

Una densidad de siembra inadecuada puede tener efectos significativos en la producción de maíz. Si la densidad es demasiado baja, podrías estar subutilizado superficie y recursos valiosos, lo que se traducirá en un rendimiento subóptimo. Por otro lado, una densidad excesiva puede conducir a una competencia feroz entre las plantas, lo que resulta en una menor captación de luz y nutrientes esenciales. Además, aumenta la probabilidad de enfermedades y plagas que pueden diezmar tu cultivo. En el caso del maíz, una densidad inapropiada puede tener un impacto especialmente negativo, dada su falta de plasticidad y necesidad de desarrollo homogéneo entre plantas (Calviño, 2023).

La siembra de maíz en alta densidad es una práctica de manejo ampliamente utilizada para incrementar el rendimiento del cultivo; este método incrementa la competencia intraespecífica por radiación solar, nutrientes y agua, por lo que se reduce el rendimiento por planta, pero se cosecha un mayor número de plantas. Sin embargo, los diferentes híbridos de maíz presentan un comportamiento diferencial debido a que algunos son tolerantes y otros susceptibles a esta condición, determinado por su plasticidad para ajustar su morfología y fenología (Quevedo et al., 2018).

1.4.2 Impacto de la densidad de siembra en la competencia intra e entreplantas

La densidad de siembra afecta la eficiencia en la interceptación de la radiación, así como procesos de asimilación de nutrientes y consumo de agua además se relaciona con el desarrollo del área foliar de las plantas, la propagación e incidencia de enfermedades y de insectos plaga, así como la presencia y biomasa de las arvenses. Estos factores afectan

directamente el rendimiento y la eficiencia en el uso de los recursos, aspecto que ha llevado a estudiar la eficiencia de los sistemas productivos a través de la variación en la densidad de siembra y el arreglo espacial de los cultivos (García-Abarca and Calderón-Cerdas, 2021).

1.4.3 Relación entre densidad de siembra y rendimiento del maíz

La densidad de población es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos. En el maíz ejerce alta influencia sobre el rendimiento de grano y las características agronómicas, pues el rendimiento de grano se incrementa con la densidad de población, hasta llegar a un punto máximo y disminuye cuando la densidad se incrementa más allá de este punto. La densidad de población es uno de los factores que frecuentemente modifica el productor para incrementar el rendimiento de grano, pero no siempre establece la densidad adecuada (Blanco-Valdes et al., 2021).

1.4.4 Influencia de la densidad de siembra en la disponibilidad de recursos

La planta de maíz es sumamente competitiva por lo que requiere que su distribución en la superficie del suelo sea adecuada, es decir, se necesita que la densidad óptima de un cultivo en una región determinada tenga un arreglo espacial en el suelo de manera que permita el óptimo desarrollo de la población de plantas (sin competencia entre ellas), a fin de que expresen su mayor potencial de rendimiento. Dentro del concepto de densidad de siembra, la Óptima está en función de la variedad y de la condición del suelo (Cubas-Pérez and Córdova-Díaz, 2013).

1.5 Estudios Previos sobre la Interacción HMA-Maíz y Densidad de Siembra

1.5.1 Revisión de investigaciones relacionadas con la influencia de HMA en el maíz

La inoculación micorrízica en conjunto a la fertilización en el cultivo de maíz influye positivamente, permitiendo obtener un mayor crecimiento y desarrollo de la planta en cuanto a las variables morfológicas y productivas del maíz (altura de la planta, diámetro del tallo, biomasa seca y longitud de la mazorca). Las variables fueron influenciadas parcialmente por los niveles de fertilización aplicados (Montenegro Pozo, 2022a).

Los hongos micorrízicos arbusculares mejoran el crecimiento y estado hídrico del cultivo de maíz en condiciones de estrés hídrico. Debido a que durante la simbiosis la planta transfiere al hongo parte de su foto asimilados, debe existir un balance entre el costo de transferir carbono al hongo y los beneficios que obtiene la planta para adaptarse a las condiciones de estrés. La eficiencia en la simbiosis micorrízica arbuscular depende de las especies asociadas, de manera que los beneficios que obtenga una especie vegetal dependen de la especie de HMA que esté asociada (Harris-Valle et al., 2009).

1.5.2 Análisis de estudios sobre la respuesta del maíz a diferentes densidades de siembra

La densidad óptima en maíz para rendimiento de grano y forraje depende del genotipo, fertilidad y manejo agronómico del cultivo (Sánchez-Hernández et al., 2011). Si el productor utiliza una densidad de población mayor que la óptima, incrementa la competencia por luz, agua y nutrimentos, lo que ocasiona reducción en el volumen radical, número de mazorcas, cantidad y la calidad del grano por planta e incrementa la frecuencia de pudriciones de raíz y tallo, lo que propicia el acame. Por el contrario, las densidades de población bajas, provocan problemas con arvenses o de desperdicio de suelo (Blanco-Valdes and González-Viera, 2021a).

1.6 Identificación de brechas en el conocimiento existente

El uso eficiente de los recursos, principalmente del agua y de los nutrientes, constituyen una estrategia real para reducir la brecha entre el rendimiento actual y el rendimiento alcanzable de un determinado cultivo, pero para ello, es necesario conocer la dinámica de acumulación y distribución de biomasa a medida que el cultivo crece y se desarrolla (fenología), puesto que existe una estrecha relación entre la biomasa acumulada y la demanda de nutrientes (Montúfar et al., 2021).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

La investigación se realizó en la comuna de San Marcos, ubicada en la parroquia Colonche, provincia de Santa Elena, se encuentra a unos 4 km de la cabecera parroquial aproximadamente, situada en las coordenadas geográficas -2.024432 de latitud y -80.640328 de longitud. Está limitada por las comunidades: al norte con las comunidades de Bambil Deshecho y Río Seco; sur con la comuna San Miguel; este con la cabecera parroquial de Colonche y al oeste con la población de Cerezal de Bellavista.

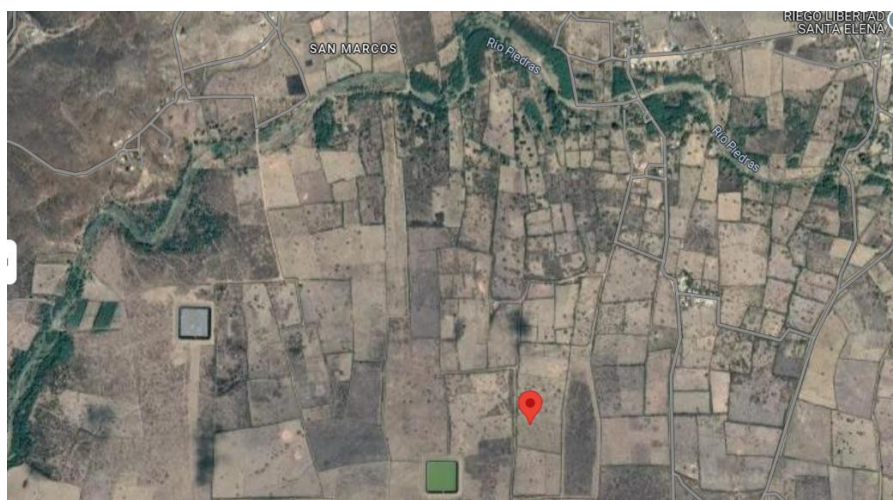


Figura 1. Ubicación donde se desarrolló el experimento (*Google Maps, 2024*).

El experimento se realizó entre los meses de marzo a julio del 2024 en la finca de Don Eduardo José, ubicada en el Cantón Santa Elena parroquia Colonche.

La parroquia Colonche, ubicada en la provincia de Santa Elena, se caracteriza por un clima árido y semiárido, típico de las zonas costeras del Ecuador. Esta región presenta precipitaciones bajas anuales, generalmente concentradas entre enero y abril, con promedios que oscilan entre los 150 y 400 mm dependiendo del año. Las temperaturas promedio suelen mantenerse entre los 24°C y 28°C. Estas condiciones climáticas limitan la disponibilidad hídrica, lo que influye directamente en la agricultura, especialmente en cultivos como el maíz.

El suelo de Colonche es predominantemente franco arenoso, con una capacidad de retención de agua baja, lo que requiere prácticas agrícolas específicas, como el uso eficiente del riego y la incorporación de materia orgánica, para mejorar su productividad. Además, la cordillera Chongón-Colonche influye en el microclima de ciertas zonas, creando condiciones más frescas y con mayor humedad en áreas específicas, lo que beneficia la actividad agrícola y forestal en algunas partes de la parroquia (Mero Mina, 2021).

2.2 Material biológico y condiciones experimentales

Se utilizó dos híbridos ADVANTA 9789 y DASS 3383, cuyas características se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los híbridos ADVANTA 9789 y DASS 3383

Características	ADVANTA 9789	DASS 3383
Días de cosecha:	130-135 días;	115–120 Dias
Tipo de grano:	Semicristalino	Semicristalino
Color de grano:	Anaranjado	Naranja
Pudrición de mazorca:	5.1	4.2
Altura de la planta:	228 – 260 cm	2,25-2,35cm
Altura de mazorca:	112-141 cm	105-125 cm
Volcamiento del tallo:	1.9%	1,50%
Volcamiento de raíz:	1.8%.	1,55%

Fuente: (Farmagro, 2024)

2.2.1 Hongos micorrízicos arbusculares

Se utilizó un producto comercial a base de hongos micorrízicos comerciales (HMA) que contiene una mezcla de esporas de alta eficiencia provenientes de bosques de árboles nativos del Ecuador, con una concentración de 50 unidades de endoectomicorrizas. Este inoculante se presenta en forma de gránulos de polvo fino y se aplicó a las semillas de maíz siguiendo las recomendaciones del fabricante, que incluyen una dosis específica de 5 gramos por planta, aplicada mediante el método de recubrimiento de semillas (*Ferbiohux*, 2024).

2.2.2 Antecedentes de uso de suelo

El área experimental utilizada para este estudio ha sido históricamente dedicada al monocultivo de maíz. No se realizó análisis de suelo, esta práctica continuada de monocultivo puede llevar a la degradación del suelo, afectando su estructura, contenido de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes.

2.2.3 Preparación del suelo

Inicialmente, se realizó una pasada de arado para aflojar la capa superior del suelo. Esta práctica tiene como objetivo mejorar la estructura del suelo, facilitando la penetración de raíces y promoviendo un buen anclaje de las plantas.

2.3 Materiales, equipos y insumos

2.3.1 *Material de campo*

Machete

Bomba

Piola

Cinta métrica

Estacas

Cañas

Tablas

2.3.2 *Material de laboratorio*

Estufa

Balanza

2.3.3 *Equipos de oficina*

Computador portátil

Cuaderno

Lapicero

2.3.4 *Insumos*

Inoculante Micorrízico *Huxtable*

Semillas

Agua

Fertilizante

Insecticidas

2.4 Tipo de investigación

La investigación realizada fue de tipo experimental, ya que implica la manipulación deliberada de varias variables independientes (variedad de maíz, densidad de siembra, y la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares) para observar y analizar su efecto sobre una variable dependiente (crecimiento y rendimiento del maíz).

2.5 Diseño de investigación

2.5.1 *Diseño experimental*

Se utilizó un diseño completamente al azar con un esquema factorial 2x2x2 y cuatro repeticiones. Este diseño incluyó dos variedades de maíz (Advanta 9789 y Dass 3383), dos densidades de siembra (0.20 m x 1.20 m y 0.30 m x 1.20 m), y dos niveles de inoculación

micorrízica (con y sin HMA), resultando en un total de 32 unidades experimentales (Tabla 2).

Este tipo de delineamiento experimental es adecuado para estudios en los que se busca manipular intencionalmente una o más variables independientes con el fin de observar y medir sus efectos sobre una o más variables dependientes bajo condiciones controladas (Hernández Sampieri et al., 2014).

Tabla 2. Descripción de los tratamientos del experimento que se estableció

Identificación	Hibrido	Densidad de siembra	Inoculación micorrízica
T1	H1 (Advanta 9789)	D1 (0.20 m x 1.20 m)	HMA(-)
T2	H1 (Advanta 9789)	D1 (0.20 m x 1.20 m)	HMA(+)
T3	H1 (Advanta 9789)	D2 (0.30 m x 1.20 m)	HMA(-)
T4	H1 (Advanta 9789)	D2 (0.30 m x 1.20 m)	HMA(+)
T5	H2 (Dass 3383)	D1 (0.20 m x 1.20 m)	HMA(-)
T6	H2 (Dass 3383)	D1 (0.20 m x 1.20 m)	HMA(+)
T7	H2 (Dass 3383)	D2 (0.30 m x 1.20 m)	HMA(-)
T8	H2 (Dass 3383)	D2 0.30 m x 1.20 m)	HMA(+)

El área total del experimento fue de 1293.5 m² subdividida en 32 parcelas con dimensiones de 6m x 3.6m, considerándose el área útil de cada parcela a tres hileras centrales sin considerar los bordes.

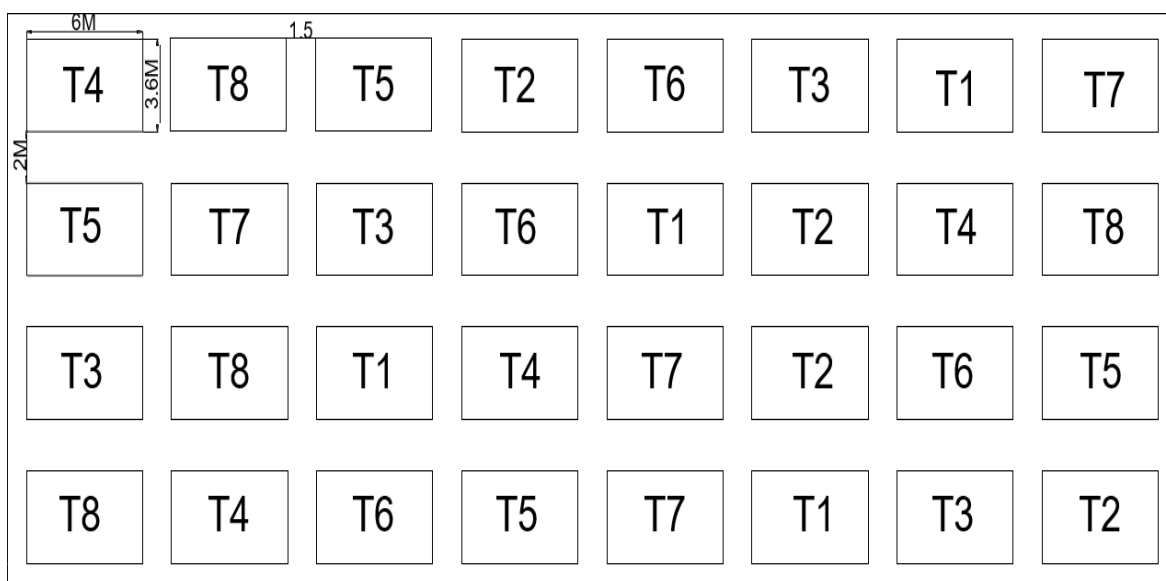


Figura 2. Distribución de tratamientos

2.6 Manejo del experimento

El establecimiento del experimento se llevó a cabo siguiendo una serie de actividades planificadas para asegurar el adecuado desarrollo del cultivo de maíz bajo condiciones controladas. Las actividades incluyeron la inoculación de semillas, un plan de fertilización fundamentado en los requerimientos del cultivo, manejo fitosanitario y una frecuencia de riego adecuada. A continuación, se describen cada una de estas etapas:

2.6.1 Inoculación de semilla

Las semillas fueron inoculadas utilizando el producto comercial Huxtable®, aplicando una dosis de 5 g por semilla, según las recomendaciones del fabricante. La inoculación se llevó a cabo mediante el método de recubrimiento de semillas, asegurando una distribución uniforme del inoculante en la superficie de cada semilla para favorecer la colonización micorrízica.

2.6.2 Siembra

La distribución de las parcelas para cada híbrido fue de un área de 21.6 m², donde se ubicaron los 8 tratamientos y 4 repeticiones. Se utilizó el método de golpe para la siembra, que consistió en colocar las semillas en los agujeros previamente realizados. Las distancias de siembra fueron de 0.20 m x 1.20 m y 0.30 m x 1.20 m.

2.6.3 Control de Maleza

Se aplicó un herbicida selectivo (Avgold) con moléculas activas de Nicosulfuron y Thifensulfurón-metil en las fases iniciales del cultivo, siguiendo las recomendaciones del fabricante. A continuación, se presenta la Tabla 3 con el producto utilizado (Avgust, 2024).

Tabla 3. Información del producto utilizado

Producto	Blanco biológico (nombre común)	molécula activa	Dosis
Avgod	Bledo; Paja peluda; Hierba floja; Paja morada; Paja de burro; Verdolaga; Betilla; Alfalfa; Paja peluda	Nicosulfuron y Thifensulfurón-metil	50g/200 Litros

Fuente: (Avgust, 2024)

2.6.4 Plan de fertilización

Se realizó la fertilización según los requerimientos del cultivo la primera fertilización se realizó a los 15 días después de la siembra utilizando Yaramila Complex, un fertilizante complejo que contiene una combinación balanceada N12%. N nítrico5%. N amoniacal7% P₂O₅ 11%, K₂O 18%, MgO 2,7%, S 8%, SO₃ 20%, B 0,015%, Fe 0,2%. Aplicaron 5 gramos por planta de Yaramila Complex para promover un buen establecimiento del cultivo y un desarrollo inicial robusto (YaraMila, 2018).

La segunda fertilización se llevó a cabo a los 30 días después de la siembra con Urea, un fertilizante nitrogenado de alta concentración que es rápidamente absorbido por las plantas. En esta etapa, se aplicaron 10 gramos por planta de Urea con el objetivo de fomentar el crecimiento vegetativo, asegurando un desarrollo vigoroso de hojas y tallos.

La tercera y última fertilización se realizó a los 45 días después de la siembra utilizando Yaramila Amidas, un fertilizante que combina N 40% N amoniacal 5% N ureico 35% SO₃ 14%. En esta aplicación, se suministraron 15 gramos por planta de Yaramila Amidas. Esta fertilización se enfocó en cubrir las necesidades del cultivo durante la fase de floración y llenado de grano, momentos en los que el maíz requiere una mayor cantidad de nutrientes para asegurar una buena formación de los granos y un rendimiento óptimo (YaraVera, 2018).

2.6.5 Manejo fitosanitario

Durante el desarrollo del experimento, se implementó un monitoreo semanal para la detección temprana de plagas que pudieran comprometer el cultivo. Para el manejo

fitosanitario, se aplicó el insecticida Belt a los 20 días posteriores a la siembra. Este producto contiene Flubendiamide como ingrediente activo, el cual actúa por ingestión y se dirige específicamente contra las larvas de lepidópteros. Su mecanismo de acción interfiere rápidamente en el proceso de alimentación de las larvas, induciendo parálisis y, subsecuentemente, su muerte. En esta aplicación, se utilizaron 50 ml del producto diluidos en 200 litros de agua, según las recomendaciones técnicas. (AgroBayer, 2024). No se aplicó productos para prevenir enfermedades.

Una segunda intervención se realizó a los 40 días con el uso de Radiant, un insecticida de nueva generación eficaz en el control de una amplia gama de plagas en diversos cultivos. Posee un modo de acción por contacto e ingestión, además de un efecto translaminar. Su ingrediente activo, Jemvelva (Spinetoram), pertenece a la clase de los spinosines y ha sido desarrollado para el manejo eficiente de lepidópteros, trips y dípteros. En esta aplicación, se utilizó 100 ml del producto diluidos en 200 litros de agua, siguiendo las recomendaciones del fabricante (Radiant, 2024).

2.6.6 Frecuencia de riego

Para este estudio, se implementó un sistema de riego por goteo. En los primeros 30 días post-siembra, se efectuó el riego durante dos horas diarias en días alternos. Con la proximidad de la floración, se observó un aumento en la demanda de agua por parte del cultivo, lo que llevó a extender el tiempo de riego a tres horas diarias en días alternos (Montenegro Pozo, 2022b).

2.7 Parámetros evaluados

2.7.1 Morfológicos

Altura de planta (m) a los, 30 y 45 días:

La altura de la planta se tomó al azar, a 10 plantas de los tratamientos. Se midió desde el suelo hasta el ápice de la panoja, utilizando cinta métrica.

Eficiencia micorrízica:

En la fase de recolección, se llevó 1 planta de cada proceso, que se dividieron en dos grupos: inoculadas con micorrizas y las no inoculadas. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a un proceso de deshidratación en una estufa de circulación de aire (modelo Bov-V30F) a una temperatura constante de 65 °C durante un periodo de 72 horas.

$$\text{Eficiencia micorrízica (\%)} = \frac{\text{Planta inoculado} - \text{Planta no inoculada}}{\text{Planta no inoculada}} \times 100$$

2.7.2 Parámetros productivos

Numero de hileras:

Se seleccionaron al azar 5 mazorcas de cada tratamiento para contar el número de hileras en cada una.

Rendimiento;

Primero, se determinó el área de cosecha específica para cada tratamiento. A continuación, se realizó la cosecha en el área previamente delimitada y se procedió a limpiar todo el grano recolectado. Posteriormente, se pesó el total del grano y se tomó una submuestra de 200 gramos, la cual se colocó en un sobre. Esta submuestra se secó en una estufa a una temperatura constante de 72°C durante 48 horas. Después de este periodo, se pesó nuevamente la muestra. Además, se contaron 200 granos y se volvieron a introducir en la estufa a 72°C durante 24 horas adicionales. Finalmente, se pesaron y registraron los datos obtenidos para calcular el rendimiento en quintales por hectáreas (CIMMYT, 2012).

2.8 Análisis estadístico de los resultados

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza mediante test F usando del programa estadístico SISVAR (Ferreira, 2019). Cuando los efectos fueron significativos se aplicó la prueba de Tukey con nivel de significancia del $p \leq 0.05$. Los gráficos se elaborados usando el software Microsoft Excel 365.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efectos en los parámetros morfológicos

3.1.1 Altura a los 30 y 45 días

En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la altura de planta a los 30 y 45 días, evaluando el efecto de la inoculación micorrízica (HMA), la densidad de siembra y los Híbridos de maíz. A los 30 días, ninguno de los factores evaluados (inoculación con HMA, Híbrido y densidad) mostró efectos significativos en la altura de las plantas, lo que sugiere que las diferencias en estas variables aún no influyen notablemente durante esta fase inicial.

Sin embargo, a los 45 días, el análisis de varianza reveló un efecto significativo de la inoculación con HMA sobre la altura de las plantas ($p = 0.0410$). Este resultado indica que las plantas inoculadas con HMA experimentaron un crecimiento superior en comparación con las no inoculadas. La diferencia significativa puede atribuirse a que los hongos micorrízicos arbusculares facilitan una mayor absorción de nutrientes, particularmente de

fósforo, y mejoran la eficiencia en la captación de agua en etapas posteriores al establecimiento inicial. Esto se traduce en un aumento en la tasa de crecimiento de las plantas inoculadas, que lograron un mayor desarrollo en altura a los 45 días.

No se observaron efectos significativos de los factores Híbridos y densidades de siembra ni de sus interacciones en la altura de las plantas en esta etapa, lo que sugiere que, en este caso, la inoculación micorrízica fue el factor más influyente en el crecimiento de las plantas hasta los 45 días.

Tabla 4. Resumen de análisis de la varianza en la altura de planta día 30 y 45 con inoculación y no inoculación y diferentes distancias de siembras

FV	GL	Altura día 30		Altura día 45	
		SC	Pr>Fc	SC	Pr>Fc
Híbrido	1	312.500	0.3956	22.781	0.6397
Densidad poblacional (DP)	1	0.500	0.9727	148.781	0.2375
Hongos Micorrizicos (HMA)	1	1012.500	0.1325	472.781	0.0410*
Híbrido x DP	1	276.125	0.4241	0.281	0.9584
Híbrido x HMA	1	28.125	0.7974	22.781	0.6397
DP x HMA	1	351.125	0.3683	26.281	0.6153
H x DP x HMA	1	112.500	0.6085	132.031	0.2650
Error	24	10021.500		2432.750	
CV (%)	5.35				
Media	188.281				

Altura de la planta

El análisis de la altura de planta a los 30 DDS muestra que no hay diferencias significativas ni entre los híbridos Dass y Advanta, con alturas promedio de 103.69 cm y 109.94 cm respectivamente, ni entre plantas inoculadas (112.44 cm) y no inoculadas (101.19 cm). Esto sugiere que la inoculación micorrízica y los Híbridos aún no influían notablemente en el crecimiento en esta fase temprana.

A los 45 DDS, aunque las alturas promedio de Dass (187.44 cm) y Advanta (189.13 cm) continuaron siendo similares, la inoculación con HMA resultó en un aumento significativo en altura, con plantas inoculadas alcanzando 192.13 cm frente a 184.44 cm en las no inoculadas. Esta diferencia significativa puede atribuirse a la acción de los hongos micorrízicos, que mejoran la absorción de nutrientes y agua, favoreciendo un mayor crecimiento en etapas más avanzadas. Confirmando el impacto positivo del HMA en el desarrollo de las plantas a medida que avanzan en su ciclo de crecimiento (Tabla5).

Tabla 5. Respuesta del factor Híbrido y presencia ausencia de HMA en la variable altura de las plantas a los 30 y 45 DDS.

Híbrido	Altura 30 DDS	Altura 45 DDS
Dass	103 a	187.43 a
Advanta	109 a	189.12 a
HMA	Altura 30 DDS	Altura 45 DDS
Ausencia	101.18 a	184.43 b
Presencia	112.43 a	192.12 a

Medias seguidas de una misma letra no difieren significativamente entre sí por el test de Tukey ($p < 0,05$)

Interacción.

La interacción entre híbrido y densidad de siembra no mostró efectos significativos en la altura de las plantas en ninguna de las etapas evaluadas (Tabla 6). A los 30 días, la variedad Dass tuvo una menor altura en densidad 1 (100,87 cm) frente a densidad 2 (106,5 cm), mientras que a los 45 días esta tendencia cambió, mostrando mayor altura en densidad 1 (189,5 cm) que en densidad 2 (185,37 cm). Este cambio puede indicar que Dass responde mejor a densidades altas conforme avanza el desarrollo.

Por otro lado, Advanta mantuvo un crecimiento estable, con una tendencia a mayor altura en densidad 1 tanto a los 30 días (113,00 cm) como a los 45 días (191,37 cm), en comparación con densidad 2 (106,87 cm y 186,87 cm, respectivamente). Estos resultados sugieren que ambos híbridos presentan una respuesta de altura relativamente independiente de la densidad de siembra, con una ligera preferencia de Advanta por densidades altas.

Tabla 6. Respuesta de la interacción de los factores híbrido densidad en la variable altura de las plantas a los 30 y 45 DDS.

Híbrido	Altura (cm) 30 DDS		Altura (cm) 45 DDS	
	Densidad 1	Densidad 2	Densidad 1	Densidad 2
Dass	100.87 aA	106.5 aA	189.5 aA	185.37 aA
Advanta	113.00 aA	106.87 aA	191.37 aA	186.87 aA

Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, minúsculas comparan medias entre las filas y mayúsculas comparan medias entre las columnas, según el test de Tukey ($p < 0,05$).

3.2 Eficiencia micorrízica

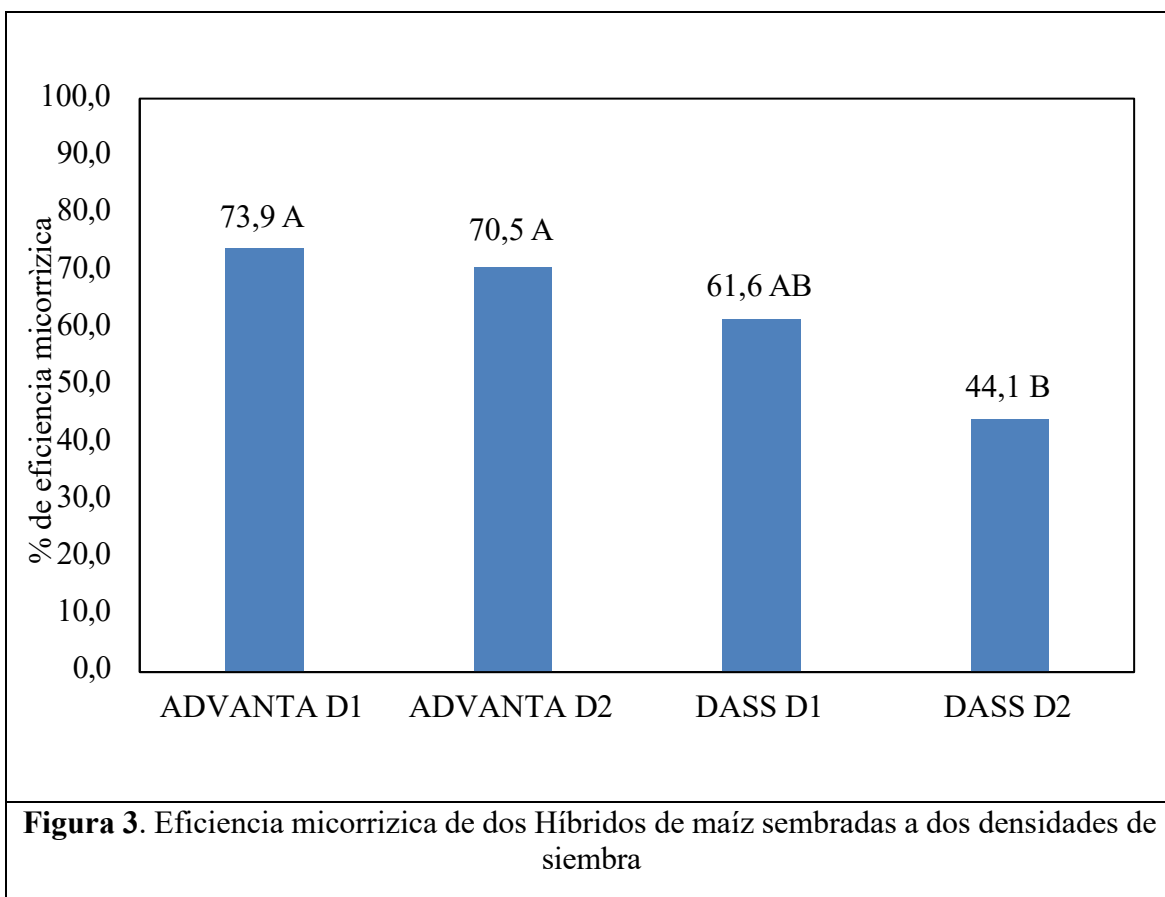
La prueba de test de Tukey, aplicado con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ y una diferencia mínima significativa (DMS) de 19,62, permitió comparar las medias de eficiencia

micorrízica en dos Híbridos de maíz bajo diferentes densidades de siembra. Los resultados indicaron que el híbrido **Advanta** mostró medias de eficiencia de 73,90 y 70,52 en alta (D1) y baja densidad (D2), respectivamente, sin diferencias significativas entre ambas densidades, agrupándolas en el grupo estadístico "A". Esto sugiere una estabilidad de la eficiencia micorrízica en Advanta, independientemente de la densidad.

Para el Híbrido **Dass**, la media de eficiencia en alta densidad (D1) fue de 61,55, clasificándola en el grupo "A" junto con Advanta, pero también en el grupo "B" junto con Dass en baja densidad (D2), que registró una media de 44,06. Esto muestra que la eficiencia micorrízica en Dass disminuye significativamente en baja densidad, situándose en un grupo estadístico diferente (Figura 3).

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre densidades para Advanta, en la densidad 1 (D1) presentó un aumento de 3,4% respecto a D2. En Dass, aunque D1 superó en un 17,5% a D2, la diferencia no fue altamente significativa.

Estos resultados indican una alta eficiencia micorrízica que promueve el crecimiento vegetal, siendo más notable en Advanta que en Dass, sin importar la densidad. La densidad 1, con un mayor número de plantas, mostró una eficiencia micorrízica superior en ambas variedades, aunque sin diferencias significativas con la densidad 2, que presenta menor número de plantas.



3.3 Parámetros Productivos

3.3.1 Rendimiento

En la Tabla 7 se presenta el resumen del análisis de varianza para el rendimiento de dos híbridos de maíz, evaluados bajo el efecto de dos densidades de siembra y la inoculación con Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA).

Se observan efectos estadísticamente significativos en los factores densidad poblacional, HMA, así como en la interacción híbrido x densidad de siembra. Esto sugiere que la densidad de siembra y la inoculación micorrízica tienen un impacto directo sobre el rendimiento del maíz, y que la combinación del híbrido con la densidad también afecta los resultados.

Estos resultados sugieren que la estrategia de densidad de siembra y la inoculación con HMA pueden optimizarse para cada híbrido, maximizando el rendimiento bajo condiciones específicas. La inoculación con HMA muestra un impacto positivo robusto en el rendimiento, probablemente debido a la mejora en la absorción de nutrientes y la tolerancia a factores de estrés en el cultivo de maíz.

Tabla 7. Resumen del análisis de varianza del rendimiento (qq/ha), bajo el efecto de la inoculación micorrízica, distintas distancias de siembra y dos híbridos de maíz en la comuna San Marcos

RENDIMIENTO (qq/ha)			
FV	GL	SC	Pr>Fc
Híbrido	1	57,781	0,5939
Densidad poblacional (DP)	1	913,781	0,0419*
Hongos Micorrizicos (HMA)	1	6.641,281	0,0000*
Híbrido x DP	1	2.128,781	0,0032*
Híbrido x HMA	1	225,781	0,2960
DP x HMA	1	7,031	0,8521
H x DP x HMA	1	175,781	0,3553
Error	24	286,957	
CV (%)	9,33		
Media	150,7187		

*Valores significativos ($p < 0.05$)

Efecto de la densidad en el rendimiento

En la Figura 4 se muestran los efectos de las densidades de siembra sobre el rendimiento de los híbridos de maíz. Los resultados indican que la densidad alta (D1) incrementó significativamente el rendimiento, con un valor promedio de 156.06 qq/ha, en comparación con la densidad baja (D2), que presentó un rendimiento promedio de 145.37 qq/ha. Este hallazgo destaca la importancia de ajustar la densidad de siembra para maximizar el rendimiento del cultivo.

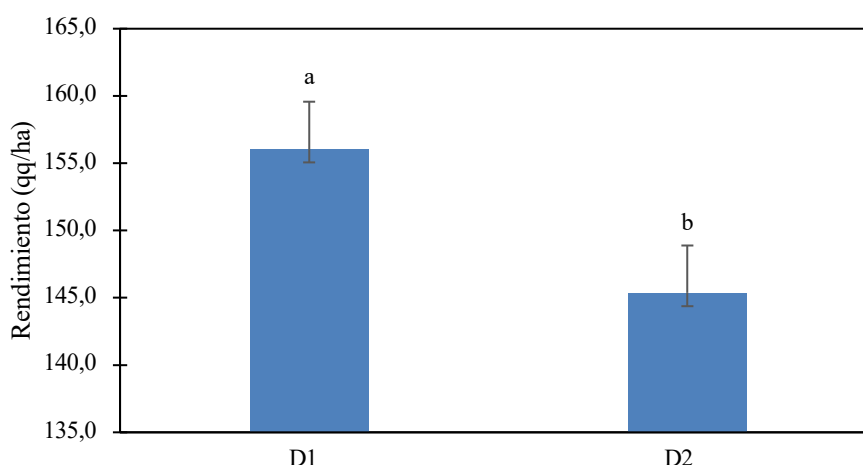


Figura 4. Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento de dos híbridos de maíz en la comuna San Marcos.

Efecto de la inoculación micorrízica (HMA)

La inoculación con HMA (+) incrementó significativamente el rendimiento del maíz, con un valor promedio de 165.12 qq/ha, en comparación con las plantas no inoculadas con micorrizas (-), que registraron un rendimiento de 136.31 qq/ha (Figura 5). Estos resultados indican que la presencia de micorrizas contribuye de manera importante a la mejora del rendimiento al optimizar la absorción de nutrientes y el desarrollo del cultivo.

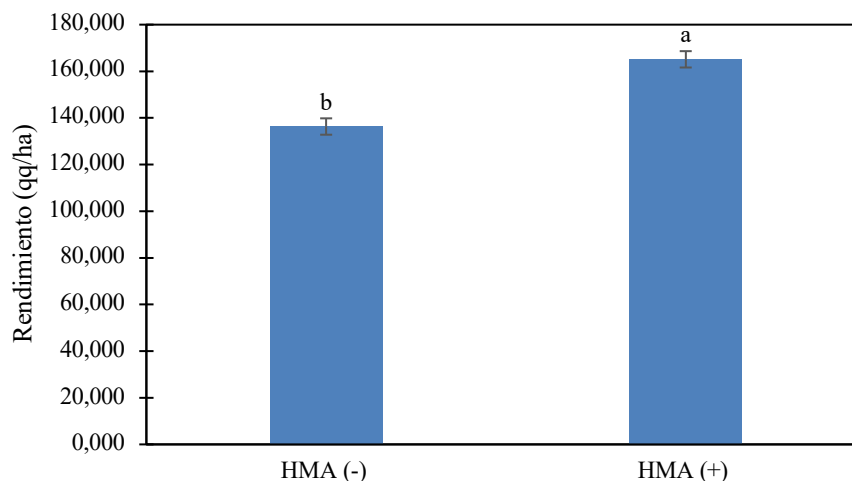


Figura 5. Efecto de la inoculación con Hongos Micorrizicos Arbusculares en el rendimiento de dos híbridos de maíz en la comuna San Marcos.

Interacciones entre los factores

Interacción entre variedad y densidad

En la Tabla 8 se observa la interacción entre híbrido y densidad de siembra en el rendimiento de maíz (qq/ha). Aunque en general no hubo diferencias significativas en el rendimiento entre los híbridos, se encontraron diferencias significativas dentro de los niveles de densidad.

Los híbridos Advanta 9789 mostró un rendimiento significativamente mayor en la densidad alta (D1), alcanzando 162,875 qq/ha, en comparación con 135,875 qq/ha en la densidad baja (D2). En contraste, la variedad Dass 3383 no presentó diferencias significativas entre las dos densidades, con un rendimiento estable en D1 (149,250 qq/ha) y D2 (154,875 qq/ha).

Estos resultados sugieren que el híbrido Advanta es más productiva en condiciones de densidad alta, mientras que Dass mantiene un rendimiento estable en ambas densidades, mostrando una ligera preferencia por la densidad baja.

Tabla 8. Interacción entre híbrido y densidad de siembra en el rendimiento (qq/ha)

Híbrido	Densidad			
	D1		D2	
Advanta 9789	162,875	aA	135,875	bB
Dass 3383	149,250	aA	154,875	aA

D1=Densidad de 83,332 plantas/ha; D2=Densidad de 55,554 plantas/ha. Las medias representadas con una misma letra no varían entre sí estadísticamente, minúsculas comparan las medias entre filas y mayúscula comparan medias de columnas, según el test de Tukey ($p < 0,05$). Qq; quintales métricos

3.3.2 Numero de hileras

El análisis de varianza del número de hileras en el maíz (Tabla 9) muestra que la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es el único factor con un efecto significativo, con un p-valor de 0,0000. Esto indica que las plantas inoculadas con HMA tienen un mayor número de hileras en comparación con las no inoculadas.

En cambio, los factores híbridos ($p=0,5461$) y densidad poblacional (DP) ($p=0,997$) no presentaron efectos significativos, sugiriendo que ni el híbrido de maíz ni la densidad de siembra afectan de manera relevante el número de hileras. Además, ninguna de las interacciones (híbrido x DP, híbrido x HMA, DP x HMA, y H x DP x HMA) fue significativa ($p > 0,05$), lo que indica que el efecto positivo de HMA es independiente del variedad y densidad de siembra. En sí, solo la inoculación con HMA tiene un impacto estadísticamente significativo en el número de hileras bajo las condiciones de este estudio.

Tabla 9. Resumen del análisis de varianza del número de hileras, bajo el efecto de la inoculación micorrízico, distintas distancias de siembra y dos híbridos de maíz en la comuna San Marcos

RENDIMIENTO (qq/ha)			
FV	GL	SC	Pr>Fc
Híbrido	1	0.125	0,5461
Densidad poblacional (DP)	1	0.000	0,997
Hongos Micorrizicos (HMA)	1	15.125	0,0000*
Híbrido x DP	1	0.125	0,5461
Híbrido d x HMA	1	0.000	0,9975
DP x HMA	1	0.125	0,5461
H x DP x HMA	1	0.000	0,9975
Error	24	0.333	
CV (%)	4,02		
Media	14.375		

Numero de hilera

La Tabla 10 muestra los efectos del híbrido y la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre el número de hileras en el maíz. No se observaron diferencias significativas entre las variedades Advanta y Dass, con promedios de 14.31 y 14.43 hileras, respectivamente. Sin embargo, la inoculación con HMA presentó un efecto significativo: las plantas inoculadas mostraron un mayor número de hileras (15.06) en comparación con las no inoculadas (13.68), lo que indica que el HMA influye positivamente en esta característica independientemente del híbrido de maíz utilizada.

Tabla 10. Respuesta del factor híbrido y presencia ausencia de HMA en la variable número de hilera.

Híbrido	Numero de hileras
Advanta	14.31 a
DASS	14.43 a
HMA	Numero de hileras
Ausencia	13.68 b
Presencia	15.06 a

Medias seguidas de una misma letra no difieren significativamente entre sí por el test de Tukey ($p < 0,05$)

Los análisis realizados en ambos niveles de densidad muestran que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los dos híbridos (Dass y Advanta) evaluadas, ya que tanto en Densidad 1 como en Densidad 2, el valor de $Pr > F_c$ es mayor que 0,05. Lo que significa que no se detectan diferencias significativas entre ellas (Tabla 11).

Tabla 11. Respuesta de la interacción de los factores híbridos densidad en la variable número de hilera

Híbrido	Numero de hilera	
	Densidad 1	Densidad 2
Dass	14.37 Aa	14.5 aA
Advanta	14.37 aA	14.2 aA

Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, minúsculas comparan medias entre las filas y mayúsculas comparan medas entre las columnas, según el test de Tukey ($p < 0,05$).

Discusión

Parámetros morfológicos

Los resultados obtenidos en el análisis de la altura de planta a los 30 no obtuvo ningún efecto, pero a los 45 días indican que la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) tuvo un efecto significativo solo a los 45 días ($p = 0.0410$). Se observó un incremento de altura de plantas inoculadas alcanzando 192.12 cm a los 45 días frente a 184.43 cm en ausencia de HMA. Este hallazgo es consistente con investigaciones previas que sugieren que los HMA mejoran el crecimiento de las plantas al aumentar la absorción de nutrientes (Gómez and Villate, 2010). Estos resultados coinciden con el estudio realizado con *Pennisetum purpureum*, las plantas inoculadas micorrízicos arbusculares alcanzaron una altura promedio de 115 cm a los 45 días, mientras que las no inoculadas solo llegaron a 98 cm. Este incremento del 17% en la altura se atribuyó a una mejor absorción de nutrientes y agua facilitada por los HMA (Mujica Pérez and Molina Delgado, 2017).

Eficiencia micorrízica

Los resultados de este estudio mostraron que el híbrido Advanta mantuvo una eficiencia micorrízica estable en ambas densidades de siembra, con valores de 73,90 en alta densidad (D1) y 70,52 en baja densidad (D2). Por otro lado, el híbrido Dass exhibió una disminución significativa en su eficiencia micorrízica en baja densidad (D2), registrando 44,06 frente a 61,55 en D1.

Al comparar estos hallazgos con el estudio de colonización micorrízica de genotipos de maíz en un Andisol, se observa una tendencia similar: los genotipos con menor eficiencia en uso de nutrientes presentaron mayor colonización micorrízica. En este contexto, Dass en baja densidad, con su menor eficiencia micorrízica, refleja el comportamiento de los genotipos menos eficientes del artículo de referencia. Asimismo, la estabilidad de Advanta ante cambios de densidad se asemeja a la de genotipos que requieren menor colonización micorrízica.

Estos resultados sugieren que la eficiencia micorrízica en híbridos de maíz puede estar influenciada por la densidad de siembra, y que los genotipos con mejor adaptación a la simbiosis micorrízica muestran mayor estabilidad en densidades variables, similar a lo observado en el artículo de referencia.

Rendimiento

Los resultados obtenidos muestran efectos significativos en el rendimiento de los híbridos de maíz bajo diferentes densidades de siembra y la inoculación con HMA. La

densidad de siembra alta (D1) resultó en un mayor rendimiento (156.06 qq/ha), lo cual coincide con estudios previos donde una mayor densidad poblacional favorece la competencia por luz y espacio, optimizando el crecimiento y desarrollo del maíz (Blanco-Valdes and González-Viera, 2021b). Además, la inoculación con HMA incrementó significativamente el rendimiento (165.12 qq/ha), en línea con investigaciones que demuestran la capacidad de las micorrizas para mejorar la absorción de nutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno (Carrillo-Saucedo et al., 2022b). La interacción entre el híbrido Advanta y la densidad D1 destacó por su rendimiento superior (162.875 qq/ha), lo que sugiere que la combinación del híbrido de maíz con densidades óptimas maximiza el rendimiento del cultivo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares mejoró el crecimiento en altura a los 45 días, evidenciando que la simbiosis micorrízica potencia el desarrollo vegetativo y la absorción de nutrientes.

Las densidades de siembra altas, combinadas con la inoculación micorrízica, incrementaron el rendimiento del maíz al optimizar el uso de los recursos disponibles en el híbrido advanta.

La eficiencia micorrízica fue mayor en plantas inoculadas, mejorando la absorción de nutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno, lo que favoreció el rendimiento y desarrollo del cultivo.

Recomendaciones

- Se recomienda transferir estos resultados a los productores de la zona mediante talleres y demostraciones, promoviendo la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares como una práctica clave para mejorar el desarrollo y rendimiento del maíz.
- Utilizar micorrizas para mejorar la salud del suelo.
- Inocular otros cultivos para comprobar el comportamiento de la simbiosis de la micorriza

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avgust. (2024). *AVGOLD*. Available at: <https://708090ecu.7217511.com/productos/avgold/> (Accessed: 31 August 2024).
- BELT®* | *Proteccion de Cultivos* | *AgroBayer* (2024). Available at: <https://www.agro.bayer.ec/es-ec/productos/product-details.html/insecticide/belt.html> (Accessed: 31 August 2024).
- Blanco-Valdes, Y., González-Viera, D., 2021a. Influencia de la densidad de población en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Cultiv. Trop.* 42.
- Blanco-Valdes, Y., González-Viera, D., 2021b. Influencia de la densidad de población en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Cultiv. Trop.* 42, e08–e08.
- Blanco-Valdes, Y., González-Viera, D., Blanco-Valdes, Y., González-Viera, D., 2021. Influencia de la densidad de población en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Cultiv. Trop.* 42.
- Caicedo-Camposano, O., Cadena-Piedrahita, D., Galarza-Centeno, E., Solorzano-Galarza, D., 2019. Permisibilidad del maíz (*Zea mays* L.) sometido a diferentes condiciones de inundación: Determinación del tiempo de drenaje en Babahoyo, Ecuador. *Rev. Científica Tecnológica UPSE* 6, 67–75. <https://doi.org/10.26423/rctu.v6i2.472>
- Calviño, F., 2023. Densidad de siembra en los cultivos - *Cultiva*. URL <https://blog.sima.ag/2023/densidad-de-siembra-en-los-cultivos/> (accessed 9.18.24).
- Carbonelli Mosqueira, Z., 2021. Microorganismos eficientes en la fenología y rendimiento del maíz morado (*zea mays* l) en Huaral – Lima.
- Carrillo-Saucedo, S.M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., Cruz-Ortega, R., Carrillo-Saucedo, S.M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., Cruz-Ortega, R., 2022a. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botánica Mex.* <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Carrillo-Saucedo, S.M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., Cruz-Ortega, R., Carrillo-Saucedo, S.M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., Cruz-Ortega, R., 2022b. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botánica Mex.* <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Caviedes, M., Carvajal-Larenas, F.E., Zambrano, J.L., 2020. Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays*. L) en el Ecuador. *ACI Av. En Cienc. E Ing. especial.*

- Cruz, P., Yadirsa, D., 2021. Análisis del nutriente vegetal fosforo en los suelos amazónicos del departamento del Caquetá.
- Cubas-Pérez, W., Córdova-Díaz, C., 2013. Influencia de tres densidades de siembra y cuatro niveles de fertilización en la variedad de maíz INIA 612-Maselba. *Cienc. Amaz. Iquitos* 3, 3–6. <https://doi.org/10.22386/ca.v3i1.44>
- Espinoza-Velázquez, J., Valdés-Reyna, J., Alcalá-Rodríguez, J.M., 2012. Morfología y anatomía de radículas múltiples en plántulas de maíz derivadas de cariópsis con poliembrionía. *Polibotánica* 207–221.
- Ferbiohux del Ecuador (2024). *Micorriza SOLIDA*. [Documento en línea]. Disponible en: <https://ferbiohux.redtienda.net/pro.php?id=334943> [Acceso: 31 de agosto de 2024].
- Ferreira, D.F., 2019. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. *Braz. J. Biom.* 37, 529–535. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- García-Abarca, E., Calderón-Cerdas, R., 2021. Influencia de la densidad de siembra sobre producción y desarrollo de mucuna (*mucuna puriens* L. DC). *Agron. Costarric.* 45, 103–113.
- Garibay-Orijel, R., Morales-Marañón, E., Domínguez-Gutiérrez, M., Flores-García, A., 2013. Caracterización morfológica y genética de las ectomicorrizas formadas entre *Pinus montezumae* y los hongos presentes en los bancos de esporas en la Faja Volcánica Transmexicana. *Rev. Mex. Biodivers.* 84, 153–169. <https://doi.org/10.7550/rmb.29839>
- Garzón, L.P., 2016. Importancia de las micorrizas arbusculares (ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Luna Azul* 217–234. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.14>
- Gómez, M.R., Villate, A.R., 2010. Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Cienc. Technol. Agropecu.* 11, 53–60. https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num1_art:195
- Google Maps. 2024. Ubicación donde se desarrolló el experimento. Disponible en: https://www.google.com.ec/maps/place/2%C2%B001'28.0%22S+80%C2%B038'25.2%22W/@-2.024432,-80.6429029,870m/data=!3m2!1e3!4b1!4m4!3m3!8m2!3d-2.024432!4d-80.640328?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTAyOS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D (Accedido: 7 de noviembre de 2024).

- Guamán Guamán, R.N., Desiderio Vera, T.X., Villavicencio Abril, Á.F., Ulloa Cortázar, S.M., Romero Salguero, E.J., Guamán Guamán, R.N., Desiderio Vera, T.X., Villavicencio Abril, Á.F., Ulloa Cortázar, S.M., Romero Salguero, E.J., 2020. Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra* 7, 47–56. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>
- Guamán, R.N.G., Vera, T.X.D., Abril, Á.F.V., Cortázar, S.M.U., Salguero, E.J.R., 2020. Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra* 7, 047–056.
- Harris-Valle, C., Esqueda, M., Valenzuela-Soto, E.M., Castellanos, A.E., 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Rev. Fitotec. Mex.* 32, 265–271.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., 2014. Metodología de la investigación. McGraw Hill España.
- Hernández-Acosta, E., Trejo-Aguilar, D., Rivera-Fernández, A., Ferrera-Cerrato, R., 2020. La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café. *Terra Latinoam.* 38, 613–628.
- Farmagro (2024) *Insumos agrícolas y fitosanitarios*. Disponible en: <https://farmagro.com/> (Accedido: 14 de septiembre de 2024).
- Justiniano Aysanoa, E., 2010. Fenología e intensidad de color en corontas del maíz morado (*Zea mays* l.) en sus diferentes estados de desarrollo en la localidad de La Molina.
- León Velandia, D., 2007. Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (*manihot esculenta* sp) en dos regiones de la Amazonía colombiana.
- Manual de determinación de rendimiento. 2012Mexico, D.F.:CIMMYT.
- Mero Mina, R.E., 2021. Demanda hídrica de los cultivos agrícolas de la península de Santa Elena (bachelorThesis). La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.
- Montenegro Pozo, L.A., 2022a. Evaluación de los efectos de la inoculación micorrízica sobre los parámetros morfométricos y productivos del cultivo de maíz (bachelorThesis). La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022.
- Montenegro Pozo, L.A., 2022b. Evaluación de los efectos de la inoculación micorrízica sobre los parámetros morfométricos y productivos del cultivo de maíz (bachelorThesis). La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022.

- Montúfar, G.H.V., Acosta, L.A.C., Zamora, D.V.V., Mora, F.D.S., 2021. Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Rev. Cienc. Soc. Ve* 27, 417–431.
- Moreira Landívar, K.S., 2021. Efecto de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de maíz, *Zea mays* L. Ilusión CPR en Río Verde. (bachelorThesis). La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.
- Mujica Pérez, Y., Molina Delgado, L., 2017. Influencia de hongos micorrízicos arbusculares (*Rhizoglyphus intraradices*) y un estimulador del crecimiento vegetal en *Pennisetum purpureum* Sch. cv. Cuba CT-115. *Cultiv. Trop.* 38, 131–137.
- Navarrete, E.C., Acosta, E.P., Mora, X.G., Suarez, M.V., 2020. Efecto de fertilización nitrogenada en maíz (*Zea mays* L.) sobre poblaciones de hongos micorrízicos, en Babahoyo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4424768>
- Neira Gonzalez, G.J., 2024. Efecto de tres niveles de salinidad en pimiento *Capsicum annum* L inoculado con hongos micorrízicos y adición de hidrogel (bachelorThesis). La Libertad, Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2024.
- Noda, Y., 2009. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos Forrajes* 32, 1–1.
- Pérez, D.M., García, P.A.V., Pimentel, K.R., 2021. Efecto de las micorrizas arbusculares sobre la fase inicial de crecimiento de *Zea mays* L. *Avances* 23.
- Pérez-Luna, Y. del C., Álvarez-Solís, J.D., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, J.M., Gómez-Álvarez, R., Cuevas, L., 2012. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Botánica* 69, 46–56. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432012000100006>
- Pérez-Moreno, J., Read, D.J., 2004. Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia* 29, 239–247.
- Quevedo, Y.M., Beltrán, J.I., Barragán-Quijano, E., 2018. Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento y rentabilidad de un híbrido de maíz en condiciones tropicales.
- Quiñones-Aguilar, E.E., Hernández Cuevas, L.V., López Pérez, L., Rincón Enríquez, G., Quiñones-Aguilar, E.E., Hernández Cuevas, L.V., López Pérez, L., Rincón Enríquez, G., 2019. Efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de rizósfera de *Agave* como promotores de crecimiento de papaya. *Terra Latinoam.* 37, 163–174. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.397>

- Radiant* (2024) *Interoc*. Available at: <https://www.interoc.biz/producto/radiant/> (Accessed: 5 September 2024).
- Rivera, J.L.O. (2015) ‘EFECTO DE INÓCULOS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES SOBRE LA NUTRICIÓN FOSFATADA Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR.
- Sánchez Ortega, I., Pérez-Urria Carril, E., 2014. Maíz I (*Zea mays*).
- Sánchez-Hernández, M.Á., Aguilar-Martínez, C.U., Valenzuela-Jiménez, N., Sánchez-Hernández, C., Jiménez-Rojas, M.C., Villanueva-Verduzco, C., 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agron. Mesoam.* 22, 281–295.
- Serrano, C.P.G., 2014. DIRECTOR ING. AGR. ABRAHAN CERVANTES ALAVA MG. SC.
- Simón, M., Golik, S., 2020. cereales de verano 2018.
- Tapia-Goné, J.J., Ferrera-Cerrato, R., Varela-Fregoso, L., Rodríguez-Ortiz, J.C., Soria-Colunga, J.C., Tiscareño-Iracheta, M.Á., Loredó-Osti, C., Alcalá-Jáuregui, J., Villar-Morales, C., 2010. Infectividad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos salinos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). *Rev. Mex. Micol.* 31, 69–74.
- Triana Cruz, S.E., 2021. Eficiencia de *Chrysoperla carnea* en control de *Spodoptera frugiperda* en el maíz en San Marcos, provincia de Santa Elena. (bachelorThesis). La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.
- YaraMila COMPLEX [WWW Document], 2018. . Yara Ecuad. URL <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/fertilizantes/yaramila/yaramila-complex/> (accessed 9.5.24).
- YaraVera AMIDAS [WWW Document], 2018. . Yara Ecuad. URL <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/fertilizantes/yaravera/yaravera-amidas/> (accessed 9.5.24).
- Zapata, J.A.R. *et al.* (2024) ‘Hongos micorrízico-arbusculares’.

ANEXOS



Ilustración 1A. Preparación del terreno



Ilustración 2A. Instalación de sistema de riego



Ilustración 3A. Híbrido Dass 3383



Ilustración 4A. Híbrido Advanta 9789



Ilustración 5A. Micorrizas



Ilustración 6A. Tratamiento de semillas



Ilustración 7A. Siembra



Ilustración 8A. Cultivo día 8



Ilustración 9A. Fumigación fitosanitaria



Ilustración 10A. Primera fertilización



Ilustración 11A. Monitoreo del cultivo día 23



Ilustración 12A. Medición de altura de planta día 30



Ilustración 13A. Segunda fertilización



Ilustración 14A. Tercera fertilización



Ilustración 15A. Medición de altura de planta día 45



Ilustración 16A. Monitoreo del cultivo día 50



Ilustración 17A. Recolección de muestra para el cálculo de la eficiencia micorrizica



Ilustración 18A. Ingreso de las muestras fresca a la estufa



Ilustración 19A. Peso de las muestras secas



Ilustración 20A. Numero de hileras



Ilustración 21A. Cosecha



Ilustración 22A. Proceso para cálculo de rendimiento



Ilustración 23A. Ingreso de la muestra fresca a la estufa



Ilustración 24A. Peso del grano seco