



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

**DESARROLLO DEL CULTIVO DE MAÍZ CRIOLLO (*Zea
mays* L.) INOCULADO CON HONGOS MICORRÍZICOS Y
TRES NIVELES DE FÓSFORO EN COLONCHE – SANTA
ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Natalia Angelica Valdivieso Zambrano.

LA LIBERTAD, DICIEMBRE 2025



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

**DESARROLLO DEL CULTIVO DE MAÍZ CRIOLLO (*Zea
mays* L.) INOCULADO CON HONGOS MICORRÍZICOS Y
TRES NIVELES DE FÓSFORO EN COLONCHE – SANTA
ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Natalia Angelica Valdivieso Zambrano

Tutora: Ing. Agr. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D

LA LIBERTAD, DICIEMBRE 2025

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **NATALIA ANGELICA VALDIVIESO ZAMBRANO** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniera Agropecuaria de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 09/12/2025

Ing. Lenni Ramírez Flores, MSc.
DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Daniel Ponce de León Lima, Ph.D.
PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D.
PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D.
PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Washington Perero Vera, MSc.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme salud, sabiduría y poner en mi camino las herramientas necesarias para poder alcanzar este logro en mi vida profesional y académica. De la misma manera, agradezco a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por abrirme sus puertas. A los docentes que con sus enseñanzas y consejos forjaron he instruyeron mi perfil profesional. Sobre todo, a la Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D, por su valiosa orientación, compromiso y apoyo continuo como tutora en el desarrollo de este trabajo de titulación.

Agradezco al Ing. Pablo Baculima, por su apoyo y colaboración con los productos implementados en este trabajo.

Agradezco infinitamente a mis padres, Manuel Paulo Valdivieso Gonzales y Yomara Magdalena Zambrano Barzola, por su sacrificio inmenso y confiar en mí cuando decidí alejarme de casa para estudiar, por ser mi refugio aún en la distancia.

A mi hermana Niurka Nicol Valdivieso Zambrano, que a pesar de la distancia siempre me brindó su apoyo inquebrantable durante todo este proceso académico.

A Dave Rosales por su acompañamiento y apoyo, así como también a su familia, Rosales Tomalá por acogerme y ayudarme durante todo el proceso de investigación en mi trabajo de titulación.

DEDICATORIA

A Dios, por darme salud, sabiduría y la fortaleza necesaria para cumplir con este sueño.

A mis padres, por su amor, compañía y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Por enseñarme que el esfuerzo y la perseverancia son el camino al éxito.

A la memoria de mis ángeles, Hilda Gonzales y Hugo Valdivieso, que desde el cielo han sido mi guía y resguardo siempre. Su presencia invisible pero constante me ha acompañado en cada paso, intercediendo ante Dios por mí y alejando de mi camino todo mal y peligro que en mí pudo caer.

A mi yo de niña, que siempre amó la naturaleza y afirmaba que iba a ser Ingeniera Agropecuaria, a esa pequeña que siempre soñó con llegar lejos, que tuvo miedo, pero nunca dejó de creer. Gracias por tu valentía, curiosidad y por enseñarme que los sueños se pueden hacer realidad.

A mi abuelito Teófilo Domingo Valdivieso Posligua, por su atención y apoyo en este proceso académico.

Este logro es dedicado para todos ustedes, que nunca dejaron de creer en mí, por su fé y confianza la cual me sostuvo en los momentos difíciles.

RESUMEN

El estudio tuvo como propósito evaluar el crecimiento y rendimiento del maíz criollo (*Zea mays* L.) inoculado con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) bajo tres niveles de fertilización fosfórica (0%, 50% y 100%) en el Recinto Río Nuevo, parroquia Colonche, provincia de Santa Elena. La investigación se desarrolló mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×3 y tres repeticiones, utilizando el inoculante comercial ECOFUNGI. Se evaluaron variables morfológicas (altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas) y productivas (número de mazorcas y rendimiento). El análisis de varianza (ANOVA) no evidenció diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos; sin embargo, se observaron tendencias positivas hacia el nivel intermedio de fósforo (50%) en combinación con la inoculación micorrízica. La eficiencia micorrízica fue positiva en todos los niveles, alcanzando el valor más alto (20.50%) con el 50% de fósforo, lo que sugiere una interacción simbiótica más efectiva en concentraciones moderadas del nutriente. Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, los resultados indican que la inoculación con HMA, junto con una fertilización fosfórica intermedia, puede mejorar la eficiencia en el uso del fósforo, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos sin afectar el desarrollo del cultivo. Se concluye que el uso de inoculantes micorrízicos representa una alternativa biotecnológica viable para el manejo sostenible del maíz criollo en sistemas agrícolas de bajos insumos, y se recomienda profundizar en estudios con mayor número de repeticiones y variables fisiológicas para confirmar estos resultados.

Palabras claves: Agricultura sustentable, biofertilización, uso eficiente de nutrientes.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the growth and yield of native maize (*Zea mays* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under three levels of phosphorus fertilization (0%, 50%, and 100%) in Recinto Río Nuevo, Colonche parish, Santa Elena province. The research was conducted using a completely randomized design with a 2×3 factorial arrangement and three replications, employing the commercial inoculant ECOFUNGI. Morphological variables (plant height, stem diameter, and number of leaves) and productive variables (number of ears and grain yield) were evaluated. Analysis of variance (ANOVA) revealed no significant differences ($p>0.05$) among treatments; however, positive trends were observed toward the intermediate phosphorus level (50%) in combination with mycorrhizal inoculation. Mycorrhizal efficiency was positive at all phosphorus levels, reaching the highest value (20.50%) with 50% phosphorus, suggesting a more effective symbiotic interaction at moderate nutrient concentrations. Although differences were not statistically significant, the results indicate that AMF inoculation combined with intermediate phosphorus fertilization may enhance phosphorus use efficiency, reducing dependence on chemical fertilizers without compromising crop development. It is concluded that the use of mycorrhizal inoculants represents a viable biotechnological alternative for the sustainable management of native maize in low-input agricultural systems. Further studies with a greater number of replications and complementary physiological variables are recommended to confirm these findings.

Key words: Biofertilization, nutrient use efficiency, sustainable agriculture

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**DESARROLLO DEL CULTIVO DE MAÍZ CRIOLLO (*Zea mays* L.) INOCULADO CON HONGOS MICORRÍZICOS Y TRES NIVELES DE FÓSFORO EN COLONCHE – SANTA ELENA**” y elaborado por **Natalia Angelica Valdivieso Zambrano**, 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".

Firma del estudiante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico	2
Objetivos	2
Objetivo General:	2
Objetivos Específicos:	2
Hipótesis	2
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 Maíz Criollo	3
1.2 Características del maíz criollo	3
1.2.1 Origen y distribución	3
1.2.2 Fenología	4
1.2.3 Requerimientos edafoclimáticos.....	4
1.2.4 Manejo Integrado de Plagas	5
1.3 Fósforo en el suelo y en la planta	5
1.3.1 Formas del P	6
1.3.2 Fijación de P por Fe/Al/Ca	6
1.3.3 Factores de respuesta al fósforo	7
1.4 Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)	7
1.4.1 Biología	7
1.4.2 Género	8
1.4.3 Mecanismos de acción de las micorrizas.....	8
1.4.4 Efecto de altos niveles de fósforo en la eficiencia micorrízica	9
1.5 Interacción fósforo x HMA	10
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	10
2.1 Caracterización del área	10
2.2 Materiales, equipos y reactivos	11
2.2.1 Material biológico	11
2.2.2 Material de campo	11
2.2.3 Material de oficina.....	12
2.2.4 Material de campo para colecta de muestras	12
2.2.5 Material de laboratorio	12
2.2.6 Equipos de laboratorio.....	12
2.3 Tipo de investigación	13
2.4 Diseño de investigación	13
2.4.1 Diseño experimental	13
2.5 Manejo del experimento	16
2.5.1 Muestreo de suelos	16
2.5.2 Preparación del terreno	16
2.5.3 Implementación del sistema de riego	16
2.5.4 Adecuación de las parcelas.....	17
2.5.5 Plan de fertilización	18
2.5.6 Siembra.....	20
2.5.7 Inoculación micorrízica	20
2.5.8 Manejo fitosanitario.....	20
2.5.9 Cosecha.....	21
2.6 Parámetros evaluados	22
2.6.1 Morfológicos	22

2.6.2	Productivos	22
2.6.3	Eficiencia micorrízica.....	22
2.7	Análisis estadístico de los resultados.....	23
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		24
Resultados		24
3.1	Efectos en los parámetros morfológicos	24
3.1.1	Altura de la planta.....	25
3.1.2	Diámetro del tallo	26
3.1.3	Número de hojas	27
3.2	Efectos en los parámetros productivos	29
3.2.1	Número de mazorcas por planta (NM)	30
3.2.2	Rendimiento	30
3.3	Efectos en los parámetros micorrízicos	31
Discusión.....		32
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		34
Conclusiones.....		34
Recomendaciones.....		34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		35
ANEXOS		40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tratamientos del experimento en el recinto Río Nuevo-Colonche durante el 2025.	13
Tabla 2. Anova fuente de variación y grados de libertad de los factores considerados en el experimento.	13
Tabla 3. Resultados físico-químicos de suelo del área de implantación del experimento en Colonche, Santa Elena (Laboratorio INIAP).....	16
Tabla 4. Plan de fertilización aplicado al cultivo de maíz según dosis de fósforo en presencia y ausencia de micorrizas arbusculares.....	19
Tabla 5. Plan de aplicación de Micorrizas.....	20
Tabla 6. Información de la dosis del producto químico para control de Spodoptera frugiperda.....	21
Tabla 7. Resumen ANOVA de los parámetros morfológicos AP, DT y NH del cultivo de maíz criollo (<i>Zea mays</i> L.) evaluado a los 14, 28, 42 y 56 días después de la emergencia.24	
Tabla 8. Resumen ANOVA de los parámetros productivos número de mazorcas (NM) y rendimiento productivo (RP) del cultivo de maíz criollo (<i>Zea mays</i> L.).	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de instalación del ensayo en el recinto Río Nuevo- Colonche (Google Maps, 2025).....	11
Figura 2. Plano del área experimental con las parcelas.....	14
Figura 3. Parcela con sus medidas y distancia de siembra.....	15
Figura 4. Distribución de los tratamientos y sus repeticiones.....	15
Figura 5. Adecuación de las parcelas para la instalación del experimento.....	18
Figura 6. Área útil de cosecha de cultivo de Maíz bajo el efecto de inoculación micorrízica y tres niveles de fertilización fosfórica.....	21
Figura 7. Altura promedio de plantas de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfatada (0%, 50%, 100%) (2) evaluadas a los 14 (A), 28 (B), 42 (C) y 56 (C) días después de la emergencia de las plantas. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre si según el test de Tukey ($p > 0,05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.....	26
Figura 8. Diámetro promedio del tallo de plantas de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfatada (0%, 50%, 100%) (2) evaluadas a los 14 (A), 28 (B), 42 (C) y 56 (C) días después de la emergencia de las plantas. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre si según el test de Tukey ($p > 0.05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.....	27
Figura 9. Número de hojas de plantas de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfatada (0%, 50%, 100%) (2) evaluadas a los 14 (A), 28 (B), 42 (C) y 56 (C) días después de la emergencia de las plantas. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre si según el test de Tukey ($p > 0.05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.....	29
Figura 10. Promedio de número de mazorcas de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfatada (0%, 50%, 100%) (2). Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre si según el test de Tukey ($p > 0.05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.....	30
Figura 11. Rendimiento productivo de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfórica (0%, 50%, 100%) (2). Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre si según el test de Tukey ($p > 0.05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.....	31
Figura 12. Eficiencia micorrízica de plantas de maíz inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares y tres dosis de fertilización fosfórica, con relación a los tratamientos no micorrizados.....	31

ÍNDICE DE ANEXOS

- Figura 1A.** Muestra del estudio de suelo.
- Figura 2A.** Levantamiento del cercado.
- Figura 3A.** Limpieza del terreno.
- Figura 4A.** Instalación de cintas de riego.
- Figura 5A.** Delimitación de parcelas.
- Figura 6A.** Insumos de fertilización.
- Figura 7A.** Preparación de dosis P.
- Figura 8A.** Preparación de dosis HMA.
- Figura 9A.** Siembra y fertilización.
- Figura 10A.** Inoculación.
- Figura 11A.** Letreros de los tratamientos.
- Figura 12A.** Segunda fertilización.
- Figura 13A.** Marcaje para platas evaluadas.
- Figura 14A.** Toma de datos.
- Figura 15A.** Mazorca.
- Figura 16A.** Desgrane del maíz.
- Figura 17A.** Rotulación de fundas.
- Figura 18A.** Pesaje del grano húmedo.
- Figura 19A.** Muestra de 200gr de maíz.
- Figura 20A.** Secado del grano con estufa.
- Figura 21A.** Muestras de la planta.
- Figura 22A.** Pesaje de la masa húmeda.
- Figura 23A.** Secado de la planta con estufa.
- Figura 24A.** Pesaje del grano seco (200gr).
- Figura 25A.** Conteo de 200 granos.
- Figura 26A.** Secado de 200 granos.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es un cereal que fue domesticado y venerado desde tiempos prehispánicas, considerado uno de los cultivos de mayor relevancia a nivel mundial debido a su notable capacidad de adaptarse a diversas condiciones edafoclimáticas. Debido a su amplia superficie cultivada y su alta demanda, se ubica entre uno de los principales cereales más comercializados (Figueroa *et al.*, 2022).

En Centroamérica, el maíz constituye un componente fundamental en la alimentación y en la identidad cultura de los pueblos, siendo un elemento esencial para la soberanía y seguridad alimentaria, tanto por su diversidad de usos como en sus valores socioculturales, principalmente en las zonas rurales. En América Latina, muchos agricultores siguen cultivando sus variedades criollas, se ha determinado que el término “maíz criollo” lo utilizan los agricultores para diferenciar una nativa o adaptado a las condiciones agroecológicas de su región, de otras obtenida a través de programas de mejoramiento genético (González *et al.*, 2016).

En el Ecuador existen numerosas variedades de maíces criollos que se diferencian por su forma, color, sabor, uso y valor cultural, constituyendo una fuente importante para la subsistencia de las comunidades en el medio rural. Los campesinos que siembran variedades tradicionales conservan la diversidad del maíz nativo, y a la vez fortalecen la soberanía alimentaria (Coral, 2017).

En la Península de Santa Elena no se han reportado cultivos de maíz criollo. Por ello, la presente investigación se plantea como una propuesta para los agricultores de la parroquia Colonche, específicamente del recinto Río Nuevo, promoviendo la implementación de este cultivo mediante técnicas sostenibles y amigables con el medio ambiente (Pincay, 2024).

La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares establecen una relación simbiótica con las raíces de las plantas, favoreciendo su desarrollo, conservación, características físicas del suelo y la eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes. Esta interacción en conjunto con la fertilización fosfórica, elemento que tiende a fijarse a la matriz coloidal del suelo, permite evaluar el efecto conjunto de ambos factores sobre el crecimiento y rendimiento en el cultivo de maíz criollo (Carrillo *et al.*, 2022).

Problema Científico

¿Cómo afecta la interacción entre la inoculación con hongos micorrízicos y la aplicación de diferentes dosis de fósforo en términos de crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz criollo (*Zea mays* L.) en el Recinto Río Nuevo-Colonche?

Objetivos

Objetivo General:

- ❖ Evaluar el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz criollo (*Zea mays* L.) inoculado con hongos micorrízicos arbusculares y tres niveles de fósforo en el Recinto Río Nuevo-Colonche.

Objetivos Específicos:

1. Identificar la dosis óptima de fósforo para maximizar el rendimiento del maíz inoculado con micorrizas.
2. Comparar el crecimiento y desarrollo del maíz entre tratamientos con diferentes combinaciones fosfóricas y micorrízicas.
3. Determinar la eficiencia micorrízica bajo tres niveles de fósforo.

Hipótesis

La inoculación de hongos micorrízicos y aplicación de diferentes dosis fosfóricas mejora el crecimiento y rendimiento productivo del cultivo de maíz criollo en el Recinto Río Nuevo.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Maíz Criollo

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal que fue domesticado y venerado por civilizaciones prehistóricas. Es un alimento básico de la gastronomía y cultura centroamericana y se considera un alimento esencial para la seguridad y estabilidad alimentaria en sus diversos usos y valores socioculturales, fundamentalmente en el medio rural. Los maíces criollos son desarrollados y conservados por los agricultores a través de generación en generación, mediante procesos de selección empírica basados en características específicas (Cuevas, 2025).

El término “Maíz criollo” es utilizado comúnmente para indicar que un material genético es nativo de la comunidad y se diferencia de un maíz híbrido o una variedad mejorada. Estas poblaciones están conformadas por una amplia variedad de plantas, cada una de las cuales son reconocidas y clasificadas por los agricultores en función de su color, textura, forma del grano, forma de mazorca, ciclo vegetativo y uso (Figuerola *et al.*, 2022).

El maíz criollo es la base fundamental y genética para producir nuevas variedades. Por esta razón, el cuidado, conservación y resguardo de las semillas criollas resultan de gran importancia, ya que, además de ser la base de nuevas variedades también son el sustento de las familias de bajos recursos. Estas semillas, al estar adaptadas a las condiciones ambientales del Ecuador, se pueden guardar por largos periodos de tiempo, y presentan mayor resistente a las sequías, suelos de baja fertilidad y al ataque de plagas (Álvarez *et al.*, 2011).

1.2 Características del maíz criollo

1.2.1 Origen y distribución

El maíz (*Zea mays* L.) es una semilla originaria del continente americano, cuya domesticación tuvo lugar en Mesoamérica. Se estima que se originó en una parte restringida de México, desde donde las variedades más resistentes y desarrolladas se difundieron progresivamente por todo el continente americano. Para los indígenas mexicanos, el maíz representa diez mil años de historia y cultura. En la actualidad, no existe dudas acerca del origen americano; sin embargo, este cereal nunca fue mencionado en algún tratado antiguo, en el antiguo testamento ni en los registros de descubrimiento de América por Cristóbal Colón (Acosta, 2009).

1.2.2 Fenología

Según Oñate (2015), el desarrollo fenológico del maíz comprende siete fases principales: germinación, emergencia, etapa vegetativa, panoja, espiga, llenado del grano y maduración. Asimismo, el maíz puede agruparse en cuatro etapas dentro de la fenología que son: Siembra - emergencia (I etapa), emergencia – panoja (II etapa), panoja – espiga (III etapa), espiga – maduración (IV etapa).

1.2.3 Requerimientos edafoclimáticos

Suelo: Puede desarrollarse en una amplia variedad de suelo, que van desde pedregosos hasta suelos de aluvión. No obstante, los suelos más apropiados para la producción de maíz son aquellos de textura franca o franco-arcillosas, con buen drenaje y un pH que va de ligeramente ácido a ligeramente alcalino. Es fundamental que estos suelos estén libres de sales y presenten una alta fertilidad, acompañado de un alto contenido de materia orgánica. La capacidad de producción del suelo depende principalmente de sus características físicas, químicas y ambientales (Avila *et al.*, 2014).

Clima: Requiere una temperatura que oscila de 20 a 30°C y una adecuada exposición solar. En climas húmedos, el rendimiento suele disminuir. Las plantas puede llegar a soportar temperaturas de hasta 8°C; valores superiores a 30°C puede afectar negativamente la absorción de nutrientes minerales y agua (Oñate, 2015).

El clima ideal para el cultivo de maíz es un ambiente con días soleados, noches frescas, temperaturas y vientos moderados. Debido a que es una especie de polinización cruzada, asistida por el viento, por ello una buena ventilación es esencial para asegurar una fecundación eficiente (Oñate, 2015).

Riego: Requiere un suministro hídrico adecuado, especialmente en variedades tropicales con un ciclo vegetativo de 120 días. Durante la fase del crecimiento vegetativo, la demanda de agua es más elevada, aproximadamente de 600 a 700 mm, se recomienda realizar riegos suplementarios de ocho a diez días antes de la floración para evitar el estrés hídrico. La deficiencia de agua durante la etapa de floración y el inicio del llenado de grano puede reducir significativamente el rendimiento, por lo que se recomienda, mantener una humedad constante en el suelo para lograr una adecuada polinización y un óptimo llenado de granos (Avila *et al.*, 2014).

Cosecha: Cuando el cultivo se destina para choclo, la cosecha se realiza en estado “lechoso” del grano. En cambio, para la producción de semilla se cosecha cuando los granos

alcanzan su madurez fisiológica, en el campo se lo identifica por la aparición de una capa negra en la base del grano. En el caso de los granos comerciales, se recomienda dejar transcurrir aproximadamente veinte días más en la planta antes de la cosecha (Cruz, 2017).

1.2.4 Manejo Integrado de Plagas

El manejo integrado de plagas (MIP) comprende el conjunto de técnicas disponibles orientadas a controlar y disminuir población de plagas mediante la combinación de estrategias y prácticas especializadas en gestión biológica, química, física y agrícola. Este enfoque busca mitigar la aplicación de plaguicidas y obtener productos sanos. El MIP se fundamenta en principios ecológicos, en el concepto ecosistema, priorizando la conservación de las funciones ecosistémicas. Además, promueve a que los productores seleccionen las alternativas más adecuadas y sostenibles para el control de plagas según las condiciones de su entorno productivo (Arcot *et al.*, 2024).

1.3 Fósforo en el suelo y en la planta

El fósforo (P) es un elemento esencial para la vida, desempeñando un papel fundamental en procesos metabólicos de los organismos (Perero, 2021). Las plantas y los microorganismos edáficos obtienen este elemento a partir de la solución del suelo, la cual proviene de la meteorización de los minerales como la apatita y otros materiales geológicos más estables. No obstante, debido a su alta reactividad química del fósforo y su demanda biológica, su disponibilidad en el suelo reduce rápidamente, lo que hace necesario recurrir a fuentes externas para su suministro (Tapia and García, 2013).

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de fósforo disponible en suelo, así como de diversos factores edáficos, fisiológicos y de manejo del fertilizante. Entre los factores del suelo destacan la textura, temperatura, contenido de materia orgánica y el pH; mientras que entre los factores propios del cultivo se consideran los requerimientos nutricionales y el nivel de rendimiento (García, 2005).

El suelo puede actuar como fuente o drenador de fósforo, dependiendo de su grado de intemperismo. Así, funciona como fuente cuando aún conserva reservas minerales naturales o cuando se le adicionan fertilizantes fosfatados (Pavinato, 2007).

El fósforo puede ser absorbido por la planta únicamente en forma de iones de ortofosfato (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}). Este nutriente cumple funciones vitales en la estructura y funcionamiento celular, siendo un componente en las membranas de fosfolípidos y las

cadenas de nucleótidos de ARN y ADN. Además, participa en los procesos energéticos de la célula a través de la molécula de trifosfato de adenosina (ATP) (Caballero *et al.*, 2023). El suelo constituye la principal fuente de fósforo para la planta, esta puede ser una fuente natural cuando es fértil; cuando su fertilidad natural es baja se recurre a la aplicación de fertilizantes fosfatados para garantizar la producción de los cultivos (Samylle *et al.*, 2024).

La dosis óptima de fósforo depende del porcentaje disponible en el suelo para la planta. Existen dos criterios generales para su recomendación: El criterio de suficiencia, que busca satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo, y el criterio de reconstrucción y mantenimiento, que además pretende incrementar o conservar el nivel de fósforo disponible en el suelo a largo plazo (Barraco *et al.*, 1970).

1.3.1 Formas del P

En el suelo, el fósforo (P) se encuentra en distintas formas inorgánicas (Pi) y orgánicas (Po), la cual se agrupan según su grado de labilidad y disponibilidad para las plantas. El Pi se presenta de manera natural en el suelo y proviene principalmente de roca fosfórica, un recurso natural no renovable presente en los yacimientos. Este puede clasificarse, de acuerdo con su disponibilidad inmediata o mediata para las plantas, en fósforo soluble, intercambiable e insoluble. Por su parte, el Po se encuentra en los residuos vegetales y animales, los cuales, tras un proceso de mineralización son degradados de materia orgánica por los microorganismos del suelo, liberando compuestos fosfatados mineralizados que pueden ser asimilado por las plantas (Tinoco and Bayuelo, 2021).

1.3.2 Fijación de P por Fe/Al/Ca

El fósforo es uno de los nutrientes con menos movilidad y biodisponibilidad en el suelo. Su disponibilidad para las plantas se ve afectada por diversos procesos fisicoquímicos, como dilución de minerales, precipitación, absorción, retención de arcillas, fijación por óxidos e hidróxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al). Estos dos últimos elementos (Al y Fe) presentan una alta afinidad por el fósforo, lo que favorece su fijación y reduce su disponibilidad en la solución del suelo (Berrocal *et al.*, 2009).

Asimismo, la formación de fosfatos de calcio (Ca) de distintas solubilidades y la retención de fósforo sobre superficies de carbonato cálcico influye significativamente en su comportamiento en el suelo. En la absorción de fósforo por las plantas, se ha observado un efecto estimulante del calcio en la absorción de fósforo, lo cual podría explicarse por dos

mecanismos: Uno supone que el calcio incrementa la velocidad de transporte de fósforo al influir sobre sus transportadores; y el otro indica que el calcio actúa como una pantalla electrostática, reduciendo las cargas negativas en los sitios de absorción y facilitando el acceso de los iones fosfato a los puntos de unión más específicos (Fernández, 2007).

1.3.3 Factores de respuesta al fósforo

El pH del suelo es un factor determinante en la disponibilidad del fósforo. Los valores óptimos se sitúan entre 6.0 y 6.5, es decir ligeramente por debajo de la neutralidad (Afif *et al.*, 2013). Según Cerozi y Fitzsimmons, (2016), la disponibilidad de P disminuye a medida que el pH aumenta, debido a que el fósforo tiende a unirse con diversos cationes, reduciendo la capacidad de iones de fosfato libres disponibles para la absorción de la planta. También destacó la importancia de la materia orgánica (MO) y la alcalinidad del suelo para mantener los iones de fosfato en forma libres en suelos con pH elevado.

El contenido de MO no afecta la capacidad de adsorción del fósforo, la variación en la capacidad de absorción se relaciona con el contenido de arcilla y las aplicaciones previas de fertilizantes fosfatados (Barbieri *et al.*, 2018).

1.4 Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

1.4.1 Biología

El termino micorriza proviene del griego *myces* (hongo) y *rhiza* (raíz), lo que hace referencia a la asociación simbiótica entre los hongos micorrízicos y las raíces de las plantas (Carrillo *et al.*, 2022). La forma más común de esta relación es la establecida por las micorrizas arbusculares, presentes en aproximadamente el 80% de las especies vegetales. Dicha interacción se fundamenta en un intercambio de señales y moléculas para beneficiar a ambos organismos: La planta suministra carbohidratos al hongo, mientras que este mejora la disponibilidad de nutrientes minerales, especialmente fósforo y nitrógeno, que suelen ser de difícil acceso para las raíces (Figueiredo *et al.*, 2021).

Los hongos micorrízicos Arbusculares (HMA) se caracterizan por ser biótrosos obligados, desarrollándose dentro del tejido radical mediante estructuras conocidas como *arbusculos*, que se forman por invaginaciones de la membrana celular (Boyno and Demir, 2022). La colonización micorrízica puede presentar cambios morfológicos y genéticos en las plantas, fortaleciendo su mecanismo de defensa y aumentando su resistencia frente a la infección por patógenos, gracias a procesos como la lignificación de las paredes celulares

(Cochea, 2025). Además, las plantas micorrizadas presentan una mayor tolerancia al estrés abiótico y contribuye a la conservación y estabilidad del suelo (Watson and Rivera, 2025).

1.4.2 Género

Las micorrizas se clasifican en siete tipos diferentes, sin embargo, las endomicorrizas o micorrizas arbusculares son las más comunes y predominantes en diversos ecosistemas (Kumar *et al.*, 2015). Los HMA pertenecen al phylum *Glomeromycota*, el cual comprende alrededor de 345 especies descritas (Ahammed and Hajiboland, 2024).

Dentro del phylum *Glomeromycota*, destacan tres géneros de especial relevancia ecológica y agronómica: *Rhizophagus*, *Funneliformis* y *Claroideoglossum*. Diversos estudios han reportado múltiples beneficios asociados a estos géneros, como la estimulación del crecimiento vegetal, la tolerancia a condiciones adversas (metales pesados, salinidad y sequía) y la inducción de resistencia sistémica a enfermedades de las plantas (Rashad *et al.*, 2020).

1.4.3 Mecanismos de acción de las micorrizas

El micelio externo de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) desempeñan un papel fundamental en la captación y unión de las partículas primarias del suelo, favoreciendo la formación y estabilidad de los agregados. Además, la asociación entre los HMA y las raíces de las plantas contribuye significativamente a la agregación del suelo, proceso que también depende del tipo de cultivo y las prácticas de manejo empleadas. Los HMA sintetizan una proteína denominada glomalina, la cual se acumula en las hifas, raíces y en el suelo, reforzando la parte edáfica y resaltando la importancia de estos hongos en la estabilidad del suelo (González *et al.*, 2004).

La simbiosis entre los HMA y las plantas dependen de moléculas señalizadoras específicas que permiten el reconocimiento, la comunicación y el intercambio de señales entre ambos organismos. Estos procesos pueden ocurrir mediante contacto directo a través de las zonas de influencia de las raíces y las hifas. Dichas zonas se clasifican en tres áreas: la rizosfera, correspondiente al entorno de influencia directa de las raíces; la hifósfera, asociada al área de influencia de las hifas, y la micorrizósfera, que integra tanto la hifósfera como la rizosfera (Wang and Feng, 2021).

Diversos estudios han demostrado que la simbiosis micorrízica influye directamente en la estabilidad de los agregados del suelo debido a la extensa red de hifas que forman, las

cuales atraen y unen las partículas del suelo. En comparación con la raíz, la superficie por unidad de volumen de las hifas de HMA puede ser hasta cien veces más. La densidad de hifas varía según el ecosistema, con valores promedio de entre 0.5 a 5 m de hifa por gramo de suelo en sistemas cultivados, y de hasta 20 m en suelos no perturbados (Tisdall and Oades, 1982).

Además, esta simbiosis cumple un rol ecológico relevante, ya que se relaciona con las etapas sucesionales de los bosques y con el estado de desarrollo de las plantas. En zonas degradadas por el cambio de uso del suelo, las asociaciones micorrízicas (AM) aportan en la recuperación ecológica y participan en procesos de fitoestabilización y fitoextracción de metales pesados (Carrillo *et al.*, 2022).

Los HMA aumentan la descomposición, así como el ciclo del carbono y los nutrientes en el suelo desempeñando un papel esencial en el funcionamiento y sostenibilidad de los agroecosistemas (Pinos *et al.*, 2019). Asimismo, se ha comprobado que influye en la relación hídricas de la planta y del suelo, al modificar la conductancia estomática, la tasa fotosintética, el potencial hídrico foliar, la concentración de osmolitos, la eficiencia en el uso de agua y la asimilación de nutrimentos del hospedero (Ruiz *et al.*, 2015).

1.4.4 Efecto de altos niveles de fósforo en la eficiencia micorrízica

Bañuelos *et al.* (2017), señala que la colonización micorrízica disminuye con la adición de fósforo, ya que las altas dosis de este elemento pueden generar toxicidad en las plantas, afectando la absorción de micronutrientes como el zinc (Zn) y el hierro (Fe), e incluso provocar la muerte del cultivo. De manera similar, Sawers *et al.* (2017), indica que el estrés por deficiencia o exceso de fósforo se manifiesta en el cultivo de maíz mediante la reducción del diámetro del tallo, el adelgazamiento de las células epidérmicas e hipodérmicas y la formación de haces vasculares más pequeños.

La colonización micorrízica se ve favorecida cuando se aplica bajas dosis de fósforo en el cultivo de maíz; Arroyo *et al.* (2019) reportaron que los tratamientos inoculados con micorrizas y una dosis 25 kg de P/ha incrementó la colonización en un 95,01%.

Sherbeny *et al.* (2022), en su investigación realizada sobre la interacción entre los HMA y dosis de fertilización fosfatada en el cultivo de cebolla, se observó que la combinación de inoculación con HMA y la aplicación de fertilización fosfórica en conjunto, fue más efectiva para mejorar la colonización de las raíces. Sin embargo, la fertilización

fosfatada por encima de 80 kg/ha disminuyó significativamente la colonización micorrízica. Al igual que se evidenció que la inoculación con HMA aumentó la concentración de fósforo en el suelo y en la rizosfera.

Siqueira *et al.* (1984), citado por Chu *et al.* (2004), mencionan que la inoculación con HMA suele ser poco exitosa en suelos con alta fertilidad o con disponibilidad elevada de nutrientes, ya que la abundancia de fósforo inhibe el establecimiento de la simbiosis. En caso de establecer, los beneficios para la planta serían mínimos o incluso negativos, pudiendo los HMA comportarse como parásitos al consumir recursos sin aportar beneficios significativos al hospedero.

1.5 Interacción fósforo x HMA

El principal aporte de los HMA a las plantas radica en el incremento de la adquisición de nutrientes poco disponibles, principalmente fósforo (P) y nitrógeno (N). Además, influye en la fisiología vegetal y en las relaciones hídricas bajo condiciones de estrés, ya que las hifas amplían el volumen del suelo y pueden penetrar poros demasiado pequeños e inaccesible para las raíces. Los exudados fúngicos, ricos en mucílagos, facilitan el movimiento radicular y mejoran la absorción de agua y minerales (Harris *et al.*, 2009).

Por otro lado, se ha observado que la concentración de Zn en raíces y brotes de maíz disminuye con el aumento del suministro de fósforo inorgánico (Pi). La acumulación de Zn en las raíces refleja una deficiencia de Zn inducida por Pi durante la micorrización, debido a que el fósforo inhibe la colonización, lo que conlleva a una alteración de la vía de absorción mediada por las micorrizas, afectando la captación de Zn y el estado de Zn tisular de las plantas hospedantes (Xie *et al.*, 2019).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

El ensayo se realizó durante los meses de enero a mayo del 2025 en el recinto Río Nuevo, de la parroquia Colonche, Santa Elena – Ecuador, a una altura aproximada de 50

msnm, ubicado en las coordenadas GPS: -2,014595°, -80,585913° y una topografía con pendiente inferior al 2%.

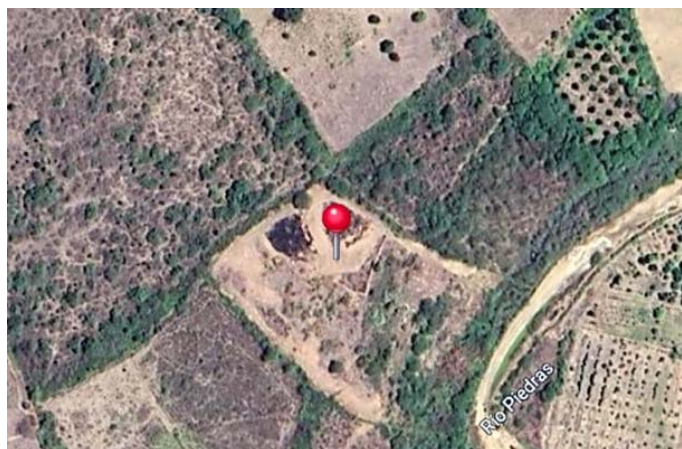


Figura 1. Ubicación del área de instalación del ensayo en el recinto Río Nuevo- Colonche (Google Maps, 2025).

2.2 Materiales, equipos y reactivos

2.2.1 Material biológico

Material vegetal: Se usaron semillas recicladas de maíz criollo procedente del sector agrícola del recinto San Pedro, que se encuentra ubicado en la parroquia Las Américas – Jipijapa, de la provincia de Manabí.

Material biológico:

Se utilizó el inoculante micorrízico comercial ECOFUNGI, cuya composición (*Rhizophagus intraradices*, *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus aggregatum* y *Claroideoglomus etunicatum*; 200 esporas/g) fue verificada en la Ficha Técnica Oficial del producto emitida por Mundo Verde, (2024). El producto fue almacenado a temperatura ambiente controlada (20–25 °C) según recomendaciones del fabricante. No se realizó un análisis independiente de viabilidad del inóculo; por tanto, la investigación se basó en las concentraciones declaradas por el proveedor, lo cual podría considerarse como una limitación metodológica.

2.2.2 Material de campo

- Azadón.
- Estacas.
- Semillas.
- Fertilizantes UREA y MAP.
- Bomba de riego.
- Cinta de riego.

- Uniones y empates.
- Carteles con las señaléticas de los tratamientos.
- Bomba de fumigar.
- Cucharas medidoras.
- Balanza.
- Cinta métrica.
- Piola.
- Tanque.
- Marcador.
- Mascarillas.
- Guantes.

2.2.3 *Material de oficina*

- Computadora portátil.
- Libreta de campo.
- Bolígrafo.
- Impresora.
- Hojas.
- Cámara.
- Teléfono.

2.2.4 *Material de campo para colecta de muestras*

Muestras de suelo:

- Pala.
- Pico.
- Marcador permanente.
- Funda ziploc.

Muestra del material vegetal grano y planta:

- Fundas de papel.
- Marcador.
- Machete.
- Cinta de papel.
- Balanza.

2.2.5 *Material de laboratorio*

- Guía de laboratorio.
- Bata de laboratorio.
- Guantes.
- Mascarilla.

2.2.6 *Equipos de laboratorio*

- Estufa de circulación de aire (REBELK, GX-125BE, memmert).
- Balanza electrónica.

2.3 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo experimental ya que se manipularon variables independientes (inoculación micorrízica y aplicación de dosis fosfórica), para observar su efecto en las variables dependientes (crecimiento y rendimiento). Este enfoque permitió plantear relaciones causa – efecto entre las variables.

2.4 Diseño de investigación

2.4.1 Diseño experimental

Se realizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×3, donde el primer factor fueron las micorrizas (con y sin inoculación) y el segundo factor tres niveles de fertilización fosfórica (0%, 50%, 100%) dando 6 tratamientos y 3 repeticiones para un total de 18 unidades experimentales (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos del experimento en el recinto Río Nuevo-Colonche durante el 2025.

Tratamientos				
Tratamientos	Código	HMA	Fertilización Fosfórica	Descripción
1	T1 Control	–	0%	Testigo sin inoculación ni F.F.
2	T2 -HMA 50%F.F	–	50%	Sin inoculación con F.F del 50%
3	T3 -HMA 100% F.F.	–	100%	Sin inoculación con F.F del 100%
4	T4 +HMA 0%F.F.	+	0%	Inoculación con F.F. del 0%
5	T5 +HMA 50%F.F.	+	50%	Inoculación con F.F. del 50%
6	T6 +HMA 100%F.F.	+	100%	Inoculación con F.F. del 100%

HMA=Hongos Micorrícicos Arbusculares, F.F.=Fertilización Fosfórica.

Tabla 2. Anova fuente de variación y grados de libertad de los factores considerados en el experimento.

Fuente de variación	Fórmula	Grados de libertad
Tratamientos	t - 1	5
Bloques	r - 1	2
50% F.F.	1	1
100% F.F.	1	1
HMA	1	1
HMA + 50% F.F	1	1
HMA + 100% F.F	1	1
Error	(t - 1) × (r - 1)	10
Total	(t × r)-1	17

T= número de tratamientos (6), r= número de repeticiones (3).

El experimento se estableció en un área total de 781 m² (55m × 14.2), dividida en 18 parcelas de 30.4 m² (3.8m × 8m). En cada parcela se establecieron tres hileras del cultivo de maíz a una distancia de plantación de 0.30 cm para una densidad de plantación de 47.620 plantas/hectárea. Se consideró el efecto de borde a 1m desde la cerca a la parcela y

sembrándose las plantas a 1.40 m desde la cerca. Los tratamientos tuvieron una distancia de 1 m entre parcelas y 0.40 m entre repetición (Figura 2 y 3).

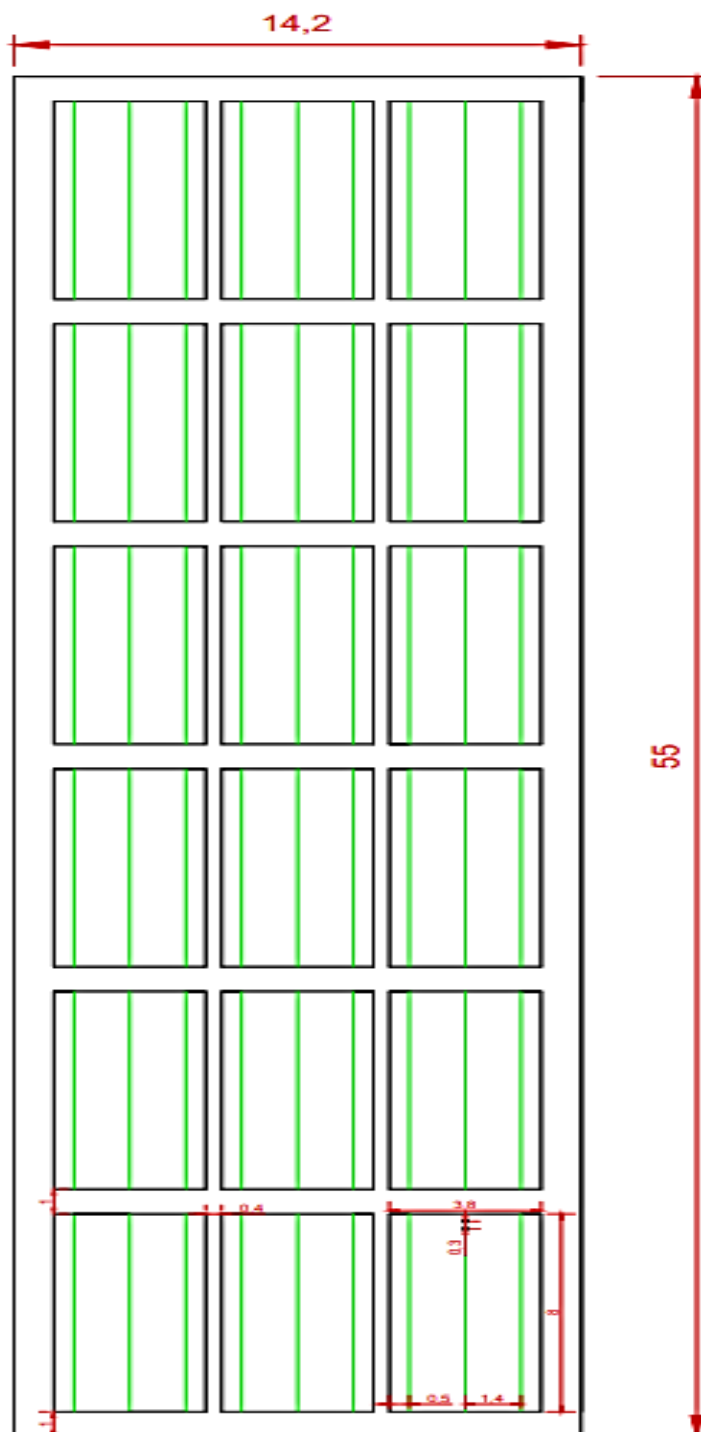


Figura 2. Plano del área experimental con las parcelas.

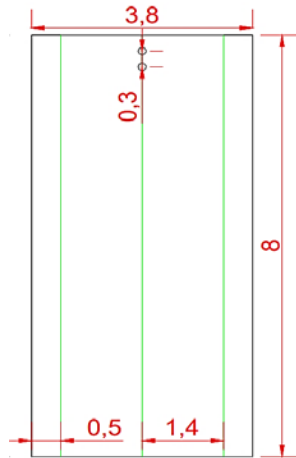


Figura 3. Parcela con sus medidas y distancia de siembra.

REPETICIÓN 1	REPETICIÓN 2	REPETICIÓN 3
T4 HMA 0%F.F	T1 -HMA 0%F.F	T6 HMA 100%F.F
T3 -HMA 100%F.F	T6 HMA 100%F.F	T3 -HMA 100%F.F
T2 -HMA 50%F.F	T5 HMA 50%F.F	T4 HMA 0%F.F
T1 -HMA 0%F.F	T4 HMA 0%F.F	T1 -HMA 0%F.F
T5 HMA 50%F.F	T2 -HMA 50%F.F	T5 HMA 50%F.F
T6 HMA 100%F.F	T3 -HMA 100%F.F	T2 -HMA 50%F.F

Figura 4. Distribución de los tratamientos y sus repeticiones.

2.5 Manejo del experimento

2.5.1 Muestreo de suelos

Previo a la siembra y preparación del terreno se realizó un muestreo de suelo, para lo cual se recorrió el área en zigzag y se tomaron cinco submuestras a 20 cm de profundidad, dónde se conformó una muestra compuesta de 1kg, esa muestra se la envió al Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP) para determinar las características físico-químicas del suelo. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3. Resultados físico-químicos de suelo del área de implantación del experimento en Colonche, Santa Elena (Laboratorio INIAP).

Parámetros	Metodología	Unidad	Resultado	Interpretación
Clase Textural		%	Arena: 36	Franco
			Limo: 48	
			Arcilla: 16	
pH	Potenciométrica	LIA	7.9	Ligeramente Alcalino
NH ₄	Colorimetría	ug/ml	10	Bajo
P	Colorimetría	ug/ml	15	Medio
K	Absorción	ug/ml	1088	Alto
Ca	Absorción	ug/ml	2999	Alto
Mg	Absorción	ug/ml	391	Alto
M.O.	Walkey Black	%	1.60	Bajo

ug/ml=microgramo/mililitro

2.5.2 Preparación del terreno

Para la preparación del terreno se utilizó un sistema labranza cero, se realizó el desbroce manual del terreno y la acumulación de toda la materia seca.

2.5.3 Implementación del sistema de riego

El sistema de riego utilizado en el ensayo fue por cintas de riego por goteo, instalado de manera paralela a las hileras de siembra. Cada cinta contaba con emisores (gotero) cada 0.30 m, lo que permitió una distribución homogénea del agua en la zona radicular del cultivo. Las cintas de riego se conectaron a una manguera principal dispuesta con una separación de 1.40 m entre línea, coincidiendo con la distancia entre hileras del cultivo de maíz.

El riego se lo aplicó con base en la capacidad de campo (CC), manteniendo el contenido de humedad del suelo cercano al punto máximo de retención de agua después del drenaje gravitacional, evitando tanto déficit como saturación hídrica. La determinación de los momentos de riego se realizó mediante la observación del contenido de humedad del

suelo en el perfil de 0 – 20 cm, asegurando que el cultivo dispusiera de agua suficiente en sus fases críticas de desarrollo.

De acuerdo con los requerimientos hídricos del maíz reportados por la FAO (Allen *et al.*, 2006) y adaptado a condiciones de zonas semiáridas de la provincia de Santa Elena, el cultivo demanda entre 500 y 700 mm de lámina total de agua por ciclo, dependiendo de la duración del ciclo vegetativo y de la evapotranspiración del sitio.

En el presente estudio, el riego se programó para mantener la evapotranspiración del cultivo (ET_c) estimada a partir de la ecuación general:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/día), calculada por el método de Penman–Monteith FAO.

K_c = coeficiente del cultivo, variable según la etapa fenológica.

Los coeficientes de cultivo utilizados fueron:

K_c inicial: 0.30 (emergencia a V4).

K_c medio: 1.15 (floración y llenado de grano).

K_c final: 0.70 (madurez fisiológica).

En promedio, se aplicaron riegos cada tres a cinco días, equivalentes a una lámina aproximada de 25 a 35 mm por evento, garantizando una humedad adecuada en la zona radicular activa.

Este manejo permitió mantener el cultivo con un balance hídrico óptimo, asegurando la expresión del potencial productivo y reduciendo el estrés hídrico durante las etapas críticas (V6 – VT y R1 – R3).

2.5.4 Adecuación de las parcelas

Previo al establecimiento del experimento se hizo una visita a la finca para medir el área, luego se delimitó el área con alambre de púas para evitar el ingreso de ganado.

Con el uso de una cinta métrica, piola y estacas se procedió a medir y seccionar el área en los tratamientos y repeticiones correspondientes, con ayuda de los letreros se ubicó los tratamientos según su repetición.



Figura 5. Adecuación de las parcelas para la instalación del experimento.

2.5.5 Plan de fertilización

Con base en el análisis físico-químico del suelo realizado en los laboratorios del INIAP (Tabla 3), el suelo presentó textura franca, pH ligeramente alcalino (7,9), contenido medio de fósforo disponible (15 mg/kg) y 1,6% de materia orgánica. La interpretación de los parámetros analizados se realizó según los rangos de clasificación empleados por el laboratorio del INIAP, los cuales categorizan este valor como “medio”. Es importante mencionar que esta clasificación responde a los criterios internos del laboratorio, basados en sus tablas de interpretación. De acuerdo con el Mapa Geopedológico del Ecuador, para la región Costa los contenidos menores a 0.4 % se consideran bajos, por lo que el valor obtenido (1.6 %) se ubicaría dentro de la categoría “medio” bajo ese criterio nacional.

Considerando los resultados del análisis y los requerimientos nutricionales del cultivo de maíz para un rendimiento esperado de 3 t/ha, se elaboró un plan de fertilización enfocado en suplir nitrógeno (N) y fósforo (P), dado que los niveles de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) se encontraron altos según la clasificación del INIAP.

La planificación se efectuó mediante el método del balance de nutrientes, el cual permite calcular la dosis óptima de nutrientes y de fertilizantes a aplicar según la diferencia entre la demanda del cultivo (D) y el suministro de nutrientes (S), ajustada por la eficiencia del fertilizante (Ef), según la siguiente expresión general:

$$DN = \frac{D - S}{Ef}$$

Donde:

DN= Dosis del nutriente (kg/ha).

D = Demanda del nutriente (kg/ha).

S = Suministro de nutrientes (kg/ha).

Ef= Eficiencia de la fertilización.

Una vez determinadas las dosis de nutrientes requeridas por el cultivo se calculó la dosis de fertilizante.

$$QF = \frac{DN}{\%Nf}$$

Donde:

QF = Cantidad de fertilizante a aplicar (kg/ha).

DN= Dosis de nutriente requerido por el cultivo (kg/ha).

%Nf = Porcentaje de nutriente presente en el fertilizante.

Esta fórmula se fundamenta en el principio del balance de nutrientes descrito por la (FAO and IFA, 1992).

Con base en estos cálculos, la fórmula de fertilización establecida fue 100-55-0, correspondiente a 100 kg de N, 55 kg de P₂O₅ y 0 kg de K₂O por hectárea, debido a los altos contenidos de potasio observados en el análisis de suelo.

La fertilización nitrogenada se aplicó en dos fracciones: la primera al momento de la siembra y la segunda a los veinticinco días después de la emergencia (DDE), a una distancia de 5 cm del tallo. Se evaluaron tres niveles de fertilización fosfatada (100%, 50% y 0%) tanto en presencia como en ausencia de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), con el objetivo de analizar la eficiencia en el uso del fósforo bajo simbiosis micorrízica.

En la Tabla 4 se detallan los planes de fertilización correspondientes a cada nivel de fósforo, considerando las fuentes utilizadas y la dosis aplicada por planta.

Tabla 4. Plan de fertilización aplicado al cultivo de maíz según dosis de fósforo en presencia y ausencia de micorrizas arbusculares.

Dosis de P	Fertilizante	kg/ha Aplicación	Aporte de N (kg/ha)	Aporte de P (kg/ha)	Dosis por planta (g)	Momento de aplicación	Observación
100% P	MAP	92	11	55	2.15	Siembra	Fuente principal de fósforo
	Urea	85	39	—	2.00	Siembra	Complemento nitrogenado
	Urea	109	50	—	2.42	25 DDE	Segunda fracción N
50% P	MAP	47	6	28	1.07	Siembra	Dosis reducida de fósforo
	Urea	96	44	—	2.20	Siembra	Complemento nitrogenado
	Urea	109	50	—	2.42	25 DDE	Segunda fracción N
0% P	MAP	0	0	0	0.00	Siembra	Sin aplicación de fósforo
	Urea	109	50	—	2.42	Siembra	Fuente única de N
	Urea	109	50	—	2.42	25 DDE	Segunda fracción N

P=Fósforo; N=Nitrógeno; g=gramos.

2.5.6 *Siembra*

Se sembró una semilla a cada lado del gotero, a una profundidad de 0.5 cm y a una distancia entre planta de 0.30 cm y entre hilera de 1.40 cm, teniendo una población total de 47.620 plantas/hectárea.

2.5.7 *Inoculación micorrízica*

El inoculante micorrízico se aplicó a la semilla diluido en agua al momento de la siembra (antes de cubrir el hoyo) siguiendo las recomendaciones del fabricante. En la Tabla 5 se muestra que se usó un total de 14 g de inoculante en 2 L de agua.

Tabla 5. Plan de aplicación de Micorrizas.

Nº de Tratamientos con HMA	Área de un tratamiento	Área total	Agua (L)	Micorrizas (g)
9	30.4m ²	273.6m ²	2L	14 g

2.5.8 *Manejo fitosanitario*

Control de arvenses: El control de malezas se lo realizó de forma manual con la mano y con ayuda de un machete durante todo el ciclo vegetativo.

Control químico: Durante el establecimiento del experimento se realizaron monitoreos semanales de organismos nocivos, a los siete días después de la emergencia (DDE) se observaron afectaciones leves en el cogollo de las plantas producidas por larvas de *Spodoptera frugiperda*. Posteriormente, a los quince DDE, el cultivo presentó un umbral de daño superior al 25% de infestación, lo que justificó la aplicación de un tratamiento químico correctivo al día dieciséis DDE.

Se utilizó un insecticida sistémico de acción por contacto e ingestión, cuyo mecanismo de acción consiste en la inhibición de la enzima colinesterasa en el sistema nervioso del insecto, provocando su parálisis y muerte. El producto empleado fue un polvo soluble del grupo químico de los carbamatos, con principio activo a base de metomilo (Methomyl 900 SP, marca comercial KUIK 900), aplicado directamente en el cogollo de la planta para maximizar su eficacia.

En la Tabla 6 se detalla la información correspondiente a la dosis, modo de aplicación y características del producto utilizado.

Tabla 6. Información de la dosis del producto químico para control de *Spodoptera frugiperda*.

Cultivo	Objetivo biológico	Principio activo	Dosis
Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Methomyl	0.15 a 0.2 kg/ha

Gasto de agua: 200L/ha.

2.5.9 Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual, una vez que el maíz alcanzó la madurez fenológica, identificada por el endurecimiento del grano y el secado de las hojas basales y brácteas. Para la evaluación del rendimiento, se cosechó el maíz correspondiente a la hilera central de cada tratamiento, abarcando un área útil de $4.0 \times 1.40\text{m}$, con el fin de minimizar el efecto de borde y obtener datos representativos de cada parcela experimental.

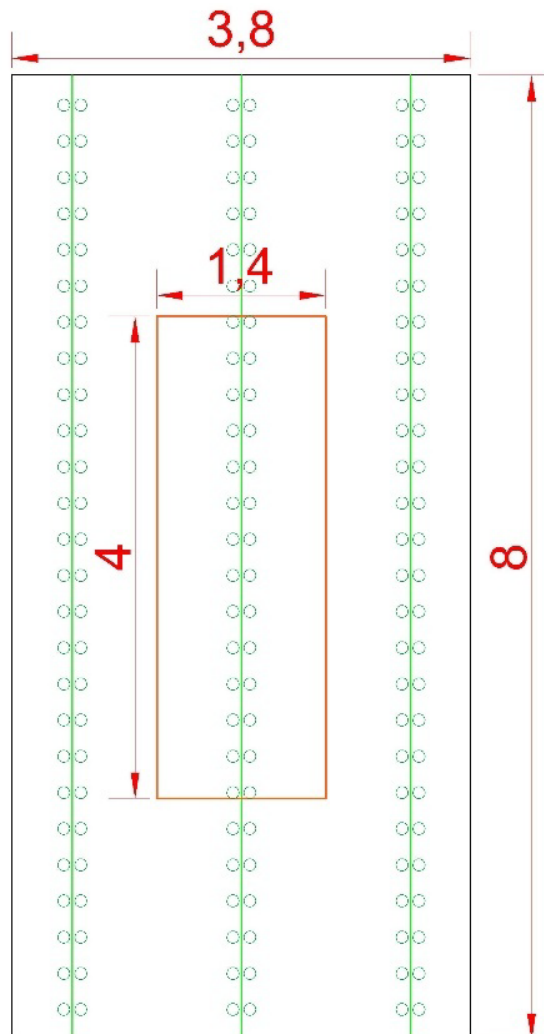


Figura 6. Área útil de cosecha de cultivo de Maíz bajo el efecto de inoculación micorrízica y tres niveles de fertilización fosfórica.

2.6 Parámetros evaluados

2.6.1 Morfológicos

Altura de la planta: Con ayuda de un flexómetro se evaluó la altura de la planta desde el ras del suelo hasta la hoja bandera, las medidas fueron tomadas a los 14, 28, 42 y 56 días después de la emergencia (Carranza *et al.*, 2023).

Diámetro del tallo: Con ayuda de una cinta métrica se midió el diámetro del tallo a los 14, 28, 42 y 56 días después de la emergencia (Solorio *et al.*, 2016).

Número de hojas: Se contabilizó el número de hojas por planta a los 14, 28, 42 y 56 días después de la emergencia (Blessing and Hernandez, 2009).

2.6.2 Productivos

Número de mazorcas por planta: Se contabilizó el número de mazorcas por planta a los 56 días después de la emergencia (Lima, 2021).

Rendimiento kg/ha: Se definió el área de cosecha para cada tratamiento, posteriormente se realizó la recolección manual de las mazorcas dentro de zona previamente delimitada. Las mazorcas se desgranaron y limpiaron cuidadosamente para eliminar impurezas y restos vegetales.

El peso total de los granos obtenidos en cada tratamiento fue registrado, y de cada muestra se tomó una submuestra de 200 g de granos para determinar el contenido de humedad. Las submuestras se colocaron en una estufa de circulación de aire forzado a 75 °C durante 48 horas. Transcurrido ese tiempo, las muestras se seleccionaron 200 granos, los cuales se volvieron a secar en la estufa, esta vez durante 24 horas a 75 °C, con el fin de garantizar la eliminación completa de la humedad residual.

Los datos de peso obtenidos se utilizaron para ajustar el rendimiento a base seca y expresarlo en kilogramos por hectárea (kg/ha), siguiendo la metodología propuesta por Center for International Forestry Research, (2012).

2.6.3 Eficiencia micorrízica

Para la determinación de la masa seca, se seleccionó una planta representativa por tratamiento y replica, diferenciando aquellas inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) de las no inoculadas. Las plantas fueron cortadas a ras del suelo, picadas

en fragmentos pequeños y empacadas en fundas de papel rotuladas con su respectivo tratamiento y repetición. Posteriormente, las muestras se deshidrataron en una estufa de circulación de aire forzado (REBELK GX-125BE) a una temperatura de 75 °C durante 72 horas, hasta alcanzar un peso constante. Luego, se pesaron en una balanza analítica para registrar el peso seco total por planta (g).

Con los datos obtenidos se calculó la eficiencia micorrízica (EM), que expresa el incremento porcentual del crecimiento vegetal debido a la colonización micorrízica, empleando la ecuación propuesta por (Plenchette *et al.*, 1983).

$$EM(\%) = \frac{P_m - P_{nm}}{P_{nm}} \times 100$$

Donde:

EM = Eficiencia micorrízica (%),

P_m = Peso seco de plantas micorrizadas (g).

P_{nm} = Peso seco de plantas no micorrizadas (g).

Esta fórmula permite cuantificar el efecto de la micorrización sobre la biomasa aérea del cultivo, reflejando la respuesta fisiológica del maíz a la simbiosis bajo las condiciones experimentales evaluadas.

2.7 Análisis estadístico de los resultados

Los datos obtenidos de las variables evaluadas fueron organizados en hojas de cálculo de Excel y posteriormente analizados con el software estadístico SISVAR 5.8 (Ferreira, 2019). Previamente al análisis comparativo, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos por los modelos paramétricos.

La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk ($\alpha = 0.05$) y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett ($\alpha = 0.05$). Como todas las variables cumplieron con ambos supuestos se analizaron mediante ANOVA bifactorial, considerando como factores la presencia/ausencia de micorrizas arbusculares (HMA) y las dosis 0, 50 y 100% de fertilización fosfórica (F.F.), así como su interacción (HMA×F.F.).

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

3.1 Efectos en los parámetros morfológicos

En la Tabla 7 se presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) factorial correspondiente a la interacción entre hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las dosis de fósforo (0%, 50% y 100%), aplicadas al cultivo de maíz criollo (*Zea mays* L.). Las variables morfológicas evaluadas fueron: Altura de la planta (AP), diámetro del Tallo (DT) y número de hojas (NH) a los 14, 28, 42 y 56 días después de la emergencia (DDE).

No se detectaron efectos significativos ($p > 0.05$) para la inoculación HMA, la fertilización fosfórica (F.F.), ni para la interacción HMA \times F.F. en ninguno de los momentos evaluados. Los coeficientes de variación (CV) oscilaron entre 2.85% y 12.59%, lo que refleja una adecuada precisión experimental. Aunque se observaron ligeras variaciones numéricas entre tratamientos, estas no fueron concluyentes desde el punto de vista estadístico.

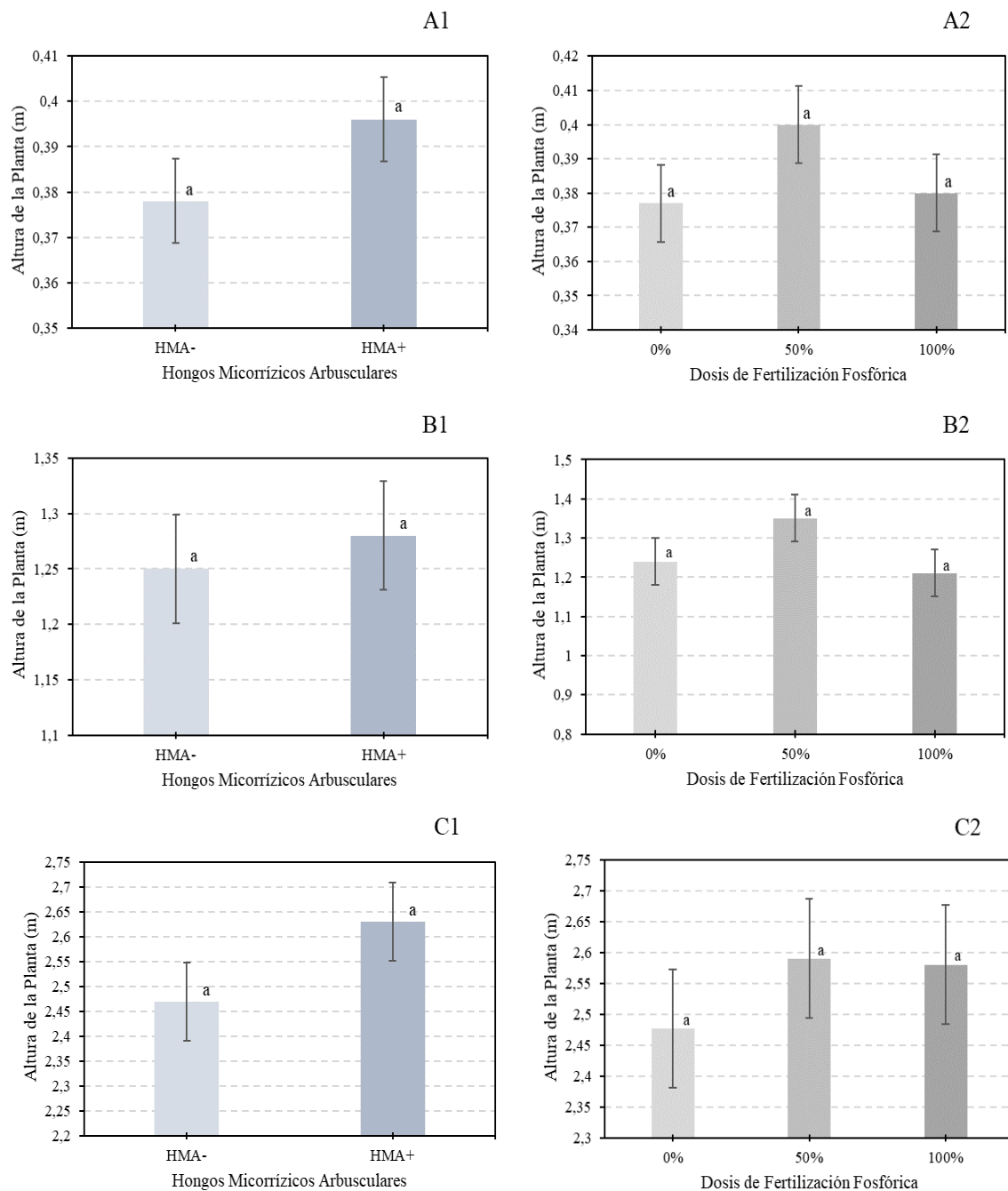
Tabla 7. Resumen ANOVA de los parámetros morfológicos AP, DT y NH del cultivo de maíz criollo (*Zea mays* L.) evaluado a los 14, 28, 42 y 56 días después de la emergencia.

VARIABLES MORFOLÓGICAS									
FV	G L	14 DDE		28 DDE		42 DDE		56 DDE	
		SQ	p>valor	SQ	p>valor	SQ	p>valor	SQ	p>valor
Altura de la Planta (m)									
HMA	1	0.0014	0.1997 ^{ns}	0.0027	0.7299 ^{ns}	0.1136	0.1771 ^{ns}	0.0896	0.1786 ^{ns}
F.F	2	0.0017	0.3574 ^{ns}	0.0576	0.2987 ^{ns}	0.0466	0.6651 ^{ns}	0.0740	0.4542 ^{ns}
HMA*F. F	2	0.0006	0.6957 ^{ns}	0.0205	0.6318 ^{ns}	0.2731	0.1262 ^{ns}	0.2263	0.1171 ^{ns}
Error	12	0.0093		0.2583		0.6631		0.5267	
CV%		7.19		11.58		9.22		5.70	
Media general		0.3867		1.2667		2.5483		3.6783	
Diámetro del Tallo (cm)									
HMA	1	0.0006	0.9625 ^{ns}	0.0800	0.6711 ^{ns}	0.1250	0.2529 ^{ns}	0.0214	0.6777 ^{ns}
F.F	2	1.3344	0.1032 ^{ns}	1.6133	0.1904 ^{ns}	0.1744	0.3944 ^{ns}	0.2609	0.3616 ^{ns}
HMA*F. F	2	0.2744	0.5813 ^{ns}	0.5200	0.5564 ^{ns}	0.3033	0.2153 ^{ns}	0.3880	0.2330 ^{ns}
Error	12	2.9000		5.0667		1.6428		1.4123	
CV%		12.59		6.91		3.08		3.81	
Media general		3.9056		9.4000		9.5611		9.0100	
Número de Hojas (unidad)									
HMA	1	0.0022	0.9178 ^{ns}	0.3200	0.4128 ^{ns}	0.0200	0.7586 ^{ns}	0.1800	0.3716 ^{ns}
F.F	2	0.1733	0.6581 ^{ns}	1.9733	0.1512 ^{ns}	0.6933	0.2214 ^{ns}	1.2978	0.0818 ^{ns}
HMA*F. F	2	0.0044	0.9890 ^{ns}	0.2133	0.7903 ^{ns}	1	1.000 ^{ns}	0.0533	0.8813 ^{ns}
Error	12	2.4000		5.3333		2.4267		2.5067	
CV%		8.23		6.90		3.45		2.85	

HMA=Hongos Micorrizicos Arbusculares; F.F.=Fertilización Fosfórica; CV=Coefficiente de variación; SQ= Suma de cuadrado; ns= No significancia; DDE= Días después de la emergencia.

3.1.1 Altura de la planta

La altura de las plantas no presentó diferencias significativas ($p>0.05$). Se observó una tendencia no concluyente a un mayor crecimiento inicial en las plantas inoculadas y con dosis intermedia de fertilización (50%), sin que esta respuesta alcanzara significancia estadística.



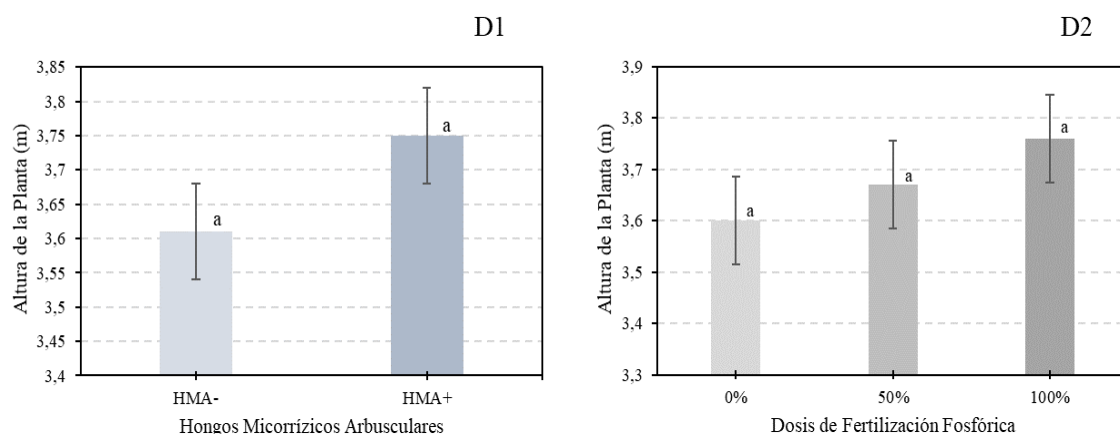
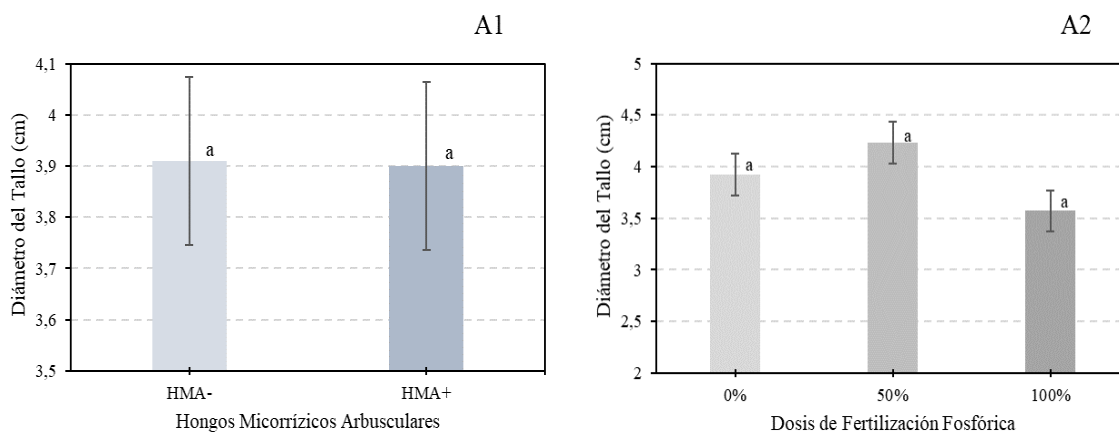


Figura 7. Altura promedio de plantas de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfatada (0%, 50%, 100%) (2) evaluadas a los 14 (A), 28 (B), 42 (C) y 56 (C) días después de la emergencia de las plantas. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre si según el test de Tukey ($p > 0,05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.

3.1.2 Diámetro del tallo

El diámetro del tallo tampoco mostró diferencias significativas ($p > 0,05$). la Figura 8 muestra que entre los 14-42 DDE, el mayor DT correspondió las planta sin HMA. Para P se observó un máximo temprano con 50% a los 14-28 DDE, mientras que a los 42 DDE el 0% mostró un mayor DT. A los 56 DDE, los tres niveles (0%, 50% y 100%) de P tuvieron un decrecimiento en su diámetro, posiblemente por competencia intraespecífica y/o restricciones hídricas tardías.



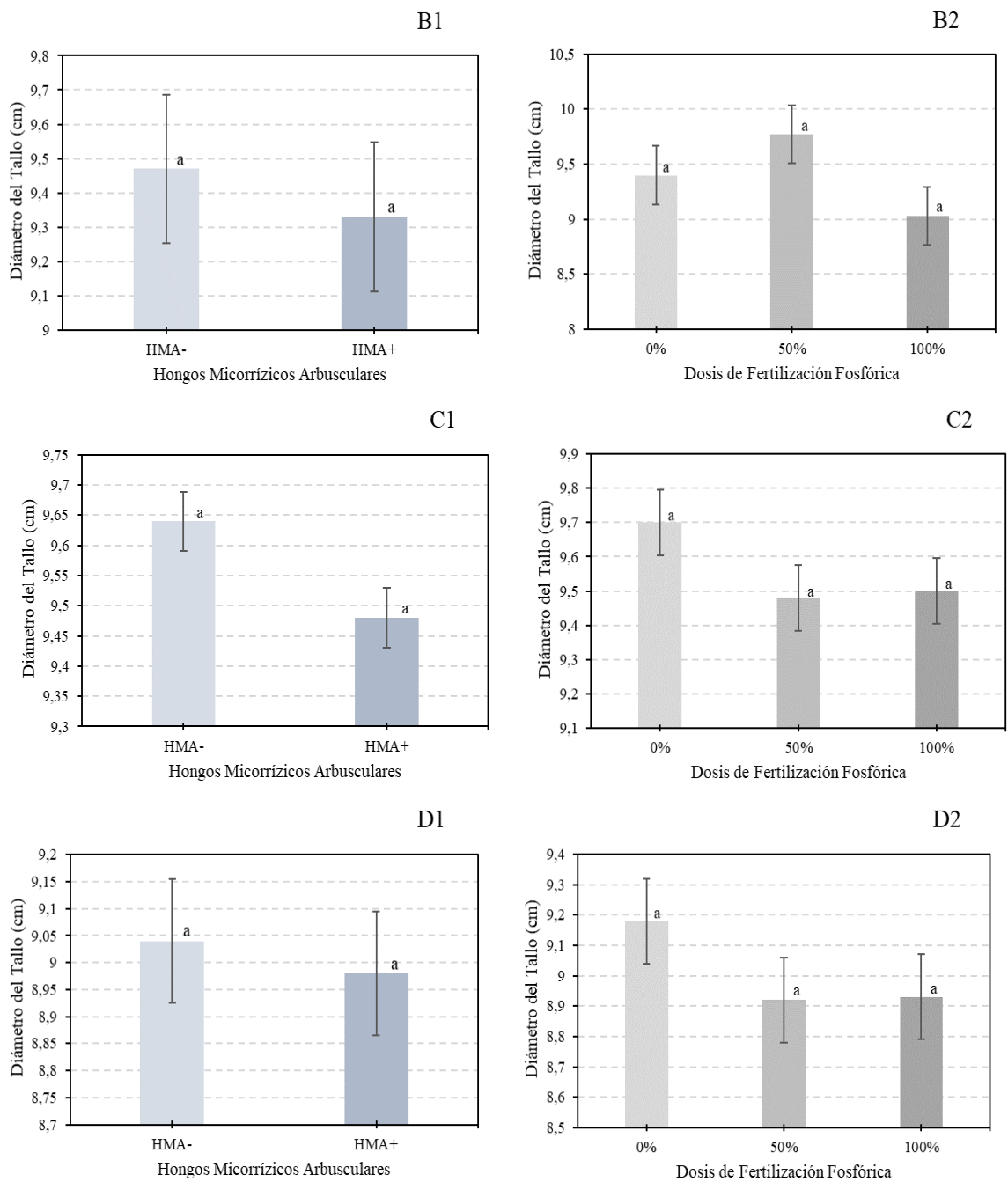
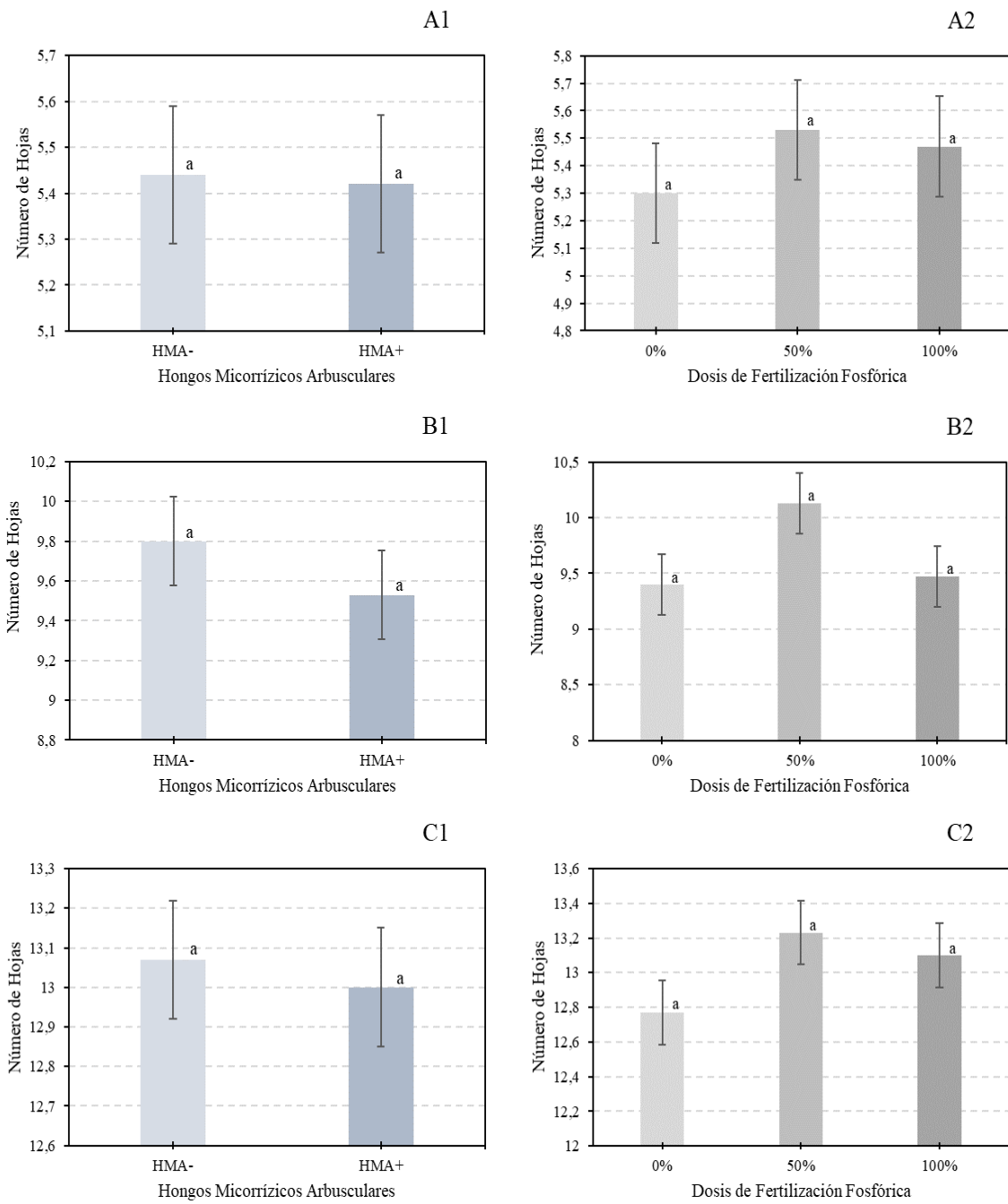


Figura 8. Diámetro promedio del tallo de plantas de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfatada (0%, 50%, 100%) (2) evaluadas a los 14 (A), 28 (B), 42 (C) y 56 (C) días después de la emergencia de las plantas. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre si según el test de Tukey ($p > 0.05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.

3.1.3 Número de hojas

El número de hojas fue similar entre tratamientos ($p > 0.05$). Se evidencia fluctuaciones numéricas ligeramente menores con plantas inoculadas a los 14-42 DDE, igualando o superando al testigo a los 56 DDE. El 50% de P tendió a presentar los mayores

valores, estos resultados no tienen una tendencia consistente que indique un efecto claro de la inoculación o la dosis de fósforo (Figura 9).



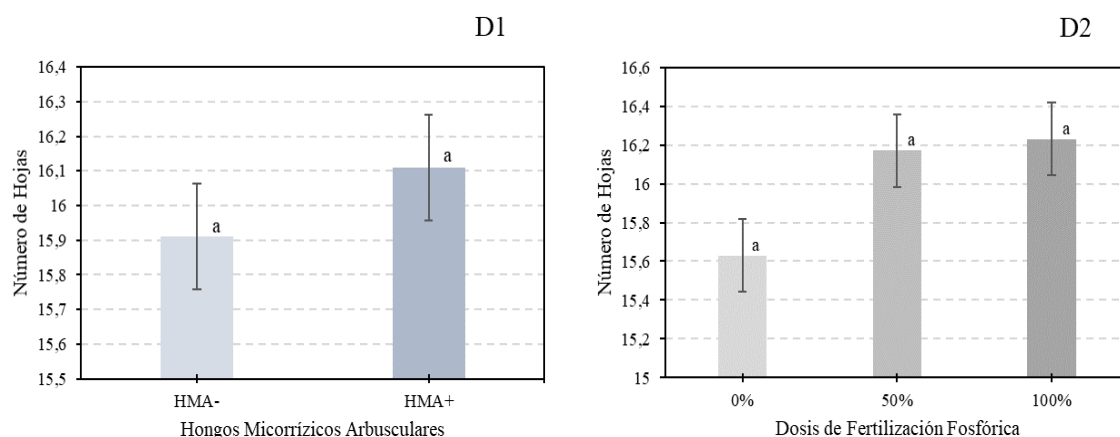


Figura 9. Número de hojas de plantas de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfatada (0%, 50%, 100%) (2) evaluadas a los 14 (A), 28 (B), 42 (C) y 56 (C) días después de la emergencia de las plantas. Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí según el test de Tukey ($p > 0.05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.

3.2 Efectos en los parámetros productivos

El análisis de varianza (Tabla 8) de las variables productivas mostró que tanto el número de mazorcas (NM) como el rendimiento productivo (RP) no presentaron diferencias significativas de HMA, P o HMA-P ($p > 0.05$). Los coeficientes de variación fueron de 9.28 (NM) y 15.72 (RP), indicando una aceptable uniformidad experimental.

Tabla 8. Resumen ANOVA de los parámetros productivos número de mazorcas (NM) y rendimiento productivo (RP) del cultivo de maíz criollo (*Zea mays* L.).

VARIABLES PRODUCTIVAS			
FV	GL	SQ	p>valor
N° de Mazorcas			
HMA	1	0.0022	0.7121 ^{ns}
F.F	2	0.0578	0.1983 ^{ns}
HMA *F.F	2	0.0578	0.1983 ^{ns}
Error	12	0.1867	
CV%		9.28	
Media general		1.3444	
Rendimiento Productivo			
HMA	1	0.0118	0.5392 ^{ns}
F.F	2	0.2222	0.0534 ^{ns}
HMA *F.F	2	0.0033	0.9450 ^{ns}
Error	12	0.3531	
CV%		15.72	
Media General		1.0911	

HMA=Hongos Micorrizicos Arbusculares; F.F.=Fertilización Fosfórica; CV=Coefficiente de variación; SQ= Suma de cuadrado; ns= No significativo.

3.2.1 Número de mazorcas por planta (NM)

El número promedio de mazorcas fue similar entre los tratamientos. Las diferencias numéricas muestran las plantas que no fueron inoculadas obtuvieron un mayor NM a comparación de las que fueron inoculadas y el 50% de P superó levemente al 0% y 100%. Estas diferencias fueron leves y sin respaldo estadístico, por lo que no se puede atribuir un efecto concreto a ninguno de los factores.

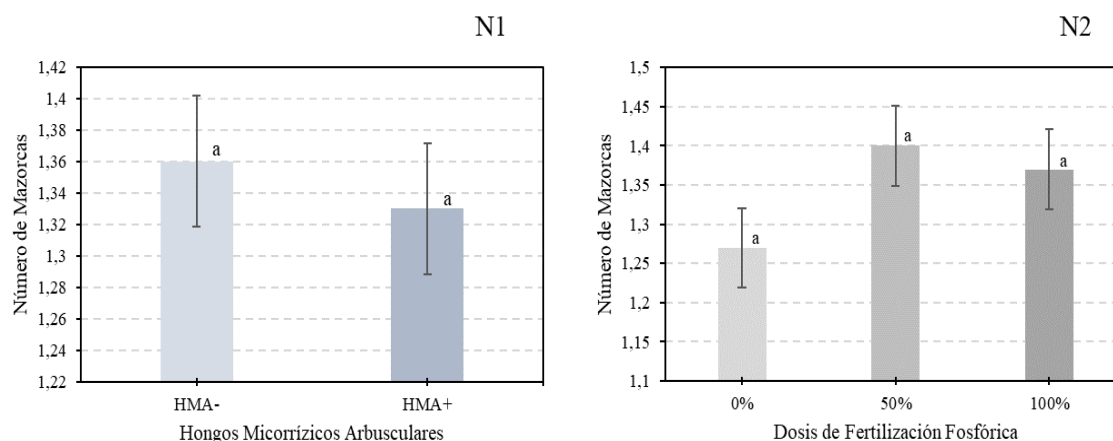


Figura 10. Promedio de número de mazorcas de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfatada (0%, 50%, 100%) (2). Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre si según el test de Tukey ($p > 0.05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.

3.2.2 Rendimiento

El rendimiento no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$), sin embargo, las plantas con HMA tuvieron un leve incremento en el rendimiento a comparación de las no inoculadas, y el 100% de P mostró el mayor valor dentro de los niveles de P (0% y 50%). El efecto de la fertilización fosfórica presentó tendencia cercana a la significancia ($p = 0.053$) que sugiere una posible respuesta positiva a la disponibilidad de fósforo, la cual debería verificarse en futuros ensayos con mayor número de repeticiones.

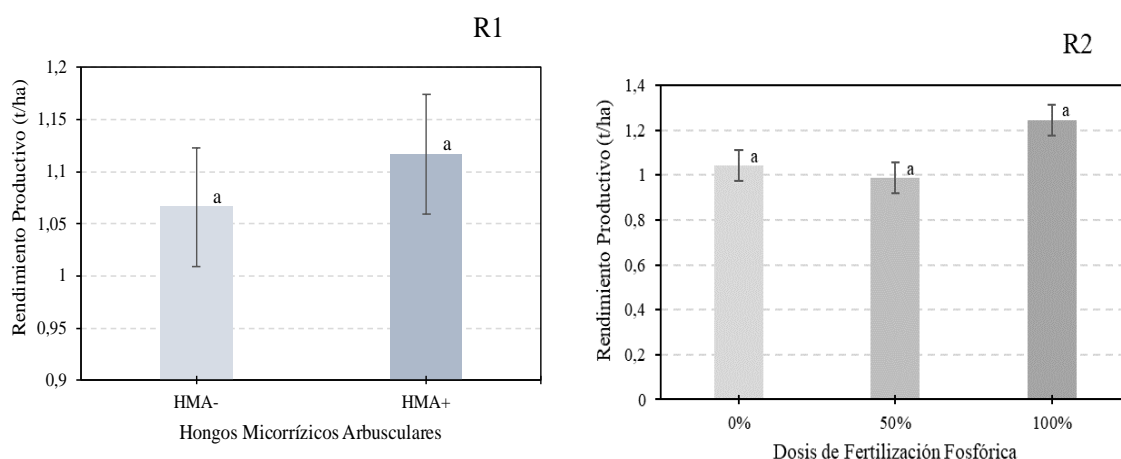


Figura 11. Rendimiento productivo de maíz bajo inoculación con HMA (+HMA) o no (-HMA) (1) y tres dosis de fertilización fosfórica (0%, 50%, 100%) (2). Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre si según el test de Tukey ($p > 0.05$). Barras representan el error padrón de la muestra para tres repeticiones.

3.3 Efectos en los parámetros micorrízicos

La eficiencia micorrízica (EM) fue positiva en los tres niveles de fósforo, con valores numéricamente mayores en la dosis intermedia de 50% (20.58), intermedio a 0% (10.45%) y mínimo a 100% (4.86). El patrón sugiere que concentraciones moderadas de fósforo podría favorecer la interacción simbiótica entre los HMA y la planta, mientras que a dosis elevadas tiende a reducir la dependencia micorrízica. Implicando prácticas a igualdad de condiciones, el uso de HMA+ 50% P podría permitir ahorro de fertilizante con desempeño igual o superior al testigo sin HMA, sujeto a confirmación con potencia estadística adecuada.

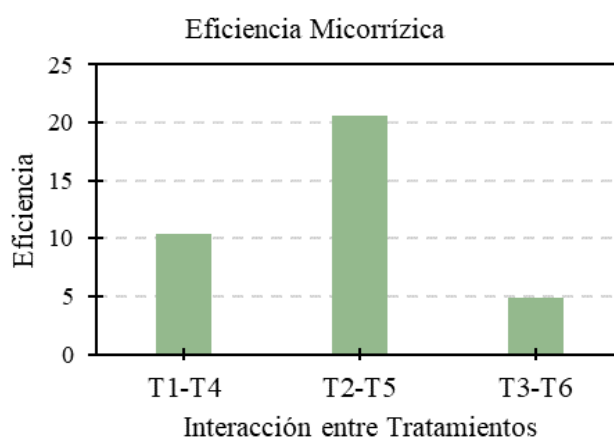


Figura 12. Eficiencia micorrízica de plantas de maíz inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares y tres dosis de fertilización fosfórica, con relación a los tratamientos no micorrizados.

Discusión

Efectos en los parámetros morfológicos

No se evidenciaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) en los parámetros morfológicos (altura de la planta, diámetro del tallo y número de hojas). Aunque se observaron ligeras diferencias numéricas, estas no fueron concluyentes. En condiciones de fertilidad moderada, los HMA tienden a expresar efectos más sutiles, que no siempre se traducen en diferencias visibles. Resultados similares fueron reportados por Begum *et al.* (2019), quién menciona que la respuesta morfológica al HMA depende del nivel de fósforo disponible, siendo más notable en suelos con diferencias moderadas.

No obstante, las plantas que fueron inoculadas y se les aplicó el nivel intermedio de fósforo (50%) obtuvieron un leve incremento en la altura de la planta, coincidiendo con lo expuesto por Bañuelos *et al.* (2017), que en su experimento evidencia que las altas dosis de fósforo provoca el deceso de las plantas. Ho y García. (2022), reportan que con una alta disponibilidad de fosforo se produce una inhibición en la colonización micorrízica en etapas tempranas y afectar negativamente el desarrollo vegetal.

En el diámetro del tallo y número de hojas se observado que a etapas tempranas el tratamiento sin HMA más 50% de fósforo presentaron valores ligeramente superiores. Pérez *et al.* (2021), en su investigación reportaron que no encontró diferencia de importancia entre plantas inoculadas y no inoculadas con relación al diámetro del tallo. Respecto a los niveles de fósforo, los resultados concuerdan con Herrera *et al.* (2016), quien tampoco registraron diferencias estadísticas significativas. No obstante, señalan que a dosis bajas favorecen la absorción de este elemento y el desarrollo de la acción micorrízica, lo que sugiere que el nivel moderado de fósforo puede optimizar la eficiencia del hongo en la captación de nutrientes. Sin embargo, sigue existiendo la necesidad de realizar la aplicación de este elemento, dado que el fósforo no es producido sino solo transportado por el hongo.

En la última toma de datos a los 56 DDE se observó que las plantas con HMA influyeron en el incremento del número de hojas, Padrón *et al.* (2020), en su estudio reporta que los HMA influyeron de manera positiva en el número de hojas en plantas de *Canavalia ensiformis*. Cartaya *et al.* (2024), aporta mencionando que los HMA ayudan en el incremento del número de hojas en plantas de girasol, a pesar de presentar efectos tóxicos por cadmio. Esto sugiere una tendencia biológica positiva, posiblemente asociada a una mejor exploración del suelo y absorción de nutrientes esenciales como fósforo y nitrógeno. En este sentido, los resultados son coherentes con la literatura ya que la inoculación no siempre

genera una diferencia significativa, pero puede contribuir a una mayor estabilidad fisiológica.

Efecto en los parámetros productivos

En los parámetros productivos (número de mazorcas y rendimiento productivo) no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, se observó una leve mejora en el rendimiento con HMA y 100% de fósforo, alcanzando un valor de $p = 0.053$, cercano al umbral de significancia en los efectos de fertilización fosfatada. Investigación realizada por Arroyo *et al.* (2019), manifiestan que los rendimientos con las plantas micorrizadas fueron mayores en comparación a las no micorrizadas, por otra parte, los resultados coinciden con las investigaciones por Begum *et al.* (2019) quienes observaron incrementos no significativos en el rendimiento del maíz inoculado con HMA bajo dosis intermedias de fósforo.

Las plantas que no fueron inoculadas y se les aplicó un nivel intermedio de fertilización (50%) tuvieron un leve incremento en el número de mazorcas, presentando un efecto contrario a lo expuesto por Navarrete *et al.* (2020), quienes registraron que las plantas inoculadas con HMA obtuvieron un mayor número de mazorcas que las no inoculadas. Estos resultados refuerzan la hipótesis de que a dosis elevadas de fósforo puede ocasionar la inhibición de la colonización micorrízica como menciona Trejo *et al.* (2020).

Efecto en los parámetros micorrízicos

La eficiencia micorrízica fue favorable en los tres niveles de fertilización fosfórica, con valores de 10.45% (0%), 20.58% (50%) y 4.86% (100%). Estos patrones confirman una interacción positiva en la simbiosis micorrízica, siendo más significativa en el nivel intermedio de fósforo (50%), esto se puede explicar porque en condiciones moderadas o deficientes de fósforo el maíz incrementa su colonización micorrízica y la transferencia de carbohidratos favoreciendo el intercambio de nutrientes (Martín and Rivera, 2015). Por el contrario, la disminución de su eficacia a dosis altas se debe a la reducción de las colonias, coincidiendo con la investigación por Souza *et al.* (2023) que al aplicar dosis altas de fósforo obtuvieron una tendencia negativa en la colonización radicular, indicando que la colonización disminuye, reflejando un déficit en su eficiencia micorrízica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

No se identificó una dosis fosfórica con diferencia significativa para maximizar el rendimiento del maíz inoculado con HMA. Sin embargo, el tratamiento HMA + 50% P permitió mantener rendimientos comparables al 100% de P, indicando que la inoculación podría reducir el uso de fertilizante fosfatado sin afectar la producción.

La inoculación con hongos micorrízicos arbusculares no generó diferencia significativa en las variables morfológicas, pero se evidenció tendencias positivas en el crecimiento y desarrollo del maíz, especialmente con la aplicación del 50% de fertilización fosfórica.

La dosis intermedia de fósforo (50%) presentó la mayor eficiencia micorrízica (20.6%), confirmando que los niveles moderados de fósforo favorecen la simbiosis hongo-planta y mejoran la absorción de nutrientes.

Los resultados rechazan la hipótesis, ya que la inoculación micorrízica y la fertilización fosfórica no influyen en el crecimiento y rendimiento del maíz criollo en el Recinto Río Nuevo.

Recomendaciones

- Optimizar la fertilización fosfórica a una dosis intermedia con la presencia de HMA, para compensar el fósforo extraído por la planta.
- Para futuras investigaciones, se recomienda realizar ensayos a mayor escala y con mayor número de repeticiones, incluyendo análisis de colonización radical, absorción de fósforo y caracterización microbiológica del suelo, para validar la eficiencia del uso combinado de HMA y fertilización reducida.
- Evaluar un gradiente más amplio de fósforo para identificar con mayor precisión el punto óptimo de sinergia entre P-HMA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. *Cultivo. Trop.* 30, 00–00.
- Afif, E., Palencia, P., Oliveira, J.A., 2013. Aplicación de fuentes de fósforo al suelo en diferentes cortes de césped cultivado. *Agrociencia* 47, 553–566.
- Ahammed, G.J., Hajiboland, R. (Eds.), 2024. *Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Higher Plants: Fundamentals and Applications*. Springer Nature Singapore, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-99-8220-2>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 2006. *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.
- Álvarez, E., Carreón, A., San Vivente, A., 2011. Haciendo milpa: La protección de las semillas y la agricultura campesina. [WWW Document]. ResearchGate. URL https://www.researchgate.net/publication/265728764_Haciendo_milpa_La_proteccion_de_las_semillas_y_la_agricultura_campesina (accessed 10.24.25).
- Arcot, Y., Medina, R., Bernal, J., Cisneros, L., Akbulut, M., 2024. *Integrated Pest Management: An Update on the Sustainability Approach to Crop Protection*. ResearchGate. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628>
- Arroyo, J., Estrella, G., Cabrales, E., 2019a. Efecto de la micorrización y la fertilización fosfórica en el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en suelos arenosos de montería. *Suelos Ecuat.* 49, 9–18.
- Arroyo, J., Estrella, G., Cabrales, E., 2019b. Efecto de la micorrización y la fertilización fosfórica en el rendimiento del maíz (*Zea mays* L.) en suelos arenosos de montería. *Suelos Ecuat.* 49, 9–18.
- Avila, Jose, Avila, Jesus, Martinez, D., Rivas, F., 2014. El cultivo de maíz generalidades y síntomas de producción en el noroeste 107.
- Bañuelos, J., Conde, W.S., Gavito, M.E., Aguilar, D.T., Camara, S., Ortíz, R.M., Abud, Y.C., 2017. Efecto de diferentes niveles de fósforo en aguacate inoculado con hongos micorrízicos arbusculares. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8, 1509–1520.
- Barbieri, P.A., Echeverría, H.E., Rozas, H.R.S., 2018. Métodos de colocación de fósforo en trigo y maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *RIA Rev. Investig. Agropecu.* 44, 301–308.
- Barraco, M., Díaz, M., Álvarez, C., Scianca, C., 1970. Estrategias de fertilización fosfatada en una secuencia agrícola bajo cero labranza.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N., Zhang, L., 2019. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Front. Plant Sci.* 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Berrocal, E.P., Durango, J.M., Barrera, J.L., Diaz, B., 2009. Evaluación de formas de fósforo en suelos cultivados con plátano. *Acta Agronómica* 58, 152–159.
- Blessing, D.M., Hernandez, G.T., 2009. Comportamiento de variables de crecimiento y rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) var. NB-6 bajo prácticas de fertilización, orgánica y convencional en la Finca El Plantel 2007-2008 (engineer). Universidad Nacional Agraria, UNA.

- Boyno, G., Demir, S., 2022. Plant-mycorrhiza communication and mycorrhizae in inter-plant communication. ResearchGate. <https://doi.org/10.1007/s13199-022-00837-0>
- Caballero, E.M.C., Durango, E.M.P., Pérez, D.J., 2023. Nutritional content of pastures with phosphate fertilization in 2 calcareous soils. *Rev. Caatinga* 36, 87–95. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n110rc>
- Carranza, L.F.S., Zamora, D.V.V., Uquillas, C.A.M., Seme, J.Y.V., 2023. Respuesta agronómica de un híbrido de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes densidades de siembra. *Cienc. Tecnol.* 16, 17–24. <https://doi.org/10.18779/cyt.v16i2.661>
- Carrillo, S.M., Puente, J., Montes, S., Cruz, R., Carrillo, S.M., Puente, J., Montes, S., Cruz, R., 2022. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botánica Mex.* <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Cartaya, O.E., Mujica, Y., Blanco, Y., 2024. Influencia de hongos micorrícicos en el crecimiento y la adsorción de cadmio en girasol (*Helianthus annuus* L.). *Agron. Mesoam.* 35. <https://doi.org/10.15517/am.2024.57500>
- Center for International Forestry Research, 2012. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT): Annual Report 2012.
- Cerozi, B. da S., Fitzsimmons, K., 2016. The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. *Bioresour. Technol.* 219, 778–781. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.079>
- Chu, E.Y., Yared, J.A.G., Maki, H.J.-I.O., 2004. Efeitos da inoculação micorrízica e da adubação fosfatada em mudas de *Vochysia maxima* Ducke. *Rev. Árvore* 28, 157–165. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000200001>
- Cochea, E.D., 2025. Micorrizas, elicitores y bioestimulantes en hortalizas: funciones y aplicaciones en sistemas de producción agrícola sostenible en América Latina.
- Coral, J.V., 2017. Caracterización morfológica y agronómica de dos genotipos de maíz (*Zea mays* L.) En la zona media de la parroquia Malchinguí.
- Cruz, O., 2017. El cultivo de maíz, manual para la producción del cultivo de maíz en Honduras 36.
- Cuevas, F.A., 2025. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. <https://doi.org/10.15468/rnd0ec>
- FAO, IFA, 1992. Los fertilizantes y su uso 86. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d81ae4cf-54e9-421d-8bac-d36719b2eaf0/content>
- Fernández, M.T., 2007. Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA Sobre Los Deriv. Caña Azúcar* 41, 51–57.
- 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>
- Figueiredo, A.F., Boy, J., Guggenberger, G., 2021. Common Mycorrhizae Network: A Review of the Theories and Mechanisms Behind Underground Interactions. *Front. Fungal Biol.* 2. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2021.735299>
- Figueroa, T.F., Quimis, A.D.P., Morán, J.M., Cabrera, J.G., Ortega, J.G., 2022. Caracterización morfológica y etnobotánica del maíz criollo (*Zea mays* L.) en la

- comuna sancán, Ecuador. UNESUM - Cienc. Rev. Científica Multidiscip. 6, 101–116. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v6.n2.2022.631>
- García, F., 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz 19.
- González, M.C.A., Gutiérrez, M.C., Wright, S., 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad 22, 9.
- González, N., Silos, H., Estrada, J.C., Chávez, J.A., Tejero, L., 2016. Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7, 669–680.
- Harris, C., Esqueda, M., Valenzuela, 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.
- Herrera, E.M.C., Toro, M., Lopez, D., 2016. Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico, Venezuela. Temas Agrar. 21, 21–31. <https://doi.org/10.21897/rta.v21i2.898>
- Ho, T., García, J.M., 2022. Molecular Regulation of Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. Int. J. Mol. Sci. 23, 5960. <https://doi.org/10.3390/ijms23115960>
- Kumar, A., Dames, J.F., Gupta, A., Sharma, S., Gilbert, J.A., Ahmad, P., 2015. Current developments in arbuscular mycorrhizal fungi research and its role in salinity stress alleviation: a biotechnological perspective. Crit. Rev. Biotechnol. 35, 461–474. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.899964>
- Lima, J.F., 2021. Evaluación agronómica del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), de la raza canguil rojo en la granja experimental La Pradera, Chaltura (bachelor Thesis). Universidad Técnica del Norte.
- Martín, G.M., Rivera, R., 2015. Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. Cultiv. Trop. 36, 34–50.
- Mundo Verde, 2024. Ecofungi. URL <https://mundoverde.com.ec/ecofungi/> (accessed 11.17.25).
- Navarrete, E.N.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. J. Sci. Res. 5, 135–155.
- Oñate, L.A., 2015. Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) var. Blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos.
- Padrón, L., Arias, R.M., Medel, R., De la Cruz, Y., 2020. Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y una cepa fosfato solubilizadora en *Canavalia ensiformis* (Fabaceae). Bot. Sci. 98, 278–287. <https://doi.org/10.17129/botsci.2476>
- Pavinato, P.S. [UNESP, 2007. Dinâmica do fósforo no solo em função do manejo e da presença de resíduos em superfície.
- Perero, W.S., 2021. Respuesta del híbrido de maíz (*Zea mays*), a la aplicación de fertilizantes complejos en Río Verde, Santa Elena.

- 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.
- Pincay, L.R., 2024. Densidad poblacional y fertilización nitrogenada en la producción sostenible de maíz en el valle del río Javita.
- Pinos, N.Q., Louro Berbara, R.L., Elias, S.S., Van Tol De Castro, T.A., García, A.C., 2019. Combination of Humic Substances and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Affecting Corn Plant Growth. *J. Environ. Qual.* 48, 1594–1604. <https://doi.org/10.2134/jeq2019.01.0035>
- Plenchette, C., Fortin, J.A., Furlan, V., 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. *Plant Soil* 70, 211–217. <https://doi.org/10.1007/BF02374781>
- Rashad, Y., Aseel, D., Hammad, S., Elkesh, A., 2020. Rhizophagus irregularis and Rhizoctonia solani Differentially Elicit Systemic Transcriptional Expression of Polyphenol Biosynthetic Pathways Genes in Sunflower. *Biomolecules* 10, 379. <https://doi.org/10.3390/biom10030379>
- Ruiz, M., Santana, Y., Muñoz, Y., Yoan, A., Benitez, M., Vishnu, B., Peña, Y., 2015. Simbiosis de micorrizas arbusculares en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones de inundación y secano. *Acta Agronómica* 64, 227–233. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.43087>
- Samylle, K., Freitas, C., Pereira, M., Franca, C., Carvalho, N., Cabral, F., 2024. Fósforo no sistema solo-planta: uma revisão. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.55905/oelv22n6-184>
- Sawers, R.J.H., Svane, S.F., Quan, C., Grønlund, M., Wozniak, B., Gebreselassie, M.-N., González-Muñoz, E., Chávez Montes, R.A., Baxter, I., Goudet, J., Jakobsen, I., Paszkowski, U., 2017. Phosphorus acquisition efficiency in arbuscular mycorrhizal maize is correlated with the abundance of root-external hyphae and the accumulation of transcripts encoding PHT1 phosphate transporters. *New Phytol.* 214, 632–643. <https://doi.org/10.1111/nph.14403>
- Sherbeny, T.M.S., Mousa, A.M., Sayed, E.-S.R., 2022. Use of mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization to improve the yield of onion (*Allium cepa* L.) plant. *Saudi J. Biol. Sci.* 29, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.094>
- Siqueira, J.O., Hubbell, D.H., Valle, R.R., 1984. Efeito do fósforo na formação da simbiose micorrízica vesicular-arbuscular. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 1465–1474. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1984.v19.16241>
- Solorio, B., Martínez, Á.R., López, G.A., López, C.A., Arteaga, T.T., 2016. La biomasa de los sistemas productivos de maíz nativo (*Zea mays*) como alternativa a la captura de carbono. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 32, 361–367. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.10>
- Souza, F., Garé, L.M., Garcia, N.F.S., Andrade, M.S.R., Martins, J.T., Silva, P.H.G., Meireles, F.C., Souza, L.Z., Nogales, A., Rigobelo, E.C., Arf, O., 2023. Effect of mycorrhizae on phosphate fertilization efficiency and maize growth under field conditions. *Sci. Rep.* 13, 3527. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30128-7>

- Tapia, Y., García, F., 2013. La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: Una revisión crítica. *Terra Latinoam.* 31, 231–242.
- Tinoco, D., Bayuelo, J.S., 2021. Formas y distribución de fósforo en un Andisol con sistemas contrastantes de uso del suelo del centro de México. *Terra Latinoam.* 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.881>
- Tisdall, J.M., Oades, J.M., 1982. Organic Matter and Water-stable Aggregates in Soils. *ResearchGate*.
- Trejo, D., Bañuelos, J., Gavito, M.E., Sangabriel-Conde, W., 2020. Altas dosis de fertilización fosforada reducen la colonización micorrízica y biomasa de la planta de tres variedades de piña. *Terra Latinoam.* 38, 853–858. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.701>
- Wang, F., Feng, G., 2021. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Interactions in the Rhizosphere, in: *ResearchGate*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6125-2_11
- Watson, W., Rivera, W., 2025. Comunicación en las asociaciones simbióticas: mecanismos entre hongos micorrízicos arbusculares, plantas y organismos edáficos*. *Agron. Mesoam.* 36.
- Xie, X., Hu, W., Fan, X., Chen, H., Tang, M., 2019. Interactions Between Phosphorus, Zinc, and Iron Homeostasis in Nonmycorrhizal and Mycorrhizal Plants. *Front. Plant Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01172>

ANEXOS



Figura 1A. Muestra del estudio de suelo.



Figura 2A. Levantamiento del cercado.



Figura 3A. Limpieza del terreno.



Figura 4A. Instalación de cintas de riego.



Figura 5A. Delimitación de parcelas.



Figura 6A. Insumos de fertilización.



Figura 7A. Preparación de dosis P.



Figura 8A. Preparación de dosis HMA.



Figura 9A. Siembra y fertilización.



Figura 10A. Inoculación.



Figura 11A. Letreros de los tratamientos.



Figura 12A. Segunda fertilización.



Figura 13A. Marcaje para platas evaluadas.

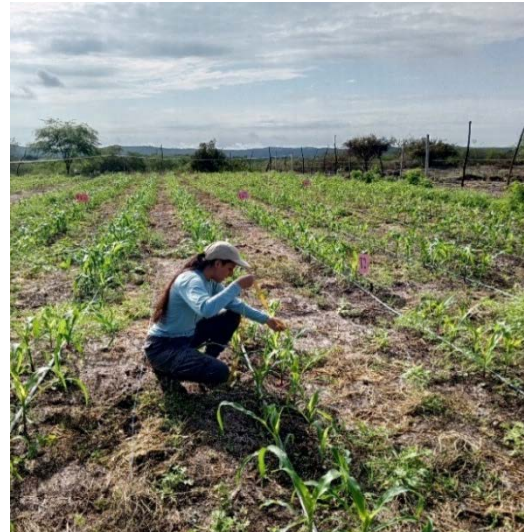


Figura 14A. Toma de datos.

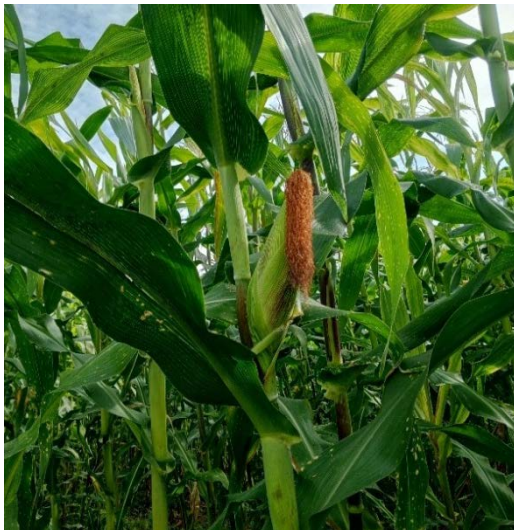


Figura 15A. Mazorca.



Figura 16A. Desgrane del maíz.

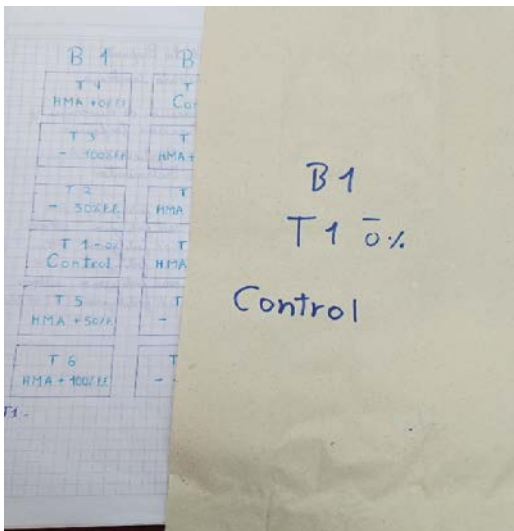


Figura 17A. Rotulación de fundas.



Figura 18A. Pesaje del grano húmedo.



Figura 25A. Conteo de 200 granos.



Figura 26A. Secado de 200 granos.