

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**MEJORAMIENTO AL SUELO Y AL CULTIVO DE MAÍZ CON UN APORTE
NUTRIMENTAL DE FÓSFORO A TRAVES DE LA ASOCIACIÓN SIMBIÓTICA ENTRE
HONGOS MICORRIZICOS EN UN ULTISOL DE LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.**

ALIS MONTENEGRO

4-807-1681

DAVID,

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2025

MEJORAMIENTO AL SUELO Y AL CULTIVO DE MAIZ CON UN APORTE NUTRIMENTAL DE FÓSFORO A TRAVÉS DE LA ASOCIACIÓN SIMBIÓTICA ENTRE HONGOS MICORRIZICOS EN UN ULTISOL DE LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.

TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERÍA EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE

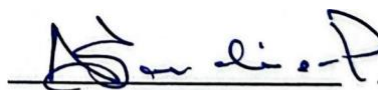
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO:

PROF. M.Sc. ALEXIS SAMUDIO



DIRECTOR

PRFA. M.Sc. ANA M, VILLARREAL



ASESOR

PROF. M.Sc. FÉLIX GUERRA



ASESOR

DAVID, CHIRIQUÍ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2025

AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme lograr este trabajo con una buena experiencia donde desarrolle conocimientos y a la vez aprender nuevas prácticas con mucha sabiduría en el ámbito ambiental y agrícola dentro de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, gracias a la universidad por permitirme ser una profesional en lo que tanto me apasiona; defender y hacer cambios con nuevas técnicas y practicas agroecológicas.

Gracias a mi madre, la señora Margarita García por ser ese apoyo incondicional en cada una de mis decisiones y consejera en mis pasos profesionales y personales, por motivarme a enfrentar cada obstáculo durante mi carrera y por su amor de cada día que es un impulso en salir adelante y poder cumplir sueños junto a ella.

Gracias a mi padre, el señor Richard Montenegro quien me ayudo a lograr este triunfo por apoyarme siempre en mi carrera, motivo por superarme cada día y poder darles algún día todos sus esfuerzos.

Gracias a mi tía, la señora Zoila García quien apporto su amor y confianza en mi carrera y en mí como profesional.

Agradezco a mis hermanos Jennifer, Anyelina y Richard y mi sobrina Kendrúa por estar presentes con su amor y unión familiar motivando cada día salir adelante.

A mi pareja, el Prof. Nondiel Pitti gracias por su apoyo y su amor; es una persona muy especial quien me acompañó en el proceso de mi carrera y el trabajo final con su gran sabiduría.

Gracias a mi director, el Prof. Alexis Samudio por asesorar y orientar cada parte de este trabajo final con sus conocimientos. Deseo muchas bendiciones a cada uno de los miembros que fueron pilares de mi culminación con éxito

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por permitirme estar con salud, por brindarme sabiduría y culminar todo con mucho éxito. A mis padres por su amor y confianza; esta tesis es un tributo al esfuerzo y apoyo que me brindaron a lo largo de este viaje académico, profesional. Sin ellos no hay motivación para cada objetivo propuesto, los amo mucho.

Dedico a mis hermanos por ser base de mi esfuerzo y mi triunfo, por compartir alegrías y momentos lindos en familia.

Dedico mi tesis a una persona muy especial, Nondiel Pitti quien se convirtió a lo largo de los años en un confidente, un amigo y mi pareja demostrando su amor, compartiendo su sabiduría e inteligencia cada día, por motivarme y creer en mí, en que era capaz de salir adelante con mucha fortaleza y dedicación para tener éxitos.

Dedico a cada miembro de mi familia este trabajo con todo mi corazón como muestra del gran amor que les tengo, por estar presentes y motivarme, los quiero y amo mucho a todos.

MEJORAMIENTO AL SUELO Y AL CULTIVO DE MAÍZ CON UN APORTE NUTRIMENTAL DE FÓSFORO A TRAVES DE LA ASOCIACIÓN SIMBIÓTICA ENTRE HONGOS MICORRIZICOS EN UN ULTISOL DE LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ.

RESUMEN

En la agricultura los hongos micorrícicos actúan como una extensión en el sistema radicular de la planta y tienen un rol fundamental ecológicamente; en el estudio se realizó una asociación simbiótica entre el cultivo de maíz y los micelios incorporados en un sustrato con cascarilla de arroz y suelo, mejoraron la absorción del nutrimento fósforo en el suelo y a la vez a las plantas a través de su sistema radicular. Este proyecto fue llevado a cabo en la provincia de Chiriquí utilizando suelos ultisoles pobres del nutrimento fósforo. El objetivo de esta investigación fue evaluar la disponibilidad de fósforo en el suelo y la formación de hongos micorrizas con un diseño experimental de cinco tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones; conformado en T1- (0) como testigo; T2-10%; T3-20%; T4-30%; T5-40% de sustrato. Por cada plantón se utilizó un peso total de 5 kilogramos de la mezcla heterogénea; se le dio un seguimiento de seis semanas y al recolectar las muestras se analizó el peso seco y fresco en la parte vegetativa y en los sistemas radiculares. Arrojó como resultados un mayor desarrollo en el material vegetativo y sistema radicular de los tratamientos N°3 Y N°4 con la relación simbiótica al incorporar los hongos micorrícicos respecto al tratamiento testigo (T1). Se identificó que la variable raíz fresca (rf), fue la única que tuvo estadísticamente diferencia significativa por el factor representante ($p=0.0044$), que es menor que ($\alpha=0.05$). Se evaluó que el tratamiento 3 no fue el que más fósforo extrajo, sino el tratamiento 2, pero si fue el que mejor aprovecho el nutrimento residual intermedio (22.30 ppm) para construir la estructura de la planta. Se obtuvo un coeficiente de variación alto en todas las variables dependientes consecuencia de los factores climáticos como las precipitaciones y alta humedad de las últimas semanas en las que se realizó el estudio.

Palabras claves: Micorrícicos, Relación simbiótica, Sustrato, Hifas, Radicular.

IMPROVEMENT TO THE SOIL AND THE CULTIVATION OF CORN WITH A NUTRIMENTAL CONTRIBUTION OF PHOSPHORUS THROUGH THE SYMBIOTIC ASSOCIATION BETWEEN MYCORRHIZIAL FUNGI IN AN UITISOL OF THE PROVINCE OF CHIRIQUÍ.

ABSTRACT

In agriculture, mycorrhizal fungi act as an extension of the plant's root system and play a fundamental ecological role. This study established a symbiotic association between a corn crop and mycelia incorporated into a substrate of rice hulls and soil. This improved phosphorus absorption in the soil and, consequently, by the plants through their root systems. This project was carried out in the province of Chiriquí using Ultisol soils deficient in phosphorus. The objective of this research was to evaluate phosphorus availability in the soil and the formation of mycorrhizal fungi using an experimental design with five treatments, each with four replicates: T1 (0%) as a control; T2 (10%); T3 (20%); T4 (30%); and T5 (40%) of the substrate, a total of 5 kilograms of the heterogeneous mixture was used for each seedling. The seedlings were monitored for six weeks, and upon collection, the dry and fresh weight of the vegetative parts and root systems was analyzed. The results showed greater development in the vegetative material and root systems of treatments 3 and 4, which incorporated mycorrhizal fungi, compared to the control treatment (T1). The fresh root (rf) variable was identified as the only one that showed a statistically significant difference ($p=0.0044$), which is less than ($\alpha=0.05$). Treatment 3 did not extract the most phosphorus; that distinction belonged to treatment 2. However, treatment 3 was the one that best utilized the intermediate residual nutrient (22.30 ppm) to build the plant structure. A high coefficient of variation was obtained in all dependent variables as a consequence of climatic factors such as rainfall and high humidity in the last weeks in which the study was carried out.

Keywords: Mycorrhizal, Symbiotic relationship, Substrate, Hyphae, Root.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|--------|
| AGRADECIMIENTO | III |
| DEDICATORIA | IV |
| RESUMEN | V |
| ABSTRACT | VI |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | IX |
| ÍNDICE DE TABLAS | X |
| ÍNDICE DE ANEXOS | XI |
| 1. INTRODUCCIÓN. | - 1 - |
| 1.1. ANTECEDENTES | - 2 - |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | - 4 - |
| 1.3. OBJETIVOS | - 5 - |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | - 5 - |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS | - 5 - |
| 1.4. HIPÓTESIS | - 6 - |
| 1.5. ALCANCES | - 6 - |
| 1.6. LIMITACIONES | - 7 - |
| 2. MARCO TEÓRICO | - 8 - |
| 2.1. HONGOS MICORRICICOS | - 8 - |
| 2.2. HONGOS MICORRICICOS COMO ALTERNATIVA EN EL CULTIVO | - 8 - |
| 2.3. TIPOS DE HONGOS MICORRICICOS | - 8 - |
| 2.4. INTERACCIÓN ENTRE LOS MICORRÍCICOS Y EL CULTIVO DE MAIZ. | - 9 - |
| 2.5. IMPORTANCIA DE LA SIMBIOSIS DE LOS HONGOS MICORRICICOS. | - 10 - |
| 2.6. ETAPAS DE LA SIMBIOSIS EN LOS HONGOS ENDOMICORRIZAS | - 10 - |
| 2.7. SUELOS ULTISOLES | - 11 - |
| 2.8. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MAÍZ | - 11 - |
| 3. MARCO METODOLÓGICO | - 13 - |
| 3.1. UBICACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS | - 13 - |
| 3.2. TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS. | - 13 - |
| 3.2.1. PARÁMETROS A EVALUAR | - 14 - |

| | |
|--|--------|
| TABLA 2. PROPORCIONES DE SUELO Y SUSTRATO POR TRATAMIENTO. | - 14 - |
| 3.3. RECOLECCIÓN DE DATOS | - 15 - |
| 3.3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS EN EL PROYECTO | - 15 - |
| TABLA 3. MEDICIÓN DEL MATERIAL VEGETATIVO | - 19 - |
| 4. RESULTADOS | - 21 - |
| 4.1. OBTENCIÓN DE PESO FRESCO Y SECO DEL MATERIAL VEGETATIVO Y SISTEMA RADICULAR. | - 21 - |
| 4.2. SECADO DE LAS MUESTRAS DE SUELO. | - 21 - |
| 4.3. BASE DE DATOS | - 22 - |
| 4.4. SISTEMA RADICULAR | - 23 - |
| 4.5. GRÁFICA DEL PESO DE LA MATERIA VEGETATIVA | - 23 - |
| 4.6. GRÁFICA DEL PESO DEL SISTEMA RADICULAR | - 24 - |
| 4.7. GRÁFICA DE FÓSFORO POR REPETICIONES | - 25 - |
| 5. CONCLUSIONES | - 30 - |
| 6. RECOMENDACIONES | - 31 - |
| 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | - 32 - |
| 8. ANEXOS | - 35 - |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|---------------|
| FIGURA 1. PREPARACIÓN DE SUSTRATO Y SUELO POR TRATAMIENTO..... | - 16 - |
| FIGURA 2. APLICACIÓN DE FERTILIZANTE SOLUBLE | - 18 - |
| FIGURA 3. CORTE Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS POR REPETICIÓN | - 20 - |
| FIGURA 4. PESO PROMEDIO DE LA MATERIA FRESCA Y SECA | - 24 - |
| FIGURA 5. PESO PROMEDIO DE LA PARTE RADICULAR FRESCA Y SECA..... | - 24 - |
| FIGURA 6. PESO PROMEDIO DE FÓSFORO (PPM) POR REPETICIONES..... | - 25 - |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|---------------|
| TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO DE MAÍZ VARIEDAD GUARARÉ..... | - 12 - |
| TABLA 2. PROPORCIONES DE SUELO Y SUSTRATO POR TRATAMIENTO. | - 14 - |
| TABLA 3. GERMINACIÓN POR TRATAMIENTOS..... | - 16 - |
| TABLA 4. EVALUACIÓN DEL TALLO Y RAMIFICACIÓN DE CADA PLANTA. | - 19 - |
| TABLA 5. VARIABLE DEPENDIENTE DE PESO FRESCO (PF) Y PESO SECO (PS). - | 26 - |
| - | |
| TABLA 6. VARIABLE DEPENDIENTE DE RAÍZ FRESCA (RF) Y RAÍZ SECA (RS).... | - 27 - |
| TABLA 7. VARIABLE DEPENDIENTE PARA FÓSFORO (P)..... | - 29 - |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. PREPARACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS DEL PROYECTO. - 35 -

ANEXO 2. PRUEBAS DEL LABORATORIO Y RECOLECCIÓN DE DATOS. - 37 -

1. INTRODUCCIÓN.

Los hongos micorrícicos han estado en una relación simbiótica desde hace millones de años dando una conexión donde aumentan el porcentaje de germinación, protegen el cultivo de enfermedades, mejoran la eficiencia de toma de fertilizantes y minerales que se encuentran en el suelo. Las esporas germinan en el suelo y se conectan hasta la raíz más cercana de la planta así penetra y crea una red dentro de la célula de la raíz, otorgando una protección solida contra patógenos que atacan la planta. A este respecto, (Corrales, 2007) señala que, “el cultivo de maíz tiene deficiencia de absorber de manera natural el fósforo, los organismos micorrícicos almacenan y como forman parte de las raíces lo intercambiaran”.

Debido a la alta demanda que se enfrenta en el país que involucra diferentes factores, los productores se ven en la necesidad de gastar en insumos como fertilizantes y tecnologías; sin embargo, esto genera consecuencias en la salud de las personas, como señala la (OPS, SF), “consumimos productos con químicos dañinos que provocan enfermedades y a la vez contaminación al suelo acabando con la fauna y flora macro y microbiana”.

Como se indica, los hongos micorrícicos pueden disminuir estas problemáticas ambientales evitando las contaminaciones en los ecosistemas acuáticos, terrestres y en la salud humana con una alimentación segura sin productos con altos porcentajes de toxicidad. Puede suplir los requerimientos nutrimentales no solo del fósforo sino también de otros elementos esenciales para una buena calidad en la producción.

1.1. ANTECEDENTES

Los hongos micorrizas son una alternativa eficaz para reducir y controlar la destrucción del suelo superficial y subterráneo. En la región de San Martín, Perú, se realizó un proyecto basado en un experimento con el efecto de los hongos micorrícicos arbusculares y compost en la absorción de cadmio en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), dando como resultados que la inoculación de hongos micorrícicos arbusculares en combinación con compost tuvo beneficios en la reducción del cadmio (Cd) y éste afectó el contenido de clorofila y nitrógeno en plantas de arroz. (Reyes, 2022)

En Chiapas, México, se realizó el proyecto basado en la diversidad de hongos micorrizas arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes. Como resultados el número de especies con abono verde/cultivo de cobertura superó en 50 por ciento al obtenido sin abono verde/cultivo de cobertura. Se concluyó que el abono verde/cultivo de cobertura y la inoculación con micorrícicos tuvieron un efecto positivo en la diversidad de especies de hongos micorrícicos arbusculares y en la colonización de la raíz, respectivamente. (Perez L. , 2012)

(Ramirez, 2001), mediante el seguimiento de cultivos experimentales en suelos ácidos de los Llanos Orientales, Colombia, se realizó un análisis de poblaciones de micorrícicos en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos durante un periodo de cinco años consecutivos (1997-2001), se evaluaron las poblaciones nativas de hongos micorrícicos arbusculares (MA) asociados con dos variedades de maíz: ICA- Sikuaní V-110 y la variedad regional criolla Clavito dando como resultados coeficientes significativos para todas las variables y se seleccionaron como variables predictivas principales el pH y la materia orgánica del suelo, que presentaron coeficientes significativos

para cinco y cuatro de los siete modelos establecidos, respectivamente. permitió la identificación confirmatoria de las esporas aisladas de los géneros *Glomus*, *Entrophospora* y *Gigaspora*. Además, mediante el uso de esta metodología se logró identificar la presencia del género *Glomus* en raíces de maíz altamente colonizadas.

Se realizó un estudio en el área experimental de Río Verde perteneciente a la provincia de Santa Elena, Ecuador el diseño empleado fue completamente al azar (DCA) con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Se usaron como inóculo sólido el producto comercial Huxtable-Abono Vivo Micorriza dando como resultados el análisis de varianza de los parámetros morfométricos evaluados en las plantas de maíz, de los 15 a los 40 días después de la emergencia de las plantas se observaron diferencias estadísticamente significativas en los momentos evaluados para todas las variables morfométricas. La evaluación de los tratamientos que contenían inóculo micorrízico sobresalió y ayudó a mejorar el nivel de crecimiento y desarrollo del cultivo del maíz. (Montenegro, 2021).

(Álvarez, 2022). Realizó un proyecto basado en determinar el inoculante micorrízico arbuscular más eficiente en el crecimiento y desarrollo de *Zea mays* L en un suelo gleysol vértico de Darién, República de Panamá. Materiales y Métodos: El experimento se realizó en condiciones de macetas de 5 kg de capacidad, repetido en dos ocasiones. Se evaluaron los inoculantes basados en las cepas *Funneliformis mosseae* (syn. *Glomus mosseae*), cepa INCAM 2; *Glomus cubense*, cepa INCAM 4 y *Rhizophagus irregularis* (syn. *Rhizoglomus irregulare*), cepa INCAM 11, en un diseño completamente aleatorizado y cinco repeticiones. Dando como resultados al realizar el análisis de componentes principales, las dos primeras componentes explicaron 85,8 y 99,1 % de la varianza total en la primera y segunda repetición del experimento, respectivamente. Además, los mayores valores de las variables evaluadas siempre se encontraron con la inoculación de la cepa INCAM2.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Panamá presenta una alta contaminación del suelo, los estudios de evaluación ambiental y de capacidad institucional de Panamá frente al libre comercio, reflejan un gran impacto en el área agrícola por el exceso de pesticidas acabando con la vida de la fauna y flora macro y microbiana del suelo desaprovechando así los beneficios múltiples de éstos.

La mayoría de los suelos cuentan con hongos micorrícicos; sin embargo, la aplicación de productos químicos a lo largo del tiempo ha sido un factor de la desaparición de la capa de materia orgánica, esto se debe a la alta aplicación de insumos químicos en las producciones agrícolas e incluso pecuaria. Los productores recurren a este extremo por que la demanda alimentaria en el país ha aumentado y optan por sobrepasar los límites del suelo y los requerimientos de los químicos en los cultivos siendo una amenaza en la salud de toda la población que los consume provocando enfermedades. (NOSTOC, 2023).

El suelo presenta una deficiencia de fósforo, nutrimento que es elemental para la formación y desarrollo de brotes y follaje para el maíz. La planta no lo absorbe con facilidad antes de la etapa generativa; ya que, por diferentes factores climáticos y edafológicos se pierde y el maíz no cuenta con los requerimientos necesarios. Los hongos micorrícicos están distribuidos en un 90 % del suelo sobre todo en las áreas montañosas, estos poseen una gran cantidad de nutrimento donde solo los almacenan. Además, se podrá disminuir la contaminación del suelo en la agricultura por el uso de productos químicos, conservándolo por el fósforo que retiene el hongo en la relación simbiótica obteniendo rendimientos más sostenibles y ecológicos. Esta investigación estudiará las funciones ambientales que tienen los hongos micorrícicos y los beneficios que aportan a la planta asociada a la protección de múltiples enfermedades.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la disponibilidad de fósforo al cultivo de maíz utilizando una relación simbiótica entre hongos formadores de micorrizas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Identificar las presencias de hongos micorrícicos.

Comparar el desarrollo vegetativo del cultivo de maíz en un sustrato con y sin micorrícicos.

Evaluar el efecto de la incorporación de hongos micorrícicos en la disponibilidad del fósforo en el suelo.

1.4. HIPÓTESIS

Hi. A mayor propagación de hongos micorrícicos en el suelo, mayor liberación de fósforo en el suelo.

Ha. Cuánto mayor incorporación de sustrato en el cultivo de maíz, mayor formación de colonias micorrícicos en sus raíces.

Ho. Cuánto menor incorporación de sustrato en el cultivo de maíz, menor formación de colonias micorrícicos en sus raíces.

Ha. A mayor cantidad de sustrato sin hongos, menor porcentaje de fósforo en el suelo.

1.5. ALCANCES

Obtener una producción de hongos micorrícicos en las raíces del maíz y contar con la simbiosis aportando fósforo.

Mejorar la eficiencia de absorción de fósforo en la planta de maíz con hongos micorrícicos.

Contar con un mejor desarrollo vegetativo en los tratamientos de las plantas de maíz en un sustrato de hongos micorrícicos a comparación del tratamiento sin el sustrato.

Proporcionar una alternativa a los productores al inocular hongos micorrícicos con maíz en la absorción de fósforo.

1.6. LIMITACIONES

No contar con una comunidad de hongos micorrícicos que brinden fósforo al cultivo de maíz.

No identificar la especie de hongos micorrícicos que sean benéficos al cultivo.

Los factores naturales pueden afectar el desarrollo en las plantas de maíz y los hongos micorrícicos como, por ejemplo: precipitaciones con fuertes vientos en temporada lluviosa.

La presencia de plagas e insectos en el cultivo y se alimenten de lo mismo puede interferir con los resultados a evaluar en los parámetros.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. HONGOS MICORRICICOS.

Los micorrícicos representan las asociaciones simbióticas entre las plantas y hongos basada sobre el intercambio de metabolitos y nutrientes. Los suelos poseen naturalmente una diversidad de especies de micorrizas, que pueden colonizar las raíces de la mayoría de las plantas cultivadas, independientemente de las condiciones ambientales, mejorando así el suministro de nutrientes, crecimiento y producción de las plantas hospederas especialmente en condiciones de nutrientes deficientes. (Perez A. , 2011).

2.2. HONGOS MICORRICICOS COMO ALTERNATIVA DE LOS ABONOS QUÍMICOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ.

Cuando la disponibilidad de fósforo en el suelo es poca, la absorción del nutriente P es limitado para el cultivo de maíz, lo cual lleva a la producción a altos costos en fertilizantes fosfatados y una contaminación en el suelo por el uso en exceso. (Leblanc, 2012), menciona que la incorporación de los hongos formadores de micorrizas arbusculares en el cultivo de maíz son una alternativa para mejorar la nutrición, disminuir costos y la contaminación en el suelo.

2.3. TIPOS DE HONGOS MICORRICICOS.

Se reconocen cinco grupos de micorrícicos basándose en criterios morfológicos, anatómicos y sistemáticos tanto de las plantas como de los hongos. Tales grupos son:

ectomicorrizas, micorrizas de ericales, micorrizas de Orchidaceae, ectoendomicorrizas y micorrizas arbusculares también llamadas endomicorrizas. (Gomez, 2007).

Las endomicorrizas forman con la raíz un consorcio fisiológico caracterizado por la presencia de estructuras típicas en la epidermis de las mismas: hifas, arbusculos y vesículas. No poseen una reproducción sexual conocida, producen esporas de resistencia que se forman sobre hifas vegetativas, son multinucleadas, son estructuras de resistencia y propagación; poseen abundantes compuestos de carbono (glucógeno y lípidos). Se pueden relacionar con diferentes especies bacterianas. (Ruiz, 2010).

2.4. INTERACCIÓN ENTRE LOS HONGOS MICORRÍMICOS Y LOS NUTRIMENTOS DEL CULTIVO DE MAÍZ.

Esta interacción beneficia a la planta porque mejora el crecimiento y desarrollo a través del incremento en la adquisición de agua, fósforo, nitrógeno y otros nutrientes, incluso hay un mejoramiento en la variedad del maíz. (Gamez, 2023). El maíz no puede absorber por sí solo los nutrientes rápidamente que se encuentra en un área pequeña, alrededor de las raíces. Cuando el fósforo se agota en esta zona, la planta no puede tomarlo de otra parte y entonces solo tiene dos alternativas: esperar a que los fosfatos vuelvan a llegar al área cercana a las raíces, o producir raíces adicionales que penetren hasta las zonas inexploradas. Pero sucede que la difusión de los fosfatos del suelo es un proceso particularmente lento, y la producción de raíces suplementarias representa para la planta un desgaste de energía demasiado elevado. En cambio, los hongos micorrícicos tienen la propiedad de producir “la red de micelios, constituidos por filamentos multicelulares muy

delgados y muy largos, que se encargan de explorar extensiones considerables de suelo, produciendo una biomasa mínima y con un costo energético muy favorable para la planta.

2.5. IMPORTANCIA DE LA SIMBIOSIS DE LOS HONGOS MICORRICICOS ARBUSCULARES EN EL CULTIVO DE MAÍZ.

Mejora los resultados de rendimiento y productividad del cultivo de maíz, la inoculación con micorrizas arbusculares a la semilla o la raíz, especialmente en lugares donde se dificulta, por varios factores, en especial la asimilación de los nutrientes. Según (Carcelen, 2023). El uso de micorrícicos en el cultivo de maíz en Ecuador actualmente pasaría a ser una estrategia prometedora, con un enorme potencial para mejorar su producción de manera sostenible y reducir el impacto ambiental.

2.6. ETAPAS DE LA SIMBIOSIS EN LOS HONGOS ENDOMICORRIZAS.

Las hifas de los hongos endomicorrizas penetran dentro de las células de las raíces en las plantas se producen el intercambio de elementos nutritivos entre hongo y raíz.

El hongo se encarga de suministrar los nutrientes como fósforo, potasio, calcio hierro, zinc, magnesio y manganeso. La planta, brinda al hongo azúcares derivados de la fotosíntesis, ya que el hongo no lo absorbe por sí solo. (Murcia, 2023).

2.7. SUELOS ULTISOLES

Los Ultisoles se caracterizan por tener un horizonte argílico y con una baja saturación de bases. Aparecen en cualquier régimen de temperatura y humedad. Los Ultisoles son suelos ácidos (baja saturación en bases), lo que produce que no todos los cultivos puedan desarrollarse sobre éstos. No obstante, si se “regeneran” estos suelos mediante técnicas para reducir la acidez de los suelos, pueden emplearse para el cultivo de ciertas especies. No obstante, la gran mayoría están destinados para recursos forestales, encontrándose en ellos bosques de coníferas o vegetación forestal, presenta una baja proporción de cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio) retenidos por constituyentes del suelo. En estos suelos, el aporte de cationes básicos por la alteración de los minerales primarios no equilibra la cantidad de los eliminados en el perfil a través del proceso de lavado. Como consecuencia de este proceso, los Ultisoles presentan un dominio de cationes generadores de acidez (formas iónicas del aluminio y iones hidrógeno), desarrollando una fuerte acidez en el suelo que reduce su fertilidad natural. (Eraso, 2015)

2.8. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MAÍZ

El maíz *Zea mays* L. es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia Poaceae (Gramíneas), Tribu Andropogoneae, con dos géneros: *Zea* ($2n=20$) y *Tripsacum* ($2n=36$). El género *Zea*, tiene además de la especie *Z. mays* (maíz común), cuatro especies conocidas generalmente como Teosintes (*Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. diploperennis* y *Z. perennis*). Es una gramínea anual, robusta, de crecimiento determinado, que puede

alcanzar hasta 5 metros de altura, normalmente está compuesta de un solo tallo dominante, pero puede producir hijos fértiles.

(Gordón, 2021), señala que, la fase de llenado de grano inicia después de la polinización y determina el peso final del grano y la mazorca. El peso de grano está correlacionado con la duración y la cantidad de radiación interceptada durante esta fase, y es afectada por estrés hídrico y nutricional. La duración de cada una de estas fases o etapas depende del genotipo, del fotoperíodo y de la temperatura. Observar la tabla 1.

Tabla 1. características del cultivo de maíz variedad Guararé.

| Requerimientos | | Cultivo de maíz |
|-----------------------|------------------|--|
| Temperatura | | Entre 30° y 34° C |
| Agua | | 4.22 mm y 3.91 mm. |
| Luz solar | | 11.6 horas |
| Suelo (pH) | | 6.0 y 7.0 (ligera acidez). |
| Nutrientes | nitrógeno | 20-25 kg/ha |
| | potasio | 30 a 100 kg de K ₂ O·ha ⁻¹ . |
| | fósforo | 50-70 kg/ha |
| | azufre | 20 kg/ha |

El maíz es exigente en nutrientes, especialmente nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). En la mayoría de los suelos cultivados con maíz en Panamá, no es necesario la aplicación de los elementos menores como cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn) y molibdeno (Mo), ya sea porque los mismos contienen lo suficiente o porque la demanda de estos elementos es mínima.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

La presente investigación se realizó en la comunidad de El Valle, corregimiento de Las Lomas, distrito de David, provincia de Chiriquí, en suelos Ultisoles rojos en un espacio de 10x15 m². Las coordenadas geográficas Latitud N 8°28'30", Longitud O 82°20'25". Altura sobre el nivel del mar de 215 metros. / Altura de 215 m.s.n.m.

3.2. TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS.

En la parte montañosa de preferencia o cualquier área boscosa y húmeda; se ubican los hongos micorrícicos, específicamente las raíces sueltas de los árboles o arbustos es hospedero de los hongos en forma de hifas o bolitas color blancas; una vez obtenidas se cortan para acelerar la propagación dentro de cualquier cultivo incorporado.

Obtención del suelo: Se extrae de la parte más fértil del suelo 100 kilogramos aproximadamente, donde no se haya trabajado químicos ni se haya erosionado. Luego se tamiza para apartar los residuos más grandes como piedras y materia orgánica, una vez terminado este paso se procede a colocarlo en un sitio que mantenga una temperatura de 30° C para eliminar las bacterias y patógenos de la misma, posteriormente se incorporan los ingredientes mezclando la tierra y la cascarilla de arroz quemada hasta formar un sustrato de 20kilogramos. Con la finalidad que no se forme grumos de lodo al momento de añadirle agua al cultivo. Por último, se coloca todo en las bolsas de polietileno con una capacidad de 5 kilogramos; se realizan agujeros en la parte superior para sembrar los hongos micorrícicos y puedan reproducirse y así al tener las bolsas de polietileno preparadas con los sustratos se coloca las semillas de maíz (1 por cada bolsa).

3.2.1. PARÁMETROS A EVALUAR.

El diseño experimental de este estudio consistió en un bloque de 5 tratamientos cada uno con 4 repeticiones, haciendo un total de 20 repeticiones. Se utilizaron 20 bolsas donde la mezcla heterogénea de sustrato, suelo y fertilizantes fueron aplicadas en diferentes porcentajes por tratamiento. Observar la tabla 2. Los plantones con la mezcla tenían un peso total de 5 kg y en cada uno fue sembrado un grano de maíz. Se evaluó el efecto de los factores repeticiones y TRA sobre las variables dependientes de peso fresco (pf), peso seco (ps), en el material vegetativo; raíz fresca (rf), raíz seca (rs) en los sistemas radiculares; y contenido de fósforo en el suelo (p).

Tabla 2. Proporciones de suelo y sustrato por cada tratamiento.

| TRATAMIENTO | PORCENTAJE TOTAL DE LA SUSTANCIA (%) | SUSTRATO KG | SUELO KG |
|-------------|--------------------------------------|-------------|----------|
| I | 0 % | 0 | 5 |
| II | 10 % | 0.5 | 4.5 |
| III | 20 % | 1 | 4 |
| IV | 30 % | 1.5 | 3.5 |
| V | 40 % | 2 | 3 |

El tratamiento N°1, fue el testigo (para comparar); y los tratamientos (2,3,4,5), contaban con sustrato, suelo, y fertilizante.

3.3. Recolección de datos en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Antes de realizar el proyecto se llevó a cabo un análisis de suelo en el laboratorio para conocer el porcentaje de fósforo en los suelos Ultisoles, la muestra se obtuvo en la comunidad de El Valle de Las Lomas provincia de Chiriquí. Para evaluar los porcentajes de fósforo en el suelo se realizó el análisis basado en la metodología de Mehlich o Carolina del Norte, (EMBRAPA, 1979), donde menciona que esta metodología es para suelos con una amplia variedad de pH, desde ácido hasta alcalino. La determinación de fósforo más usual es la colorimétrica, basada en la formación de compuestos de color azul molibdeno a través de diferentes reductores. Dicho análisis de fósforo en el suelo arrojó un contenido de 2.6 ppm de fósforo.

3.3.1. Recolección de datos en el proyecto

- **Preparación de los suelos.**

La preparación del sustrato o suelo para el maíz es la base para asegurar un éxito y un alto rendimiento en la producción. El maíz es exigente que requiere condiciones específicas para que sus raíces se desarrollen. Para crear un ambiente óptimo de las plantas se utilizaron bolsas plásticas con una capacidad de 5 kilogramos (observar la figura N° 1), las cuales se perforaron en la parte inferior y los lados para drenar el agua y conservar la humedad adecuada; luego se pesó y colocó los porcentajes de suelo y sustrato en cada bolsa clasificada por tratamiento para posteriormente realizar la siembra de las semillas de maíz. (Observar la tabla N°2).



Figura 1. Preparación de sustrato y suelo.

- **Siembra.**

Se sembró una semilla de maíz Guararé, directamente en las bolsas a dos o tres centímetros de profundidad con el suelo o sustrato húmedo para una germinación eficaz proporcionándole el agua suficiente. Cada bolsa se separó con una distancia de 50 centímetros y así se evitó el cruce del material vegetativo mediante el crecimiento.

- **Germinación**

Tabla 3. Germinación por tratamientos.

| N° DE TRATAMIENTOS | GERMINACIÓN/DÍAS |
|---------------------------|-------------------------|
| 1 | 6 días |
| 2 | 8 días |
| 3 | 8 días |
| 4 | 9 días |
| 5 | 9 días |

Observaciones: En algunas repeticiones de los tratamientos 4 y 5 se aplicó resembrado y su germinación fue a los 12 días, debido a que no germinaron las semillas de maíz en la

primera siembra por algunos factores ambientales no controlados (clima, precipitaciones, humedad, temperatura). Observar la tabla N°3.

- **Riego**

El riego es un factor crítico para el cultivo de maíz, ya que satisface las necesidades hídricas y es una planta con altas demandas de agua en algunas fases de su desarrollo. En la etapa de germinación se aplicó la humedad suficiente para que la semilla germinara; en la etapa del crecimiento vegetativo, se aplicó el riego por aspersión a todos los tratamientos.

Observación: Durante la fase de crecimiento vegetativo en las tres últimas semanas, no fue necesario realizar el riego ya que por condiciones no controladas (las precipitaciones constantes), no cesaron en el ambiente donde se llevó a cabo el proyecto.

- **Fertilización:**

La fertilización de las plantas de maíz se realizó con un suplemento compuesto de macro nutrientes primarios (nitrógeno, potasio, fósforo), con una dosificación del fertilizante de 6 gramos/1 litro de agua para todos los tratamientos mediante la pulverización de la solución de nutrimentos directamente a las hojas de las plantas para una absorción rápida y útil de corregir las carencias. El riego foliar se fraccionó en tres aplicaciones; al momento de la siembra, a los 30 y 45 días en la cobertura del cultivo como lo indica (Gestor, 2019), suministrar nutrimentos en las tres fases al cultivo de maíz para mantener la fertilidad utilizando abonos orgánicos como el que se observa en la figura 2.



Figura 2. Suplemento nutrimental para riego.

- **Plagas**

Dentro del proyecto se presentó una plaga a los 25 días, la cual fue identificada como *Helicoverpa armígera*, comúnmente conocida como gusano cogollero, larva que se alimenta dentro de la planta, específicamente en la hoja nueva. Se observó el ataque del *Helicoverpa armígera* en las plantas de los; Tratamientos 1 y 3. Se utilizó un insecticida ecológico en solución líquida, el cual fue asperjado en el follaje de las plantas para controlar el ataque de la plaga como recomienda (Flanders, 2019), aplicar insecticidas de manera temprana y hacer un monitoreo en las plantas para evitar la propagación.

- **Características físicas.**

Se documentó las mediciones a todas las plantas por semana durante los 45 días, para el monitoreo se utilizó una cinta métrica donde se colocó al extremo de la tercera hoja más alta de la espiga hasta el tallo. A continuación, los tratamientos con sus respectivas mediciones. Observar en la tabla 4.

Tabla 4. Medición de la ramificación de cada planta.

| Tratamientos | Repeticiones | Altura/Semana | | | | | |
|----------------------|--------------|---------------|------|------|------|-----------|-------|
| | | Octubre | | | | Noviembre | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Tratamiento 1 | N°1 | 15cm | 34cm | 72cm | 86cm | 95cm | 119cm |
| | N°2 | 13cm | 32cm | 69cm | 75cm | 89cm | 95cm |
| | N°3 | 14cm | 27cm | 65cm | 73cm | 87cm | 97cm |
| | N°4 | 14cm | 29cm | 70cm | 82cm | 96cm | 107cm |
| Tratamiento 2 | N°1 | 10cm | 23cm | 65cm | 78cm | 105cm | 146cm |
| | N°2 | 11cm | 24cm | 67cm | 79cm | 90cm | 107cm |
| | N°3 | 10cm | 22cm | 65cm | 77cm | 88cm | 115cm |
| | N°4 | 9 cm | 19cm | 61cm | 73cm | 80cm | 90cm |
| Tratamiento 3 | N°1 | 10cm | 23cm | 65cm | 75cm | 90cm | 129cm |
| | N°2 | 8cm | 16cm | 58cm | 69cm | 85cm | 108cm |
| | N°3 | 11cm | 24cm | 65cm | 74cm | 87cm | 100cm |
| | N°4 | 12cm | 26cm | 56cm | 67cm | 90cm | 120cm |
| Tratamiento 4 | N°1 | 8cm | 20cm | 50m | 61cm | 74cm | 90cm |
| | N°2 | 7cm | 19cm | 73cm | 85cm | 104cm | 130cm |
| | N°3 | 0 | 5cm | 17cm | 43cm | 57cm | 80cm |
| | N°4 | 0 | 4cm | 15cm | 40cm | 55cm | 105cm |
| Tratamiento 5 | N°1 | 8cm | 22cm | 48cm | 70cm | 82cm | 142cm |
| | N°2 | 7cm | 20cm | 45cm | 68cm | 80cm | 90cm |
| | N°3 | 0 | 6cm | 19cm | 39cm | 50cm | 86cm |
| | N°4 | 7cm | 20cm | 43cm | 67cm | 93cm | 126cm |

- **Toma de muestras**

Para determinar la materia seca, se procedió a cortar y picar las muestras de las plantas (tallo y hojas) al ras del suelo y se colocó en una bolsa de papel para ser llevada a pesar en materia fresca mediante una balanza previamente calibrada y una vez registrados los datos se introdujo en un horno a una temperatura de 65°C hasta eliminar el agua y

establecer su peso constante. Igualmente se realizó con las muestras de las raíces según la metodología de secado en horno. Observar la imagen 3.



Figura 3. Corte y preparación de las muestras.

4. Resultados

4.1. Obtención de peso fresco y seco del material vegetativo y sistema radicular.

Las muestras fueron llevadas inmediatamente después de ser cortadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Para obtener el peso fresco en una balanza se colocaron las muestras de material vegetativo húmedo y la parte radicular de las plantas de maíz y se tomó el peso correspondiente. Así mismo, luego de que las muestras fueran secadas por el método de deshidratación en horno, se pesaron en una balanza hasta obtener sus respectivos pesos.

4.2. Secado de las muestras de suelo.

Las muestras de suelo se colocaron en bandejas de aluminio para ser secadas a temperatura ambiente en la Facultad de Ciencias Agropecuarias por cuatro días, luego con la ayuda de un mortero se trituro el suelo y se tamizó hasta obtener un residuo mínimo para ser analizadas en el laboratorio.

4.3. Base de datos.

Repetición: R Tratamiento: T Peso fresco: PF Peso seco: PS

Raíz fresca: RF Raíz seca: RS Fósforo: P

| R-T | PF | PS | RF | RS | P |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 1-1 | 48.69 | 4.44 | 25.51 | 3.39 | 7.67 |
| 1-2 | 107.14 | 8.35 | 34.02 | 6.33 | 13.03 |
| 1-3 | 29.72 | 9.62 | 50.14 | 7.03 | 128.87 |
| 1-4 | 94.60 | 2.88 | 69.77 | 2.37 | 9.24 |
| 1-5 | 128.44 | 12.15 | 67.74 | 5.52 | 26.50 |
| 2-1 | 14.54 | 1.59 | 13.53 | 2.29 | 10.82 |
| 2-2 | 69.28 | 6.03 | 14.84 | 2.92 | 14.94 |
| 2-3 | 140.04 | 6.38 | 29.48 | 2.95 | 28.25 |
| 2-4 | 82.33 | 14.28 | 11.55 | 12.67 | 12.28 |
| 2-5 | 30.83 | 2.95 | 19.88 | 1.68 | 15.79 |
| 3-1 | 35.27 | 2.40 | 4.24 | 0.95 | 5.29 |
| 3-2 | 41.00 | 3.13 | 11.21 | 2.65 | 46.98 |
| 3-3 | 38.78 | 3.57 | 23.66 | 8.04 | 10.26 |
| 3-4 | 33.53 | 3.28 | 2.54 | 0.65 | 8.28 |
| 3-5 | 50.88 | 5.50 | 29.66 | 3.58 | 40.68 |
| 4-1 | 17.03 | 1.29 | 19.63 | 1.01 | 6.77 |
| 4-2 | 13.43 | 1.23 | 4.60 | 1.02 | 80.87 |
| 4-3 | 30.32 | 8.55 | 55.99 | 1.63 | 13.71 |
| 4-4 | 81.95 | 3.03 | 14.96 | 2.88 | 59.63 |
| 4-5 | 65.99 | 5.77 | 17.63 | 2.77 | 22.46 |

4.4. Sistema radicular

Al recoger las muestras de los sistemas radiculares de los tratamientos se observó ligeramente la presencia de colonias micorrícicas mediante pequeñas redes de filamentos muy finos en formas de telarañas blanquecinas alrededor de las raíces y parte del suelo. Se determinó a simple vista que la cantidad de los micelios fúngicos en la parte exterior de las raíces, varió considerablemente debido a la asociación con los diferentes porcentajes del sustrato con hongos micorrícicos en cada tratamiento y algunos factores climáticos como el exceso de precipitación durante el proyecto fueron condiciones adversas para tener cantidades menores de micelio.

4.5. Gráfica del peso de la materia vegetativa

Para el peso seco el tratamiento 3 (7.03g), fue el más efectivo para promover el crecimiento y la acumulación de materia orgánica en las plantas. El tratamiento 1 (2.42 g), fue el menos efectivo con la producción de biomasa seca. Para el peso fresco los tratamientos 4 y 5 produjeron las plantas más pesadas debido a una mayor acumulación de agua. El tratamiento 3 tuvo mayor peso seco, pero un peso fresco menor a T4 Y T5. Esto sugiere que el T3 fue el más eficiente en acumular materia orgánica por unidad de peso, a pesar de que las plantas de T4 Y T5 eran físicamente más grandes por tener más agua. Observar la figura 4.

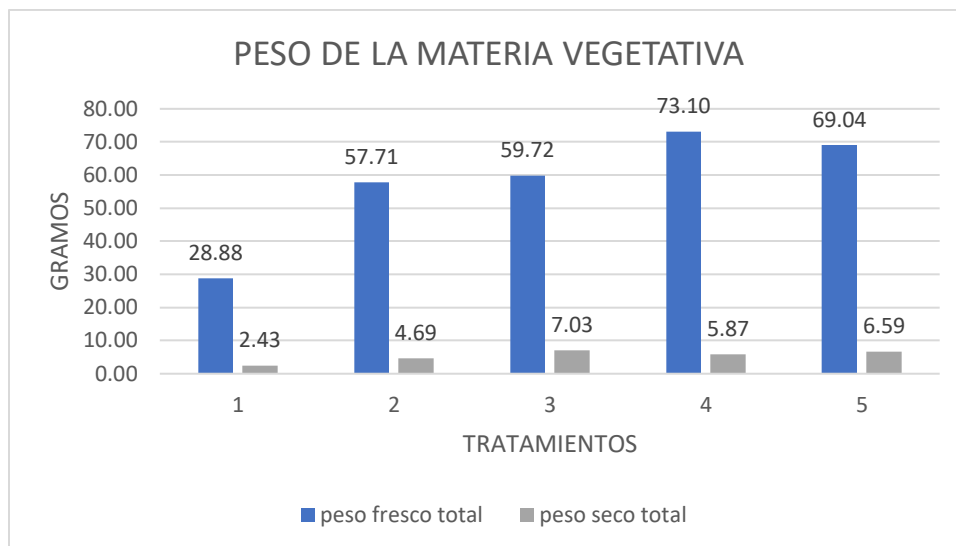


Figura 4. Peso promedio de la materia fresca y seca por tratamiento.

4.6. Gráfica del Peso del sistema radicular

El tratamiento 3 (4.91 g), promovió no solo el mayor crecimiento de la parte vegetativa, sino también el mayor crecimiento de la raíz seca. Esto sugiere un tratamiento que fomenta un desarrollo balanceado y robusto en la planta. En el peso fresco el tratamiento 3 no solo produjo la raíz más densa, sino también la más grande y pesada por lo tanto mayor peso fresco. Observar la figura 5.

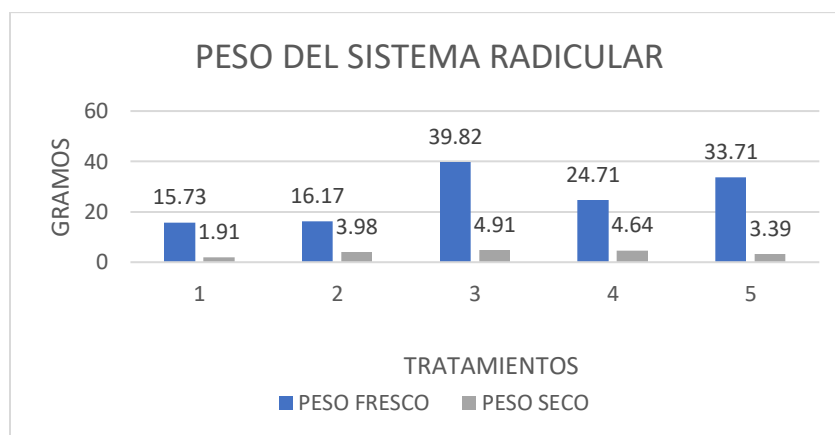


Figura 5. Peso promedio de la parte radicular fresca y seca por tratamiento.

4.7. Gráfica de fósforo por repeticiones

El fósforo es esencial para el desarrollo de la planta y el micelio micorrícico es conocido por su capacidad de movilizar este nutrimento a la raíz de la planta mediante el suelo.

El tratamiento 3 no fue el que más fósforo extrajo, sino el tratamiento 2, pero si fue el que mejor aprovechó el nutrimento residual intermedio (22.30 ppm) para construir la estructura de la planta. Observar la figura 6.

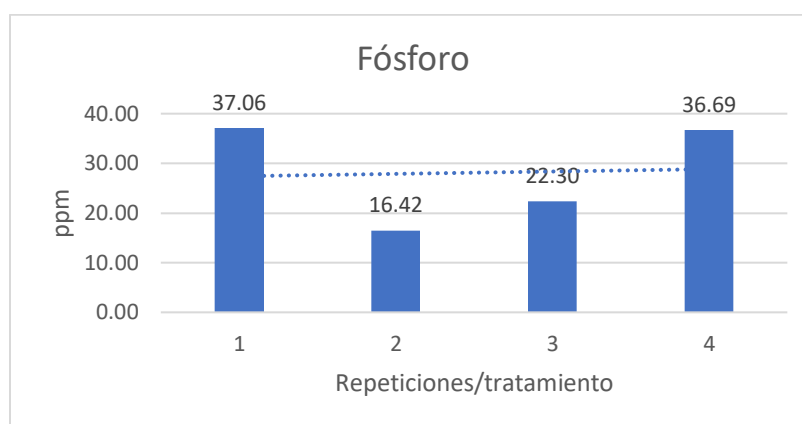


Figura 6. Peso promedio de fósforo (ppm) por repeticiones.

Interpretación

La diferencia del fósforo residual entre los tratamientos (desde 37.06 ppm hasta 16.42ppm), evidencia que la actividad micorrícica o la absorción de la planta fue muy diferente en cada caso. El tratamiento 2 con el sistema planta-hongo tuvo una máxima capacitación de fósforo dejando la menor cantidad en el sustrato. El tratamiento 3 tuvo un máximo rendimiento demostrando que la clave no es solo cuanto fósforo se absorbe, si no que tan eficiente se utilice, ya que alcanzo el mayor peso seco con un nivel de fósforo residual intermedio.

4.8. Análisis de varianza

Con base al análisis de varianza, para las variables de peso fresco (pf) y peso seco (ps) no existieron diferencias significativas ni entre tratamientos ni entre bloques. Además, el coeficiente de variación fue elevado indicando que los datos tuvieron una gran variabilidad relativa en comparación con su media. Este análisis fue elaborado en el programa SAS. Observar la tabla 5.

Tabla 5. Variable dependiente de peso fresco (pf) y peso seco (ps).

| Fuente | DF | Tipo I SS | Cuadrado medio | Valor F | Pr > F |
|----------------------------|-----------|------------------|-----------------------|----------------|------------------|
| representante | 3 | 6213.751495 | 2071.250498 | 1.60 | 0.2416 |
| TRA | 4 | 4800.909470 | 1200.227368 | 0.93 | 0.4809 |
| Coeff Var. 62.41077 | | | | | |

| | | | | | |
|----------------------|---|-------------|-------------|------|--------|
| representante | 3 | 52.05474000 | 17.35158000 | 1.43 | 0.2822 |
| TRA | 4 | 54.39373000 | 13.59843250 | 1.12 | 0.3914 |

Coeff. Var: 65.43298

La prueba de Tukey para peso fresco (pf), indica que el tratamiento N°4 tuvo mayor desempeño en el estudio con un rango de 73.1025 en comparación con el tratamiento N°1 (testigo). (Polo, 2007), en un estudio demuestran que el maíz con micorrízicos aumenta el índice de crecimiento de biomasa, pero en los estudios por (Rivera, 2024) demuestran que la asociación simbiótica de los hongos micorrízicos en las raíces produce diversos cambios

a nivel fisiológico, como los incrementos en la actividad fotosintética, mayor capacidad de fijación de CO₂, lo que causa una alta tasa de crecimiento y biomasa.

En prueba de Tukey para peso seco (ps), los niveles que agrupa la barra no son significativamente diferentes entre sí. A pesar de que las medias de (ps) van de 7.0300 (nivel 3) a 2.4300 (nivel 1), la variación observada de 4.60 es menor que la diferencia significativa mínima de 7.8471. En el estudio de maíz con micorrícicos por (Hernandez, 1967), para evaluar la biomasa demostró resultados no significativos para el porcentaje de materia seca de biomasa, al igual que esta investigación con resultados sin diferencias significativas, pero con un tratamiento con mayor desempeño.

- **Análisis de varianza para la variable raíz fresca (rf) y raíz seca (rs).**

El estudio demuestra que en el análisis de varianza para la variable raíz fresca (rf) sí existieron diferencias significativas entre los bloques, pero no existieron diferencias significativas entre los tratamientos. El factor representante tiene un efecto significativo sobre la variable (rf) el factor TRA no muestra un efecto significativo. El coeficiente de variación fue alto, indicando que hay una gran dispersión de los datos en relación con la media, esto debido a los factores ambientales como la humedad que influyeron directamente el desarrollo de los sistemas radiculares.

El analisis de varianza para raíz seca (rs), indica que, ni el factor representante, ni el factor TRA tienen un efecto estadístico significativo sobre la variable dependiente (rs). Observar la tabla 6.

Tabla 6. Variable dependiente de raíz fresca (rf) y raíz seca (rs).

| Fuente | DF | Tipo I SS | Cuadrado medio | Valor F | Pr > F |
|----------------------|-----------|------------------|-----------------------|----------------|------------------|
| representante | 3 | 3825.839780 | 1275.279927 | 7.46 | 0.0044 |
| TRA | 4 | 1818.050780 | 454.512695 | 2.66 | 0.0848 |

Coeff. Var: 50.22924

| | | | | | |
|----------------------|---|-------------|------------|------|--------|
| representante | 3 | 28.89109500 | 9.63036500 | 1.00 | 0.4261 |
| TRA | 4 | 23.38503000 | 5.84625750 | 0.61 | 0.6651 |

Coeff. Var: 85.79481

Para la variable dependiente raíz seca (rs), dado que todos los niveles están cubiertos por la barra de agrupación, se confirma que no existe ninguna diferencia significativa por parte de factor TRA sobre (rs). Esta investigación determinó que en las raíces del tratamiento N°3, existió la presencia de hifas micorrícicas; en comparación con el estudio por (Gutierrez, 2008), utilizando bokachi, humos y compost con un porcentaje de 70% de colonización y propagación de los hongos micorrícicos en las raíces del maíz.

Análisis para la variable fósforo (p)

En el análisis de varianza para la variable fósforo (p), dado que 0.7010 es mucho mayor que el nivel de significancia común ($\alpha=0.05$), el modelo no es estadísticamente significativo. Esto significa que la combinación de los factores (representante y TRA) no tiene un efecto sobre la variable P. El coeficiente de variación es extremadamente alto esto debido a factores ambientales no controlados en donde se realizó el proyecto (temperatura, humedad) que afectan los resultados. Observar la tabla 7.

Tabla 7. Variable dependiente para fósforo (p).

| Fuente | DF | Tipo I SS | Cuadrado medio | Valor F | Pr > F |
|----------------------|-----------|------------------|-----------------------|----------------|------------------|
| representante | 3 | 1605.264820 | 535.088273 | 0.49 | 0.6974 |
| TRA | 4 | 3473.131380 | 868.282845 | 0.79 | 0.5531 |

Coeff. Var: 118.0394

En la prueba de Tukey para fósforo (p), dado que la barra agrupa todos los niveles, no existe diferencia significativa entre la media de (P) por parte del factor TRA, aunque la diferencia entre el valor más alto (nivel 3: 45.2725) y el más bajo (nivel 1: 7.9375), es 37.335, esta diferencia es menor que la DSM de 74.68.

5. CONCLUSIONES

Se identificó que la variable raíz fresca (rf), tuvo estadísticamente diferencia significativa por el factor representante ($p=0.0044$), que es menor que ($\alpha=0.05$). Las variables dependientes (p_s , r_s , p) y el factor TRA estadísticamente no muestran diferencias significativas.

Se evaluó que con la incorporación de los hongos micorrícicos en los tratamientos el fósforo en el suelo mejora tomando en cuenta las diferentes proporciones de sustrato. El tratamiento 3 no fue el que más fósforo extrajo, sino el tratamiento 2, pero sí fue el que mejor aprovechó el nutrimento residual intermedio (22.30 ppm) para construir la estructura de la planta. Tuvo un máximo rendimiento demostrando que la clave no es solo cuánto fósforo se absorbe, sino que tan eficiente se utilice, ya que alcanzó el mayor peso seco con un nivel de fósforo residual intermedio.

Se obtuvo mayor desarrollo en el material vegetativo y sistema radicular de los tratamientos N°3 Y N°4 con la relación simbiótica al incorporar los hongos micorrícicos respecto al tratamiento testigo (T1).

Se concluye que los tratamientos con hongos micorrícicos tienen resultados positivos referente a su desarrollo de la misma y en la formación de colonias de hifas y que al igual que el tratamiento testigo sin hongos micorrícicos son buenas alternativas amigables con el ambiente y la producción para frenar o minimizar las contaminaciones de los recursos suelo, agua y ecosistema con el uso excesivo de químicos.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer más estudios referentes a la relación simbiótica entre hongos micorrícicos y otros cultivos de ciclo perenne o anual, ya que no tienen las mismas características, con otro diseño experimental dónde aumente la muestra y población y evaluando las plantas hasta la fase de cosecha para analizar el fruto de la producción y otros aspectos del sistema radicular y material vegetativo.

Realizar otros proyectos con diferentes tipos de suelo y condiciones climáticas en el arco seco del país y tierras altas con temperaturas bajas donde se dan las grandes producciones de hortalizas y otros productos.

Tomar en cuenta estos estudios y utilizar insumos naturales amigables como los hongos micorrícicos entre otros e implementar técnicas agroecológicas para reducir impactos negativos como contaminaciones en los recursos suelo y agua y mantener la seguridad alimentaria.

7. Referencias Bibliográficas

Bryant, & Carcelen. (2023). *Importancia de los hongos micorrizos en la producción del cultivo de maíz (Zea mays) en el Ecuador*. Quito: UTB. Citado en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13938>

Gamez, B. (2023). *Variación en la colonización de hongos micorrízicos arbusculares en una población de líneas casi isogénicas de maíz*. CP. Citado en: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/5088>

Gomez, e. a. (2007). *Micorrizas arbusculares*. Mexico: CIENCIA ergo sun. Citado en: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10414307.pdf>

Gordón, R. (2021). *EL MAÍZ EN PANAMÁ: CARACTERÍSTICAS, REQUERIMIENTOS Y*. Panamá: IDIAP. Citado en: https://proyectos.idiap.gob.pa/uploads/adjuntos/manual_tecnico_el_maiz_en_panamá.pdf

Corrales, I (2007). *En busca de un maíz resistente a la deficiencia de fósforo*. Barcelona: UAB. Citado en: <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/en-busca-de-un-maiz-resistente-a-la-deficiencia-de-fosforo-1345680342040.html?articleId=1195026070744&cid=1345680342040&d=Touch&pagenome=UABDivulga%2FPPage%2FTemplateDetallNoticiesUABDivulga2014>

Kugler, M. (1996). *Abono con hongos micorrizas*. CIID. Citado en: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/56ae6db8-c3b7-4885-bf8d-1e83f2ee2298/content>

Leblanc, A. M. (2012). *EVALUACIÓN DEL USO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES PARA DISMINUIR LA APLICACION DE FERTILIZANTES FOSFORADOS EN EL CULTIVO DE MAIZ*. Limon: UNIVERSIDAD EARTH. Citado en: https://www.researchgate.net/profile/Humberto-Leblanc/publication/281066241_Evaluacion_del_uso_de_micorrizas_arbusculares_para_disminuir_la_aplicacion_de_fertilizantes_fosforados_en_el_cultivo_del_maiz/links/55d3495d08ae7fb244f5854a/Evaluacion-del-uso-de-micorrizas-arbusculares-para-disminuir-la-aplicacion-de-fertilizantes-fosforados-en-el-cultivo-del-maiz.pdf

NOSTOC. (2023). *Las micorrizas, simbiosis positiva al suelo*. Madrid: NOSTOC biotech
Citado en: <https://nostoc.es/micorrizas-simbiosis-positiva-suelo/>

Murcia. (2023). *Que son las micorrizas*. España: symborg. Citado en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14010>

OPS. (SF). *Peligrosos químicos*. Washington: ONU. Citado en: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10849:2015-peligros-quimicos&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0

Perez, A. (2011). *Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biologica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano*. Colombia: RECIA. Citado en: <https://recia.edu.co/index.php/recia/article/view/412>

Ruiz, N. (2010). *INOCULACION DE CAÑA SEMILLA CON BEIJERINCKIA SP. ENDÓFITAS DE ESPORAS*. Mexico: UNT. Citado en: <http://scait.ct.unt.edu.ar/pubjornadas2010/trabajos/189.pdf>

Reyes, D. (2022). *Evaluación de la fertilización con micorrizas como complemento nutricional en el cultivo de arroz*. Santa Lucía.: Doctoral dissertation.

Ruiz, N. (2010). *INOCULACION DE CAÑA SEMILLA CON BEIJERINCKIA SP. ENDÓFITAS DE ESPORAS*. Mexico: UNT.

Eraso, K. (2015). *suelos ultisoles*. Universidad Mariasa. CITADO EN: <https://es.scribd.com/document/647475188/ultisol-mollisol-1-1>

Montenegro, L. A. (2021). *EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA INOCULACIÓN*. El Salvador. CITADO EN: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/7586/1/UPSE-TIA-2022-0035.pdf>

Ramires, A. S. (2001). *Análisis de poblaciones*. Colombia. Citado en: <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449953025004.pdf>

Álvarez. Et al., (2022). Evaluación de inoculantes micorrízicos arbusculares en *Zea mays* L. sobre suelo Gleysol Vértico de Panamá. Panamá. Estación experimental indio hatuey. citado en: <https://www.redalyc.org/journal/2691/269173684025/html/>

8. ANEXOS

Anexo 1. Preparación y recolección de datos del proyecto.

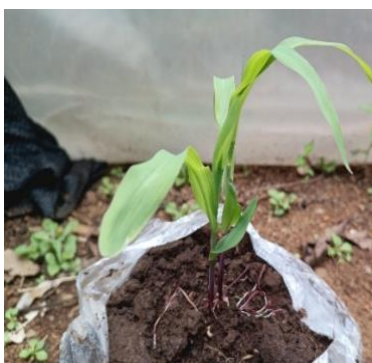
- Preparación de suelo y sustrato con un peso de 5kg por bolsa.



- Germinación de las semillas de maíz variedad Guararé a los 5 días.



- **Medición de la altura por planta.**



- Corte y preparación de muestras de materia vegetal, sistemas radiculares y suelo.



Anexo 2. Pruebas del laboratorio y recolección de datos.

- Materiales usados en el laboratorio para la recolección de datos



- Peso de materia verde De la parte vegetativa.



- **Secado de las muestras de suelo a temperatura ambiente.**



- **Identificación de las colonias de hifas encontrado en los sistemas radiculares**

