



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Maestría en Sanidad Vegetal

Trabajo de Tesis

**Comportamiento de hongos micorrízicos
arbusculares en el ciclo vegetativo de
amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) y su
efecto sobre el hongo *Sclerotinia sclerotiorum*,
Managua, 2025**

Autor

Lic. Rommel Benjamín Uriarte Ortiz

Asesor

Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz

Presentado a la consideración del Honorable Comité
Evaluador como requisito final para optar al grado de
Maestro en Ciencias

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2025

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

Maestro en Ciencias en Sanidad Vegetal

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Markelyn Rodríguez Zamora
Presidente

MSc. Santos David Romero
Secretario

MSc. Víctor Monzón Ruíz
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 28/noviembre/2025

DEDICATORIA

A Dios, su hijo Jesús y a nuestra señora madre virgen María, por darme la fuerza para hacer este trabajo.

A mi esposa Zulma Francisca Pérez y mi hijo Rafael Benjamín Uriarte Pérez, por su amor infinito, apoyo incondicional y aliento en todo momento.

A mi madre y padre, por darme la vida, su apoyo incondicional y paciencia ilimitada.

A mi persona, por perseverar y demostrarme que sí puedo.

AGRADECIMIENTO

A nuestros héroes y mártires de la Revolución Popular Sandinista, por luchar, dar su vida y hacer posible una Nicaragua digna, bendita, solidaria y sandinista para todos los nicaragüenses por gracia de Dios.

A nuestro Gobierno de Reconstrucción y Unidad Nacional, encabezado por el comandante Daniel Ortega Saavedra y maestra Rosario Murillo Zambrana, por honrar la voluntad de los héroes y mártires, asegurando la vida, paz, salud, educación y prosperidad para todos los nicaragüenses.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua, por darme la oportunidad de ser trabajador administrativo de esta *alma mater* y otorgarme beca de estudios de maestría.

A la Universidad Nacional Agraria, por otorgarme beca de estudios de maestría y brindarme la oportunidad de ser docente de esta *alma mater*.

Especialmente a mi maestro Dr. Jorge Ulises Blandón Díaz, por guiarme y confiar en mí.

A todo el colectivo de docentes de la maestría y trabajadores administrativos.

A la UNAN-Managua, por permitir el uso de instalaciones y equipos en el Centro de Investigación en Biotecnología.

Al compañero Jorge Esquivel Quezada, por su apoyo con sus conocimientos en estadística.

Al compañero Samuel Vallecillo Torres y esposa, por su apoyo con sus conocimientos en informática.

A la compañera Nancy Hernández Rubio, por sus aportes al documento.

A todos aquellos compañeros que de una u otra manera apoyaron para la realización de este trabajo.

Rommel Benjamín Uriarte Ortiz

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Origen del Amaranto	4
3.2. Taxonomía	4
3.3. Género <i>Amaranthus</i>	5
3.4. Fisiología y agronomía del amaranto	6
3.4.1. Fisiología	6
3.4.2. Fotosíntesis	6
3.4.3. Fotoperíodo	7
3.4.4. Altitud	7
3.4.5. Temperatura	7
3.4.6. Suelo	8
3.4.7. Precipitación	8
3.4.8. Nutrición	8
3.4.9. Densidades de población	9
3.5. Sistemas de producción del amaranto	9
3.5.1. Sistema convencional de trasplante	9
3.5.2. Sistema convencional de siembra directa	10

3.5.3. Sistema intensivo	10
3.6. Características botánicas de <i>Amaranthus cruentus</i> L	10
3.7. <i>Amaranthus cruentus</i> L. raza mexicana	11
3.8. Valor nutricional del amaranto	12
3.9. Micorrizas	14
3.10. Hongo <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	15
3.10.1. Descripción	15
3.10.2. Síntomas y daño	15
3.10.3. Epidemiología	16
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1. Ubicación del estudio	17
4.2. Diseño metodológico	17
4.3. Material biológico para utilizar	18
4.4. Diseño y manejo experimental	18
4.5. Preparación de inóculos de HMA	19
4.6. Preparación de inóculo de <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	21
4.7. Establecimiento del ensayo en condiciones semi controladas	21
4.8. Inoculación de micorrizas	24
4.9. Inoculación del patógeno	24
4.10. Registro de variables de crecimiento vegetativo	25
4.11. Estimación de colonización de micorrizas	26
4.12. Variables epidemiológicas	26
4.13. Análisis de datos	27
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1. Comportamiento vegetativo del cultivo de amaranto en presencia de hongos micorrízicos arbusculares	29
5.1.2. Altura de la planta (cm)	29
5.1.3. Número de hojas	30
5.1.4. Longitud de hojas	32
5.2. Micorrización	33
5.3. Evolución infecciosa de <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	35
VI. CONCLUSIONES	38
VII. RECOMENDACIONES	39

VIII. LITERATURA CITADA

40

IX. ANEXOS

43

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Descripción de tratamientos	18
2.	Separación de medias Tukey de altura de plantas en (cm) por tratamiento	30
3.	Separación de medias Tukey de número de hojas por tratamiento	31
4.	Separación de medias Tukey de longitud de hojas (cm) por tratamiento	33

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Proceso de reproducción de inóculo micorrícico	19
2.	Proceso de recuperación de inóculo micorrícico	21
3.	Proceso de multiplicación de inóculo del patógeno	21
4.	Llenado de sacos de polipropileno con sustrato	21
5.	Proceso de preparación de sustrato	22
6.	Proceso de análisis de bacterias heterótrofas	22
7.	Siembra y germinación de amaranto	23
8.	Proceso de raleo	23
9.	Pesaje de inóculo HMA	24
10.	Proceso de inoculación del patógeno	25
11.	Proceso de toma de datos de variables de crecimiento	26
12.	Proceso de tinción de raíces	27
13.	Porcentaje de micorrización observado en cada uno de los tratamientos evaluados	34
14.	Tratamiento M1EF/Fragmento 8/10 x y 40x	35
15.	Valores del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) obtenidos en los tratamientos evaluados	36

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Toma de datos variables de crecimiento	43
2.	Estructuras micorrícicas (arbusculos) tratamiento MCET	43
3.	Afectación en plantas tratamiento MCET	43
4.	Estructuras micorrícicas (arbusculos) tratamiento TMC	44
5.	Plantas tratamiento TMC	44
6.	Planta con panoja tratamiento TMC	44
7.	Análisis clase textural de suelo	45
8.	Análisis físico químico del suelo	46
9.	Formato colecta de datos del ensayo	47
10.	Equipos, materiales y reactivos para preparar inóculos de HMA	47
11	Equipos, materiales y reactivos para inoculación de HMA	48
12	Equipos, materiales y reactivos para obtener inóculos de <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	48
13	Materiales y reactivos para inoculación del patógeno	48
14	Listado de equipos, materiales y reactivos para establecimiento de cultivo de amaranto	49
15	Listado de equipos, materiales y reactivos para estimación de colonización de micorrizas	49
16	Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) de altura de planta en (cm)	50
17	Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) de número de hojas	50
18	Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) de longitud de hojas (cm)	50

RESUMEN

El amaranto es una planta con excelentes propiedades nutricionales, por lo que debería ser una opción de seguridad alimentaria en Nicaragua, sin embargo, como todo cultivo, sufre daños por varios patógenos, entre ellos *Sclerotinia sclerotiorum*, hongo capaz de provocar graves daños durante el desarrollo vegetativo e incluso la muerte. El ensayo se realizó en el Centro de Investigación en Biotecnología/UNAN Managua, 2022-2023. El objetivo fue evaluar el comportamiento de hongos micorrízicos arbusculares en el ciclo vegetativo de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) y su efecto sobre el hongo *Sclerotinia sclerotiorum* bajo condiciones semi controladas. Se realizó análisis de varianza y una prueba de comparación múltiple de medias Tukey ($p \leq 0.05$) a las variables de crecimiento (altura de planta; número, longitud y ancho de hoja; y diámetro del tallo); severidad de la enfermedad y estimación de porcentaje de micorrización. El tratamiento con el género 1 de HMA y los esclerocios aislados de papa (M1EP) mostró la mayor altura con 18.1 cm, Número de Hojas (16) y Longitud de Hoja (6 cm); el tratamiento con el género 2 de HMA y los esclerocios aislados de tomate (M2ET) presentó los menores resultados en altura de planta (6.2 cm), número de hojas (6) y longitud de hoja (1 cm), ancho de hoja y diámetro del tallo no fueron estadísticamente significativos. Todos los tratamientos presentaron micorrización por encima de 90% a excepción de M1EF (género HMA 1 con esclerocios aislados de frijol) con 74.8%. El tratamiento que incluyó el consorcio de HMA y esclerocios aislados de tomate (MCET) presentó el mayor porcentaje de severidad de enfermedad (83.5), los tratamientos M1EP y M2EF presentaron el menor porcentaje de severidad (16.5), en los demás tratamientos se registró 50%. El valor más alto del ABCPE (9060%/días) se observó en el tratamiento MCET donde se combinaron los dos HMA y la planta estaba expuesta a los esclerocios del patógeno aislados de una planta de tomate. El valor más bajo del ABCPE (173%/días) se encontró en el tratamiento M2EF, inoculado con la cepa 2 del HMA y se inocularon a la vez con los esclerocios de *S. sclerotiorum* aislados de una planta de frijol.

Palabras clave: Amaranto, micorrización, esclerocios, crecimiento vegetativo, severidad.

ABSTRACT

Amaranth is a plant with excellent nutritional properties, making it a viable food security option in Nicaragua. However, like all crops, it is susceptible to damage from various pathogens, including *Sclerotinia sclerotiorum*, a fungus capable of causing severe damage during vegetative development and even death. This trial was conducted at the Biotechnology Research Center/UNAN Managua, 2022-2023. The objective was to evaluate the behavior of arbuscular mycorrhizal fungi during the vegetative cycle of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) and their effect on the fungus *Sclerotinia sclerotiorum* under semi-controlled conditions. Analysis of variance and Tukey's multiple comparison test ($p \leq 0.05$) were performed on the following variables: growth (plant height; number, length, and width of leaves; and stem diameter); disease severity; and estimated percentage of mycorrhization. The treatment with AMF genus 1 and sclerotia isolated from potato (M1EP) showed the greatest height (18.1 cm), number of leaves (16), and leaf length (6 cm). The treatment with AMF genus 2 and sclerotia isolated from tomato (M2ET) showed the lowest results in plant height (6.2 cm), number of leaves (6), and leaf length (1 cm). Leaf width and stem diameter were not statistically significant. All treatments showed mycorrhization above 90%, except for M1EF (AMF genus 1 with sclerotia isolated from bean) at 74.8%. The treatment that included the AMF consortium and sclerotia isolated from tomato (MCET) showed the highest percentage of disease severity (83.5%), while treatments M1EP and M2EF showed the lowest percentage of severity (16.5%). The remaining treatments showed 50%. The highest AUDPC value (9060%/days) was observed in the MCET treatment, where the two AMF strains were combined and the plant was exposed to sclerotia of the pathogen isolated from a tomato plant. The lowest AUDPC value (173%/days) was found in the M2EF treatment, inoculated with AMF strain 2 and simultaneously inoculated with *S. sclerotiorum* sclerotia isolated from a bean plant.

Key words: Amaranth, mycorrhization, sclerotia, vegetative growth, severity.

I. INTRODUCCIÓN

La familia *Amaranthaceae* comprende alrededor de 70 géneros y cerca de 800 especies de hierbas anuales de origen tropical, que se adaptan bien a climas templados. Sus principales centros de distribución son los trópicos de América y la India, aun cuando en los trópicos de África y Australia existe un importante número de especies (Feine et al., 1979; Sauer, 1967, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 27).

Amaranthus cruentus L., especie para la producción de grano, es originaria de América Central, probablemente de Guatemala y Sureste de México, donde se cultiva y se encuentra ampliamente distribuida (Grubben, 1975; Grubben y Sloten, 1981, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 11). La raza mexicana perteneciente a la especie *cruentus*, tiene mayor potencial para formar variedades mejoradas para altas latitudes, debido a su respuesta al fotoperíodo. Alcanza alturas entre 1.5 a 2.5 metros; en clima templado el ciclo biológico dura alrededor de 145 días, pero en clima cálido puede reducirse hasta 85 días (Espitia et al., 2010, p. 47).

Entre las enfermedades en amaranto está la “podrición marrón del tallo” o esclerotiniosis, causada por el hongo *Sclerotinia sclerotiorum*, produciendo lesiones de color marrón en el tallo e inflorescencias; en hojas produce clorosis y muerte. En ataques severos se observan pudriciones a lo largo del eje central de la inflorescencia para posteriormente ocasionar marchitez (Noelting y Sandoval, 2005, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 98).

Otros síntomas de esta enfermedad, según Fuentes et al. (2014, p. 9), son la caída prematura de los granos y en otros casos evitando la formación de éstos, deformación de la panoja creando varias formas geométricas, en tallos los síntomas se inician como pequeñas áreas de tejido decolorado, luego se observa micelio de color blanco y esclerocios en la médula central.

Para el control de las plagas y enfermedades se recomiendan acciones preventivas para evitar el uso de químicos que afecten o disminuyan la población de insectos y microorganismos benéficos y lleven al desarrollo de resistencia por parte de los patógenos, además de contribuir a la contaminación ambiental. Una de estas medidas preventivas es el uso de microorganismos

benéficos, entre los que están los hongos formadores de micorrizas (Parra Cota y Délano Frier, 2012, p. 117).

Los microorganismos benéficos juegan un papel fundamental; entre ello, se destacan los hongos formadores de micorriza arbuscular (MA), (Azcón, 2000, como se citó en Sierra, 2007, p. 192).

En cuanto al componente biológico que determina la fertilidad del suelo, es reconocido que la gran mayoría de plantas captan los nutrientes por medio de interacciones que establece con los microorganismos que viven en la rizosfera, especialmente con aquellos que se han denominado simbioses. De estos simbioses de la raíz, los hongos denominados micorriza arbuscular (AM), son tal vez las asociaciones más comunes que se establecen en la mayoría de las especies de plantas y probablemente son, en cantidad, las más importantes. Esta simbiosis facilita la captación de fósforo, un nutriente limitante en la mayoría de los suelos, además de otras funciones importantes que ejerce la simbiosis (hongo-raíz), con múltiples beneficios para la planta (Sierra, 2007, pp. 192-193).

Los hongos micorrizicos arbusculares constituyen un insumo microbiológico promisorio para el desarrollo de una agricultura sostenible; su papel en el funcionamiento de los ecosistemas y su potencial como fertilizantes biológicos, son quizás motivos suficientes para considerarlos como uno de los componentes importantes en la agroecología moderna (Sierra, 2007, p. 192). Por consiguiente, con esta investigación se pretende evaluar el comportamiento de hongos micorrizicos arbusculares en el ciclo vegetativo de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) y su efecto sobre el hongo *Sclerotinia sclerotiorum* bajo condiciones semi controladas.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento de hongos micorrízicos arbusculares en el ciclo vegetativo de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.), el porcentaje de micorrización y su efecto sobre el hongo *Sclerotinia sclerotiorum* bajo condiciones semi controladas.

2.2. Objetivos específicos

Determinar el comportamiento vegetativo del cultivo de amaranto en presencia de hongos micorrízicos arbusculares y el patógeno *Sclerotinia sclerotiorum*.

Estimar los porcentajes de micorrización de las cepas de hongos micorrízicos arbusculares en presencia del patógeno *Sclerotinia sclerotiorum*.

Determinar el proceso infeccioso de *Sclerotinia sclerotiorum* sobre plantas de amaranto inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Origen del Amaranto

Las especies para producción de grano del género *Amaranthus* han sido cultivadas desde tiempos inmemoriales en el sur de Asia y probablemente son originarias de este lugar, sin embargo, no existen muchas evidencias que respalden esta afirmación. Otros autores, por el contrario, señalan que probablemente todas las especies para producción de grano son originarias de las Américas, mientras que las especies para verdura tienen origen en Asia y formándose centros secundarios de diversidad en las zonas productoras (Espitia et al., 2010, p. 11).

Las evidencias arqueológicas encontradas en México confirman el origen americano de las especies cultivadas para grano, ya que, las hojas y semillas del género *Amaranthus* fueron utilizadas por los habitantes de América prehistórica, mucho antes del proceso de domesticación de estas plantas. Las excavaciones realizadas por Richard MacNeish en el año 1964 indican que el hombre ya cultivaba esta planta durante la fase Coxcatlán (5200 a 3400 años a.C.), lo cual quiere decir que la domesticación del amaranto tuvo lugar en la misma época que la del maíz (Espitia et al., 2010, p. 11).

Amaranthus cruentus L., especie para la producción de grano, es originaria de América Central, probablemente de Guatemala y sureste de México, donde se cultiva y se encuentra ampliamente distribuida (Espitia et al., 2010, p. 11).

3.2. Taxonomía

La clasificación más ampliamente usada es la sugerida por Jonathan Deining Sauer en 1950, el género se divide en dos subgéneros: *Amaranthus* (plantas monoicas) y *Acnida* (L.) *Aellen* ex K. R. Robertson (plantas dioicas) (Sauer, 1950, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 31). El subgénero *Amaranthus* se ha dividido en dos secciones con base en detalles morfológicos de la inflorescencia y de la flor: *Amaranthus* (Sect. *Amaranthotypos* Dumort; “*Paniculati*” de Small)

y *Blitopsis* Dumort (Grupo “Crassipes” de Small) (Koshoo y Pal, 1972, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 31). En la sección *Amaranthus* se incluyen entre otras especies: *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. caudatus*. Plantas con flores pentámeras e inflorescencias terminales de crecimiento indeterminado que se utiliza para producción de grano (Espitia et al., 2010, p. 31). A continuación, su clasificación taxonómica:

Reino: Plantae

División: Fanerógama

Tipo: Embryophyta siphonogama

Subtipo: Angiospermas

Clase: *Dicotyledoneae*

Subclase: *Archyclamidae*

Orden: Centrospermales

Familia: *Amaranthaceae*

Género: *Amaranthus*

Sección: *Amaranthus*

Especie: *cruentus* L.

(Carvajal, 2017, p. 12).

3.3. Género *Amaranthus*

El amaranto es una planta herbácea anual que pertenece al género *Amaranthus*, es predominantemente tropical, incluye cerca de 70 especies nativas de los trópicos y de las regiones templadas de todo el mundo; de las cuales 40 son de América y el resto pertenece a Australia, África, Asia y Europa. Dentro del género se encuentran las especies *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. caudatus* que son las más importantes para la producción de grano. El amaranto es conocido por su alto contenido y calidad biológica de proteínas, alto contenido de vitamina E, amplia gama de usos en la alimentación humana y potencial agronómico, como la resistencia a sequía y amplia adaptación a diversos ambientes. Todas estas características permiten postular que el amaranto es un cultivo potencial para aliviar problemas de desnutrición y alimentarios (Espitia et al., 2010, p. 7).

3.4. Fisiología y agronomía del amaranto

3.4.1. Fisiología

Las especies del género *Amaranthus* tienen una amplia distribución, ha sido cultivado en ambientes que van desde los tropicales, hasta los semiáridos. Aun cuando el amaranto ha sido cultivado tradicionalmente en regiones comprendidas entre el ecuador y 30° de latitud, puede ser cultivado en latitudes mayores, si se utilizan materiales que puedan florecer, aun cuando no cuenten con el fotoperíodo de los trópicos (National Research Council, 1985, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 79). El cultivo del amaranto para producción de grano se ha concentrado en regiones altas tales como la Sierra Madre, Los Andes y Los Himalayas (Grubben y Sloten, 1981, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 79).

La planta tiene hojas alternadas, enteras y pecioladas. La densidad estomatal en algunas especies es del 70 % de la superficie epidérmica abaxial; poseen la anatomía tipo Kranz típica de las plantas con la ruta fotosintética C₄. El tallo de amaranto se caracteriza por un engrosamiento secundario irregular en el que el floema está presente dentro del xilema secundario. En la raíz también se presenta el engrosamiento irregular, la cual puede alcanzar 2.4 m de profundidad y extenderse hasta 1.8 m, esto explica la gran capacidad de recuperación que tiene el amaranto después de un riego de recuperación (Kigel, 1994, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 79).

3.4.2. Fotosíntesis

El amaranto se encuentra dentro del grupo de plantas que realizan su fotosíntesis a través de la ruta especializada C₄. Esta es una modificación del proceso fotosintético normal, que hace más eficiente la utilización del CO₂ disponible en el aire, concentrándolo en los cloroplastos de células especializadas que rodean las vainas vasculares de las hojas. La fotorrespiración, proceso mediante el cual se elimina CO₂, que es la unidad básica para la producción de carbohidratos, no se presenta en las plantas C₄ (National Research Council, 1985; Hauptli y Jain, 1977, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 79).

Amaranthus es conocido por su alta tasa fotosintética, elevada eficiencia en el uso del agua, esto lo hace una excelente opción para sistemas de producción marginal (Kigel, 1994, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 79).

3.4.3. Fotoperíodo

Muchos de los amarantos son sensibles a la longitud del día. Algunos materiales de *A. cruentus* originarios de Nigeria, en su lugar de origen permanecen por un largo período en crecimiento vegetativo y cuando son sembrados 40° Latitud Norte producen semilla en un período de tiempo muy corto (National Research Council, 1985, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 80).

Hay reportes de variabilidad entre y dentro de especies de amaranto, señalando que una mayor sensibilidad al fotoperíodo se expresa por la reducción en el número de hojas o disminución en la estatura de la planta, debido al menor número de entrenudos y un descenso en la duración del ciclo (Espitia, 1992; Kigel, 1994, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 80).

3.4.4. Altitud

La elevación no es una limitante muy severa en la adaptación del amaranto ya que crece satisfactoriamente desde el nivel del mar hasta 3,200 metros de altitud (National Research Council, 1985, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 80). *A. cruentus* está concentrada principalmente en un rango de 1,000 a 2,400 msnm (Espitia et al., 2010, p. 80).

3.4.5. Temperatura

El amaranto presenta un mejor desarrollo cuando las altas temperaturas diarias alcanzan cuando menos 21 °C. Muchos materiales han mostrado una germinación óptima cuando la temperatura es de 16 a 35 °C; la velocidad de emergencia es mayor cuando las temperaturas se encuentran cercanas al límite superior de este rango. *A. cruentus* es tolerante a altas temperaturas, pero no resistente a heladas. El crecimiento cesa a temperaturas cercanas a 8 °C y las plantas sufren daños por debajo de los 4 °C (National Research Council, 1985, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 80).

3.4.6. Suelo

El amaranto puede ser cultivado en una amplia variedad de suelos. El mejor tipo de suelo para el cultivo del amaranto son los suelos francos bien drenados (Kauffman et al., 1984b; Weber et al., 1985, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 81). El amaranto requiere suelos con buen drenaje y parece ser que se desarrolla mejor en condiciones neutras o básicas (pH arriba de 6), sin embargo, esto no ha sido bien estudiado. Aunque el género no es conocido por su alta tolerancia a la salinidad y alcalinidad, se ha visto que algunas especies sí presentan estas características (National Research Council, 1985, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 81).

3.4.7. Precipitación

Para que las semillas de amaranto germinen, necesitan buena humedad del suelo, pero una vez que las plántulas se han establecido, pueden crecer bien aun con limitantes de agua, de hecho, el amaranto crece mejor en condiciones de baja disponibilidad de humedad y altas temperaturas (National Research Council, 1985, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 81). El amaranto es tolerante a la sequía, si bien se dice que, este cultivo no es para zonas desérticas, sí tiene un excelente potencial en áreas de baja precipitación (Kauffman y Hass, 1984; Kauffman et al., 1984 y Weber et al., 1985, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 81).

3.4.8. Nutrición

La definición de los requerimientos nutricionales del cultivo del amaranto dependerá de las condiciones ambientales y de suelo donde sea cultivado. Se sabe que el Nitrógeno (N) es el elemento más restrictivo en el crecimiento de un cultivo, en amaranto se menciona que a medida que el ambiente sea más favorable se deberá aplicar mayor cantidad de N (Stallknecht y Schulz-Schafer, 1993, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 81).

Se han evaluado dosis de 0 a 180 kg de N ha⁻¹ en tres variedades de amaranto encontrando un incremento del 45% de rendimiento con la dosis más alta; también se incrementó la producción de biomasa, el número de semillas por planta y el peso de mil semillas no fue afectado por la aplicación de N (Elbehri et al., 1993; Myers, 1998, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 81).

Se han observado incrementos del 80% en el rendimiento al aplicar 80 kg de N ha⁻¹ (Apaza-Gutiérrez et al., 2002, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 81). En *A. cruentus*, aplicaciones de 50 y 100 kg de N ha⁻¹ produjeron incrementos en el rendimiento y en el peso de mil granos, comparados con 0 kg de N ha, mientras que la fertilización no produjo efecto en materia seca y altura de planta (Pospisil et al., 2006, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 82). En México se reporta que a nivel comercial se utilizan 100 kg de N ha⁻¹ (Espitia, 1992, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 82).

En relación con la aplicación de fósforo, se reporta un ligero incremento en el rendimiento cuando se incrementa la dosis de este elemento (Gupta y Thimba, 1992, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 82). En zonas donde se aplica fertilización química se aplican 50 kg de P ha⁻¹ (Espitia, 1992, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 82).

3.4.9. Densidades de población

En variedades de *A. cruentus* se reportan 150 000 a 200 000 plantas por ha, con rendimientos de 2 a 2.5 ton ha⁻¹. Con densidades de población entre 240 000 y 360 000, se pueden obtener plantas de menor porte con menor ramificación y diámetro de tallo, lo cual mejora la uniformidad en la madurez, secado de la planta, secado de grano y cosecha mecánica (Edwards, 1981; Hass, 1983, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 82). García et al. (2009, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 82) reportan mayor rendimiento al probar con densidades de hasta 125 000 plantas por ha.

3.5. Sistemas de producción del amaranto

3.5.1. Sistema convencional de trasplante

El cultivo es de temporal y pasa por dos etapas: el almácigo y el trasplante. El almácigo, se prepara a finales de abril o principios de mayo, para efectuar el trasplante al inicio del invierno (mayo-junio). Se realizan labores, aproximadamente 30 días después de trasplantar y cuando las plantas tienen aproximadamente 1 m, luego las plantas permanecen sin ninguna labor hasta cosechar. El amaranto se cosecha en la última semana de noviembre o a principios de diciembre,

se deja secar y mecánicamente se recupera el grano, se tamiza y se almacena en costales de manta para evitar plagas. Se sugiere evitar sembrar amaranto dos años consecutivos en el mismo suelo, por agotamiento de nutrientes (Early, 1977, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 85).

3.5.2. Sistema convencional de siembra directa

Hay dos técnicas básicas para sembrar el amaranto: el bandeado en el cual las semillas son sembradas en surco y luego se aclaren y el mateado, en el cual las semillas son espaciadas aparte y el aclareo no es necesario. En ambos sistemas se harán los surcos a 60 cm, y se siembra en lo alto del surco (Espitia et al., 2010, p. 89).

3.5.3. Sistema intensivo

Para elegir el lugar de la siembra hay que tomar en cuenta algunas consideraciones, como la maleza que se presente en el terreno, ya que hay especies de ésta cuyo género es el mismo que el de amaranto y al deshierbar es muy difícil distinguirlos, por lo cual, de preferencia se deberán seleccionar terrenos sin este problema. El amaranto es muy sensible a suelos arcillosos (pesados), éstos afectan el desarrollo de las raíces y consecuentemente el crecimiento de la planta. Los suelos arenosos (ligeros) con buen drenaje son los más recomendables para este cultivo. La siembra es mecanizada, puede ser en sistemas de labranza convencional o en labranza reducida, de lo cual dependerá la sembradora a utilizar, generalmente son sembradoras para granos pequeños. La mejor fecha de siembra, si se depende del invierno, es del 30 de mayo al 15 de junio, sin embargo, si se tiene la posibilidad de 2 a 3 riegos, la fecha óptima es del 15 de abril al 15 de mayo (Espitia et al., 2010, p. 91).

3.6. Características botánicas de *Amaranthus cruentus* L

Esta especie ha sido conocida con la sinonimia de *A. sanguineus* L (1763), *A. paniculatus* L. (1793) y *A. speciosus* Sims (1821), la más utilizada en la actualidad es el que Linneo le dio en 1759, *A. cruentus* (Sauer, 1950, 1967; Singh, 1961, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 46).

Es una planta herbácea de crecimiento erecto; alcanza hasta 2 m de altura, su tallo es simple y en ocasiones ramificado. Las hojas son elípticas, rombo-ovatinadas u ovato lanceoladas con el ápice agudo, obtuso o acuminado y la base cuneada o aguda. La inflorescencia cuando está completamente desarrollada presenta en la parte inferior espigas suaves y laxas y en la parte superior panículas. Las brácteas son pequeñas, con una punta delgada que se extiende más allá de las láminas, pero nunca tan larga como las ramificaciones del estilo; sin embargo, en algunas ocasiones sobrepasan los tépalos. Las flores presentan 5 tépalos rectos, oblongos u oblongos-obovatinados con ápices agudos; los tépalos internos son más cortos que los externos. El utrículo es circuncésil con un ápice en forma de torre. Las ramificaciones del estilo son delgadas y erectas. Las semillas pueden ser negras, marrones, blancas o amarillas. Los colores claros son los que se utilizan para la producción de grano, mientras que las plantas que presentan semillas de color oscuro son utilizadas como verduras u ornato (Grubben, 1976; Grubben y Sloten, 1981; Feine, 1979, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 46).

3.7. *Amaranthus cruentus* L. raza mexicana

Esta raza tiene mayor potencial para la formación de variedades mejoradas para altas latitudes, debido a su respuesta al fotoperíodo. Se originó en México en las zonas cálidas de los estados de Morelos, Puebla y Guerrero. Las plantas de esta raza alcanzan una altura de 1.5 a 2.5 m; en clima templado el ciclo biológico dura alrededor de 145 días, pero en clima cálido dicha duración se reduce hasta 85 días. Las hojas son rómbicas de color verde, dorado, rosa, rojo o púrpura. Presenta inflorescencias laterales en la parte superior del tallo y una inflorescencia apical dominante; la cual tiene de 36 a 56 panículas semicolgantes, cada una con 1 a 3 ramas. Los glomérulos tienen un promedio de 50 flores pistiladas. Las brácteas son más cortas que el utrículo. Las inflorescencias pueden ser de color verde, dorado, rosa, rojo, púrpura o variegadas; las brácteas de las flores son muy cortas, lo que da suavidad a la inflorescencia. Las semillas son blancas y en raras ocasiones negras y de tamaño medio a grande. Esta raza es poco sensitiva al fotoperíodo (Kauffman y Reider, 1984; Weber et al., 1985; Espitia, 1986, 1987 y 1994, como se citó en Espitia et al., 2010, p. 47).

3.8. Valor nutricional del amaranto

La característica más importante del amaranto es, sin duda, su alto valor nutritivo. Tanto la hoja como el grano poseen una interesante composición química y un valor nutricional superior comparados con otros granos: la FAO (2014) lo cataloga como un cultivo con la misma cantidad de nutrientes que la soya y capacidad productiva que podría aprovecharse. Las hojas de amaranto poseen una buena textura, sabor y calidad nutricional, por cada 100 g de hoja fresca contiene altos valores de calcio (0.262), hierro (0.0039), fósforo (0.067) y magnesio, así como ácido ascórbico (0.080), niacina (0.0014), vitamina A (6100 U.I.) y fibra (2.2) (Luis et al., 2018, p. 426).

La riqueza proteínica de las semillas de amaranto fluctúa de 14 a 17 %. Así también contienen diversos compuestos como péptidos antimicrobianos, inhibidores de proteasas, lectinas y compuestos antioxidantes. Algunas proteínas del amaranto contienen diversos péptidos con actividades antihipertensivas y anticancerígenas. Al igual que los cereales, contiene altas cantidades de almidón (50-60 %) de su peso seco. El 14-18 % de las proteínas en las semillas, corresponden a globulinas (principalmente 11S) ricas en lisina y aminoácidos azufrados, los cuales son esenciales para una óptima nutrición (Luis et al., 2018, pp. 426-427).

La principal proteína en el amaranto, descubierta y bautizada como amarantina es superior nutricional y funcionalmente a cualquier otra proteína vegetal conocida hasta ahora, ya que presenta un buen equilibrio a nivel de aminoácidos, incluyendo la lisina, esencial en la alimentación humana y que no suele encontrarse (o en poca cantidad) en la mayoría de los cereales. Los niveles de lisina son superiores a los de todos los cereales, igualmente presenta adecuadas cantidades de triptófano y aminoácidos azufrados, ausentes en otros vegetales (Mera et al., 2020, como se citó en Alemán, 2022, p. 8). El grano contiene de 6 a 10% de grasa, que se encuentran principalmente en el germen, que es rico en ácidos grasos polinsaturados (76%), especialmente en ácido linoleico (18:2) y el ácido linolénico (18:3), el cual se encuentra en pequeña proporción. Estos ácidos grasos para el ser humano son de interés vital porque proveen de energía, bajan el colesterol, inhiben la producción de coágulos de sangre y disminuyen el riesgo de enfermedades cardiovasculares. El aceite de amaranto se dice que contiene altas concentraciones de tocotrienoles, formas raras de la vitamina E que inhiben la enzima

dominante reguladora de la biosíntesis del colesterol (Mera et al., 2020, como se citó en Alemán, 2022, p. 8).

El grano no posee gluten por eso recomendado para celíacos y el cereal hecho papilla es adecuado en pacientes con problemas bucodentomaxilares, geriátricos, desnutridos y oncológicos. Por su contenido energético también es beneficioso para pacientes con requerimientos calóricos elevados (Mera et al., 2020, como se citó en Alemán, 2022, p. 9).

En un valor proteico ideal de 100, el amaranto posee 75, la leche vacuna 72, la soya 68, el trigo 60 y el maíz 44. Además la digestibilidad de su grano es del 93%. Las reducidas dimensiones de este gránulo facilitan su digestión, que resulta de 2 a 5 veces más rápida que el maíz. Cuando se realizan mezclas de harina de amaranto con harina de maíz, la combinación resulta excelente, llegando a índices cercanos de 100, porque el aminoácido que es deficiente en uno abunda en el otro. El grano de amaranto no posee gluten lo que lo hace apto para celíacos (personas con propensión a problemas diarreicos) (FAO, 2010, como se citó en Alemán, 2022, p. 9).

El amaranto contiene minerales y otros componentes entre ellos:

Hierro, con un valor aproximado de 9 mg, el amaranto contiene el doble y hasta el triple de la cantidad de hierro que poseen el trigo (unos 4,5 mg) y el arroz (alrededor de 3 mg) (el maíz tiene muy poco, solo alrededor de un por ciento).

Calcio, la semilla contiene aproximadamente 200 mg (en arroz: unos 25; trigo: entre 40 y 50).

Magnesio, en 100 g de semilla, el contenido aproximado es de 300 mg, el doble de lo que contienen el trigo (140 mg) y el arroz (150 mg).

Fósforo, entre 400 y 500 mg (en arroz, el contenido aproximado es de 120 mg); (trigo, harina blanca, aproximadamente 75 mg / harina integral, 340 mg).

Grasa, en 100 g de semilla, aproximadamente 8 a 9 g, (arroz y trigo, de 0,5 a 2 g), alrededor del 70% de la grasa son ácidos grasos insaturados, en una combinación muy apropiada para la alimentación humana (arroz blanco y trigo, entre 2 y 10%).

Vitaminas B1, aproximadamente 0,8 mg (en arroz, 0,4 mg; trigo, 0,4 a 0,5 mg). B9/B11, el contenido es de 50 µg por cada 100 g (en arroz, menos de 20 µg; trigo, harina blanca, aproximadamente 6 µg / harina integral, 30 µg).

Fibra, 14 a 15 g (en arroz, 1 a 4 g; trigo, 4 a 12 g, dependiendo del tipo de molienda).

Carbohidratos, por su estructura muy fina son fáciles de digerir, lo que implica que la energía que provee está disponible rápidamente en el metabolismo (Recalde, 2013, como se citó en Alemán, 2022, pp. 9-10).

3.9. Micorrizas

Las micorrizas son asociaciones mutualistas que se dan entre hongos y la mayoría de las plantas terrestres. Este tipo de asociaciones son fáciles de localizar en diferentes lugares, desde ecosistemas acuáticos hasta desiertos, es decir, se presentan en diversas altitudes y latitudes. Por ello, se reconoce su valor en términos de disponibilidad y facilidad de aprovechamiento en condiciones geográficas diversas. Los hongos que forman las asociaciones son simbioses biótrofos obligados, es decir, sólo pueden completar su ciclo de vida colonizando raíces de plantas hospedadoras. Este tipo de asociación simbiótica ha sido denominada como biofertilizante y bioprotector de cultivos. Asimismo, se considera eje fundamental de los programas de manejo integrado de suelos y cultivos (Carvajal y Mera, 2010, pp. 80-81).

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares pertenecen a la división Glomeromycota. El más abundante y diverso es el género *Glomus*, que consta de inoculantes fúngicos, es decir, hongos micorrízicos ampliamente utilizados en actividades agrícolas. La aplicación de inoculantes micorrízicos en los suelos contempla ventajas para cultivos agrícolas y forestales como: incremento de la tasa de crecimiento y tolerancia de las plantas frente a sequías y salinidad del suelo. La correcta selección y aplicación de hongos micorrízicos arbusculares mejora la nutrición vegetal, incrementa la resistencia de las plantas frente a microorganismos patógenos y condiciones de estrés, tanto biótico como abiótico. Además, la amplia gama de opciones y aplicabilidad de MA en diversas regiones hace que sea una técnica muy atractiva para sustituir, parcial o completamente, la fertilización química de los suelos (Carvajal y Mera, 2010, p. 81).

3.10. Hongo *Sclerotinia sclerotiorum*

3.10.1. Descripción

El moho blanco es causado por *Sclerotinia sclerotiorum*, un hongo que pertenece a la familia *Sclerotiniaceae*. Es un patógeno fúngico que destruye numerosos cultivos agrícolas (Hegedus y Rimmer, 2005; Bolton et al., 2006, como se citó en Ordoñez et al., 2018, p. 364). No tiene plantas hospederas específicas y, por tanto, infecta más de 400 especies vegetales, principalmente las dicotiledóneas (Fernando et al., 2006, como se citó en Ordoñez et al., 2018, p. 364).

Las condiciones ambientales que favorecen la infección fúngica son la humedad excesiva y temperaturas de entre 15 y 25 °C (Saharan y Mehta, 2008, como se citó en Ordoñez et al., 2018, p. 364). La secreción de enzimas fúngicas, como las celulasas y las pectinasas que suavizan y degradan los tejidos vegetales, interviene en el proceso de infección de la planta (Fernando et al., 2004; Bolton et al., 2006, como se citó en Ordoñez et al., 2018, p. 364), así como en la producción de ácido oxálico, que tiene efectos tóxicos en el tejido del huésped (Hegedus y Rimmer, 2005, como se citó en Ordoñez et al., 2018, p. 364).

3.10.2. Síntomas y daño

El esclerocio está compuesto por tres capas: una capa externa gruesa y pigmentada, una capa intermedia fina, y una capa interna de color blanco conocida como la médula interna (Punja y Damiani, 1996; Bardin y Huang, 2001, como se citó en Ordoñez et al., 2018, p. 365). Dependiendo de las condiciones ambientales, los esclerocios crecen debajo de la tierra, de una o dos maneras: 1) forman micelio que puede infectar las raíces y causar pudrición y marchitez de los tejidos de la planta, o 2) producen apotecios, en los cuales se producen y liberan las ascosporas, y, posteriormente, infectan los órganos aéreos de la planta (Humpherson-Jones y Cooke, 1977; Mónaco et al., 1998; Bolton et al., 2006, como se citó en Ordoñez et al., 2018, p. 365).

3.10.3. Epidemiología

Una característica de este patógeno es la formación de esclerocios, estructuras fúngicas de resistencia y propagación, que en condiciones favorables se mantienen viables durante varios años en el suelo (Bae y Knudsen, 2007; Calvo y Cary 2015; Smith et al., 2015, como se citó en Ordoñez et al., 2018, pp. 364-365).

Se han identificado tres etapas o fases en la formación de esclerocios: 1) inicio: formación de hifas, 2) desarrollo: crecimiento de hifas más grandes, y 3) madurez: creación de límites en la superficie, consolidación interna y melanización (Le Tourneau, 1979; Rollins y Dickman, 2001; Bolton et al., 2006; Saharan y Mehta, 2008, como se citó en Ordoñez et al., 2018, p. 365). En las etapas de inicio y madurez pueden influir factores abióticos como el fotoperiodo, la temperatura, el oxígeno y la disponibilidad de nutrientes (por ejemplo, fuentes de carbono); la morfogénesis y el desarrollo de esclerocios comienzan entre las 12 y las 24 h del crecimiento fúngico (Hansberg y Aguirre, 1990, como se citó en Ordoñez et al., 2018, p. 365).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del estudio

La investigación se realizó en Managua, en el Centro de Investigación en Biotecnología (CIB) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), ubicado en el Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés, en las coordenadas geográficas UTM 1339564 N y 0579055 E. El estudio se realizó en el período enero 2022 - agosto 2023.

Managua se caracteriza por tener una topografía inclinada hacia la costa del lago Xolotlán o banda norte; la temperatura media anual es de 26.8 °C, oscilando entre 28.8 °C (abril) y 25.8 °C (diciembre). El clima es el de Sabana Tropical (Aw) según clasificación Köppen; se presenta una marcada estación seca de cuatro a seis meses de duración (diciembre-abril). El período lluvioso va de mayo a octubre, con precipitación media anual de 1230.3 mm, variando entre 1059.5 (Asososca) y 1654 mm (Casa colorada), presentándose de Noreste a Sureste (Dirección General de Meteorología, 2008, como se citó en Uriarte et al., 2023).

4.2. Diseño metodológico

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, porque se utilizó la recolección de datos del crecimiento vegetativo, basado en la medición numérica de variables estructurales (altura de la planta, número de hoja, longitud de hoja, ancho de hoja y diámetro del tallo), incidencia y severidad de la enfermedad y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento de los hongos micorrícicos en el amaranto y su efecto frente al patógeno *Sclerotinia sclerotiorum*. Se consideró una investigación de tipo experimental, porque hubo una situación de control en la cual se manipularon de manera intencional las variables independientes (tipo de esclerocio y HMA), para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre las variables dependientes (estructurales, micorrización y severidad de la enfermedad). Por su temporalidad fue de tipo longitudinal, porque se recabaron datos en diferentes puntos del tiempo del experimento, para realizar la posterior inferencia de los resultados. El alcance fue de tipo correlacional debido a

que se quiso conocer la relación o grado de asociación entre las variables del estudio (Hernández et al., 2014).

4.3. Material biológico para utilizar

Se utilizó *Amaranthus cruentus* L. raza mexicana, las semillas fueron proporcionadas por el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Biotecnología del Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (CNIA-INTA). Las cepas de hongos formadores de micorrizas y los aislados de *Sclerotinia sclerotiorum* se obtuvieron de la colección microbiológica del Laboratorio de Microbiología de la Dirección de Ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional Agraria.

4.4. Diseño y manejo experimental

Se estableció un experimento bifactorial 3×3 en diseño completo al azar (BCA). El factor A estuvo constituido por dos tipos de cepas de micorrizas y el consorcio entre ellas (tres niveles del factor A), mientras que el factor B se conformó por tres tipos de aislados del patógeno, las cuales provinieron de cultivos de frijol, papa y tomate (tres niveles del factor B). La cantidad de esclerocios inoculados fue de cinco por planta. La combinación de los niveles del factor A con los del factor B dio como resultado nueve tratamientos, los cuales tuvieron cinco repeticiones. Además, se incluyó tres testigos: un testigo sólo con inoculante micorrízico (tres tratamientos \times cinco repeticiones), otro testigo sólo con el patógeno (tres tratamientos \times una dosis) y un testigo absoluto (cinco unidades experimentales). En total fueron 16 tratamientos con cinco repeticiones, lo cual dio como resultado 80 unidades experimentales (UE) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de tratamientos

Tratamientos	Descripción	Dosis HMA (g macetera ⁻¹)	Dosis del patógeno (esclerocios/planta)
T1	Testigo absoluto (TA)	-	-
T2	Testigo Esclerocio Papa (TEP) ¹	-	5
T3	Testigo Esclerocio Tomate (TET) ¹	-	5
T4	Testigo Esclerocio Frijol (TEF) ¹	-	5
T5	Testigo Micorriza 1 (TM1) ²	20	-
T6	Testigo Micorriza 2 (TM2) ²	20	-
T7	Testigo Micorriza Consorcio (TMC) ²	20	-

T8	Micorriza 1 Esclerocio Papa (M1EP)	20	5
T9	Micorriza 1 Esclerocio Tomate (M1ET)	20	5
T10	Micorriza 1 Esclerocio Frijol (M1EF)	20	5
T11	Micorriza 2 Esclerocio Papa (M2EP)	20	5
T12	Micorriza 2 Esclerocio Tomate (M2ET)	20	5
T13	Micorriza 2 Esclerocio Frijol (M2EF)	20	5
T14	Micorriza Consorcio Esclerocio Papa (MCEP)	20	5
T15	Micorriza Consorcio Esclerocio Tomate (MCET)	20	5
T16	Micorriza 2 Esclerocio Frijol (M2EF)	20	5

¹Los testigos *Sclerotinia* fueron inoculados solamente con el patógeno; ²Los testigos HMA fueron inoculados solamente con las micorrizas.

4.5. Preparación de inóculos de HMA

Para la multiplicación del inoculante HMA, se realizó tamizado del suelo y arena, la proporción fue de 70-30% respectivamente, luego se esterilizó y se agregó en las macetas, posterior se desinfectaron las semillas de sorgo con cloro al 0.5% durante un minuto y se enjuagaron con agua de grifo tres veces durante un minuto; se abrieron cinco surcos pequeños con aproximadamente 0.5 cm de profundidad en el sustrato, para depositar el inóculo HMA (10 g aproximadamente) y luego las semillas de sorgo, se taparon y regaron según necesidad (Figura 1) (INTA Nicaragua, 2017, 3m50s).

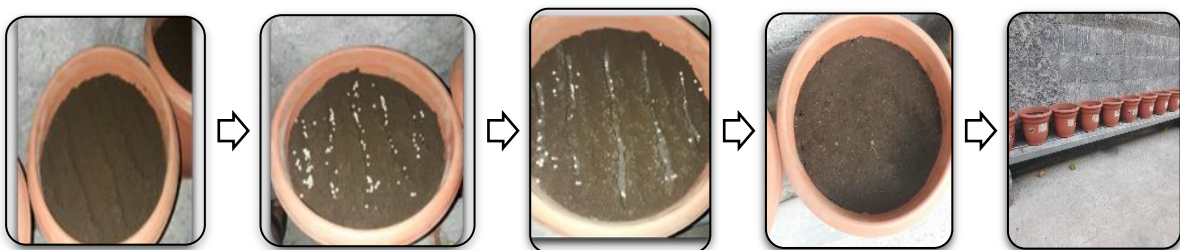


Figura 1. Proceso de reproducción de inóculo micorrícico

Cinco días antes de cumplirse el ciclo vegetativo de la gramínea, tres meses aproximadamente, se hizo corte de la parte aérea de la planta casi al ras del suelo y se interrumpió el riego, con el objetivo de provocar estrés, para proliferación de micorrizas, luego se recuperó todo el sustrato micorrizado de la maceta, se homogenizó sobre plástico, se tomó muestra para determinar cantidad de esporas, se esparció para secado al ambiente 24 horas y se guardó en saco macen para su posterior uso (Figura 2) (INTA Nicaragua, 2017, 3m50s).



Figura 2. Proceso de recuperación de inóculo micorrícico

Para determinar el número de esporas, se utilizó la metodología propuesta por la Universidad de Kansas, La Colección Internacional de Hongos Micorrízicos Vesiculares Arbusculares, métodos de extracción y enumeración de esporas (Universidad de Kansas).

Se extrajo una muestra de sustrato acompañado de raíces de 50 g aproximadamente en forma de pastel de la maceta, se licuó con agua a velocidad alta durante cinco segundos aproximadamente, para desintegrar los fragmentos radiculares, liberar esporas y separarlas de los agregados hifales adheridos a las raíces o suelo.

La mezcla resultante se vertió inmediatamente a través de dos tamices, el inferior de 38 y el superior de 500 μm , se prescindió de la mayor parte de arena, la cual quedó en la licuadora.

El material del tamiz inferior se recogió en un vaso de precipitado de 50 ml con una varilla de goma y luego se transfirió a tubos cónicos para centrifuga de 50 ml conteniendo solución de sacarosa al 60 % (azúcar de mesa y agua). La centrifugación se hizo a 9000 rpm durante tres minutos.

El sobrenadante de cada tubo se decantó inmediatamente en tamices de menor diámetro, el material recolectado se lavó durante dos minutos aproximadamente con agua de grifo y se transfirió a una placa Petri de vidrio. Las esporas se colectaron con una pipeta Pasteur de vidrio extruida de 23 cm, se colocaron en una placa Petri y se giró aleatoriamente para distribuir las esporas de manera homogénea.

4.6. Preparación de inóculo de *Sclerotinia sclerotiorum*

Procedimiento: para la multiplicación de esclerocios, 3 unidades de estos se inocularon por quintuplicado en placas Petri conteniendo agar PDA; se incubaron en oscuridad de 10 a 15 días a temperatura ambiente, luego se colectaron (según crecimiento) y refrigeraron para posterior uso (Figura 3).

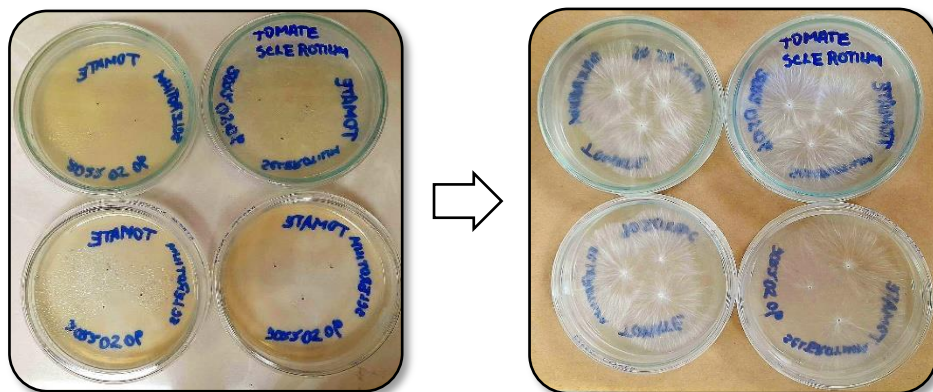


Figura 3. Proceso de multiplicación de inóculo del patógeno

4.7. Establecimiento del ensayo en condiciones semi controladas

Se realizó caracterización fisicoquímica del suelo, la que incluyó análisis de clasificación textural, pH, contenido de humedad, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y potasio disponibles; estos análisis se realizaron en UNAN Managua/ CIB.

Las unidades experimentales (UE) estuvieron constituidas por sacos de polipropileno (macen) de 17" x 23", antes de ser utilizados en el ensayo se ajustaron para una capacidad entre 2.8-3 kg de capacidad, fueron rociados con alcohol 70% (Figura 4).



Figura 4. Llenado de sacos de polipropileno con sustrato

El sustrato se constituyó de suelo y arena en una relación aproximada de 70-30% respectivamente (tamizado fino de 2 mm), luego de la esterilización en autoclave a 121 °C durante 30 minutos (Figura 5).

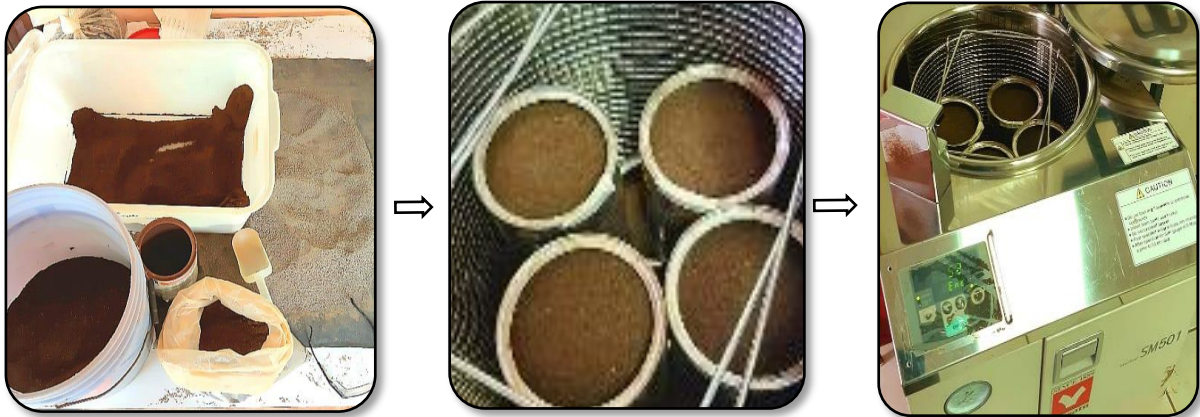


Figura 5. Proceso de preparación de sustrato

Se realizó análisis de conteo de bacterias heterótrofas (Fernández et al., 2006), para comprobar esterilidad. Se hicieron diluciones seriadas desde 10^{-1} hasta 10^{-6} a partir de 10 g de sustrato esterilizado, se inoculó por duplicado en placas Petri con agar conteo aeróbico estéril, luego de 48 horas a 35 °C de incubación el resultado fue negativo (Figura 6).

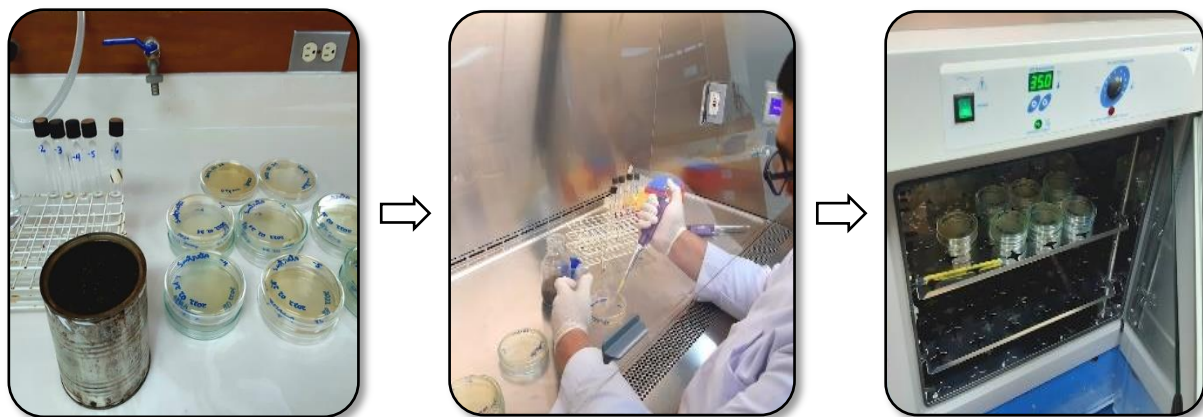


Figura 6. Proceso de análisis de bacterias heterótrofas

Las semillas de amaranto se desinfectaron en placas petri con hipoclorito de sodio al 1% durante un minuto, luego se enjuagaron con agua de grifo tres veces por un minuto y se hizo la siembra; en cada saco se sembraron 10-15 semillas a una profundidad aproximada de 0.5 cm, una vez hecha la siembra, se mantuvo húmedo el sustrato hasta la emergencia de plántulas (Figura 7).



Figura 7. Siembra y germinación de amaranto

Se realizó raleo y aporque a los 14 dds, el riego se hizo según necesidad o por lluvia hasta finalizar el experimento. Para evitar presencia de plagas, se realizaron aplicaciones de *Bacillus thuringiensis* (5 ml/l + 5 ml/l de tween 20) y *Beauveria bassiana* inoculado en arroz (1 g/l + 5 ml/l de tween 20), ambos biológicos de manera gradual (Figura 8).



Figura 8. Proceso de raleo

4.8. Inoculación de micorrizas

La inoculación de los HMA individuales y consorcio se realizó durante la siembra del amaranto, primeramente, se pesaron 20 g (figura 9), se depositaron de forma homogénea bajo las semillas y luego se tapó con el sustrato.



Figura 9. Pesaje de inóculo HMA

4.9. Inoculación del patógeno

Se realizó a los 15 dds, se abrieron cinco pequeños agujeros cercanos a la planta, con pinza se depositaron cinco esclerocios, luego se tapó con el mismo sustrato (Figura 10).



Figura 10. Proceso de inoculación del patógeno

4.10. Registro de variables de crecimiento vegetativo

Utilizando el formato de colecta (Anexo 10), regla, lapicero y móvil, se realizaron mediciones semanales de las siguientes variables (Figura 11):

Altura de la planta (cm), se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice del tallo.

Número de hojas.

Longitud de hoja (cm), se midió en el punto de inicio del peciolo hasta el ápice.

Ancho de la hoja (cm), se midió en el punto más ancho de la hoja.

Díámetro del tallo (cm), se midió en el punto medio transversal del tallo.



Figura 11. Proceso de toma de datos de variables de crecimiento

4.11. Estimación de colonización de micorrizas

La tinción de raíces y el cálculo de parámetros de estimación de micorrización se hizo con la metodología descrita por (Dodd et al., 2001). Las muestras de raíces se cortaron en trozos de aproximadamente un cm, se lavaron con agua de grifo hasta dejarlas libres de suelo, luego se colocaron en solución al 2% de hidróxido de potasio (KOH)/ 80°C /15 minutos, lavado con agua de grifo, después en solución de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30% /temperatura ambiente /10 min, posteriormente agua de grifo, se introdujeron en solución de ácido clorhídrico (HCL) al 2% / temperatura ambiente/ cinco min, nuevamente enjuague con agua de grifo, posterior se sumergieron en solución de anilina azul 0.0125% / 80°C/ 30 min, sin eliminar el colorante se colocaron en ácido láctico 85% /temperatura ambiente/ cinco min, se ubicaron las raíces teñidas en porta objeto con cubre objeto y se observaron en microscopio para determinar estimación de colonización (Figura 12).

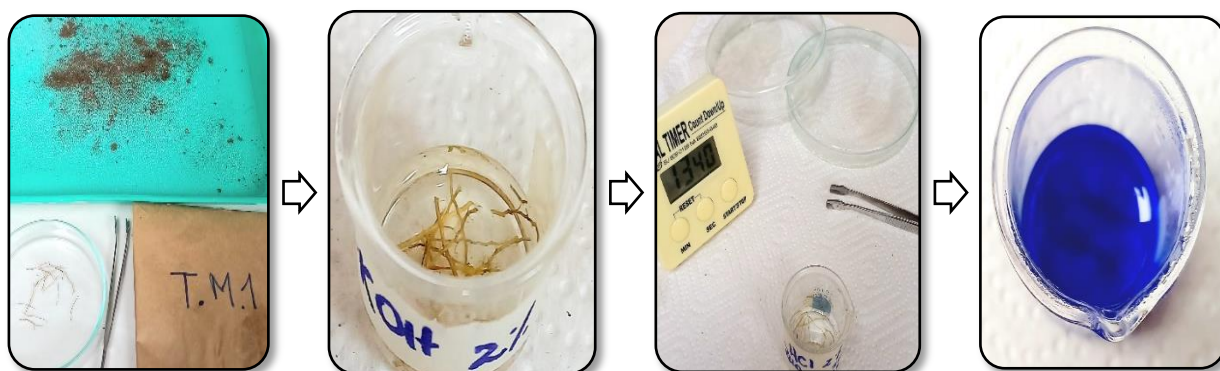


Figura 12. Proceso de tinción de raíces

4.12. Variables epidemiológicas

Las reacciones de la enfermedad se evaluaron por la incidencia y la severidad de los síntomas. La severidad se evaluó en una escala de calificación de 0 a 4 según el porcentaje de follaje con amarillamiento o necrosis en progresión acrópeta (0 = 0%, 1 = 1 a 33%, 2 = 34 a 66%, 3 = 67 a 100% y 4 = planta muerta). La incidencia de síntomas foliares, I, (en una escala de 0 a 1) y los datos de severidad, S, (categorizados de 0 a 4) se utilizaron para calcular un índice de intensidad de la enfermedad (IIE) (1) mediante la ecuación $IIE = (I \times S) / 4$. Así, IIE expresa el valor medio

de la intensidad de la enfermedad en un momento dado como una proporción de la cantidad máxima posible de enfermedad (Navas et al., 1998). Se hicieron registros fotográficos de la incidencia y severidad de la enfermedad en las plantas.

4.13. Análisis de datos

Los datos obtenidos de las variables de crecimiento fueron procesados mediante análisis de varianza y una prueba de comparación múltiple de medias Tukey ($p \leq 0.05$) para determinar si había diferencias significativas entre los tratamientos, no sin antes comprobar Normalidad de datos y Homogeneidad de varianza mediante las pruebas estadísticas Shapiro Wilks, Shapiro Francia y Levene. Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa estadístico INFOSTAT 2017.

La severidad fue expresada en porcentaje y los valores de severidad se utilizaron para calcular el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de acuerdo con la fórmula de Shaner y Finney (1977, como se citó en Castillo y Jiménez, 2020, p. 134):

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Donde, $ABCPE$ = área bajo la curva de progreso de la enfermedad; y = porcentaje de follaje afectado en cada lectura; t = tiempo de cada lectura; n = número de lecturas.

En el análisis de la severidad y del ABCPE se tomaron solamente 12 tratamientos de los 16 que se evaluaron. Estos 12 tratamientos fueron los que contenían los aislados patógenos solos y en combinación con las micorrizas.

El modelo aditivo lineal utilizado en el experimento fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

donde:

$i = 1, 2, 3, \dots, t =$ tratamientos

$j = 1, 2, 3, \dots, r =$ repeticiones

Y_{ij} = La j -ésima observación del i -ésimo tratamiento

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento

β_j = Estimador del efecto debido al j -ésimo bloque

ϵ_{ij} = Efecto aleatorio de variación

(Pedroza y Dicovsky, 2007).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Comportamiento vegetativo del cultivo de amaranto en presencia de hongos micorrízicos arbusculares

5.1.2. Altura de la planta (cm)

Monsalvo y Oliver (2004), indican que la variable altura de la planta está asociada al rendimiento, a mayor altura se han registrado rendimientos altos, sin embargo, según Olán et al. (2012), plantas con mucha altura presentan problema de acame y dificultad para cosecha mecanizada.

Se hizo comparación de la altura en los géneros micorrízicos y el consorcio, HMA1 frente al patógeno aislado de papa (M1EP) en las tres fechas (8.7, 13.7 y 18.1), fue superior a M1EF (6.6, 8.4 y 9.7) y M1ET (6.1, 5.9 y 7.4). Prevalció el comportamiento de altura utilizando HMA2, M2EP obtuvo 8.3, 10.7 y 13.1, superior a M2EF (6.2, 8.4 y 11.8) y M2ET (3.6, 5.3 y 6.2). Las alturas utilizando el consorcio HMA presentaron cambios, MCEF obtuvo 8.8, 12 y 14.3, desplazando a MCEP (7.1, 10 y 13) y MCET manteniéndose con 4.7, 5.5 y 6.6.

Según los resultados en esta variable, HMA1 y el consorcio son posibles opciones fitosanitarias ante esta enfermedad, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Acevedo y Vivas (2021), quienes determinaron que probablemente el tratamiento consorcio de géneros micorrízicos fue el que más ayudó al amaranto a obtener la mayor altura. En la separación de medias (Cuadro 2) del análisis de varianza (anexo 16), el HMA1 y el consorcio sobresalen en los resultados, por presentar diferencias estadísticamente significativas ($p= 0.0005$).

Cuadro 2. Separación de medias Tukey de altura de plantas en (cm) por tratamiento

Tratamientos	Media ± ES
Testigo Micorriza 1 (TM1)	18.40 ± 1.77 a
Testigo Micorriza Consorcio (TMC)	14.70 ± 1.77 ab
Micorriza 1 Esclerocio Papa (M1EP)	13.50 ± 1.77 abc
Testigo Esclerocio Papa (TEP)	13.30 ± 1.77 abc
Micorriza Consorcio Esclerocio Frijol (MCEF)	11.70 ± 1.77 abc
Micorriza 2 Esclerocio Papa (M2EP)	10.70 ± 1.77 abc
Testigo absoluto (TA)	10.57 ± 1.77 abc
Testigo Micorriza 2 (TM2)	10.57 ± 1.77 abc
Micorriza Consorcio Esclerocio Papa (MCEP)	10.03 ± 1.77 abc
Testigo Esclerocio Frijol (TEF)	9.60 ± 1.77 abc
Micorriza 2 Esclerocio Frijol (M2EF)	8.80 ± 1.77 bc
Micorriza 1 Esclerocio Frijol (M1EF)	8.23 ± 1.77 bc
Testigo Esclerocio Tomate (TET)	7.20 ± 1.77 bc
Micorriza 1 Esclerocio Tomate (M1ET)	6.47 ± 1.77 bc
Micorriza Consorcio Esclerocio Tomate (MCET)	5.60 ± 1.77 bc
Micorriza 2 Esclerocio Tomate (M2ET)	5.03 ± 1.77 c
N	48
R ²	0.65
CV	29.80
(F; p)	(4.00; 0.0005)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Los valores constituyen la media de 5 réplicas. ES: error estándar. N: número de datos en análisis. CV: coeficiente de variación. F: fisher calculado. p: probabilidad según Tukey.

5.1.3. Número de hojas

Se hizo comparación del número de hojas en los géneros micorrícicos y el consorcio, HMA1 frente al patógeno aislado de papa (M1EP) en las tres fechas, el resultado fue de 5, 10 y 16, superior a M1EF (4, 7 y 8) y M1ET (4, 6 y 7).

El HMA2 presentó las mayores cantidades en las primeras dos fechas, el tratamiento M2EP obtuvo 5 y 7 unidades igual a M2EF, pero superior a M2ET (4 y 6). En la tercera fecha sobresalió M2EF obteniendo 11, superior a M2EP (10) y M2ET (6). La cantidad de hojas utilizando el consorcio HMA en las tres fechas no fue muy diferente entre tratamientos, sin embargo, fue dominado por MCEF (6, 9 y 9), muy similar a MCEP (4, 9 y 8), pero sí superior a MCET (4, 5 y 7).

Los resultados en esta variable, HMA1 y el consorcio (al igual que en altura) son posibles opciones fitosanitarias ante esta enfermedad, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Acevedo y Vivas (2021), quienes determinaron que el tratamiento consorcio fue el que obtuvo el mayor número de hojas con 35 unidades. En la separación de medias (Cuadro 3) del análisis de varianza (anexo 17), el HMA1 y el consorcio sobresalen en los resultados, sin embargo, las diferencias estadísticas no son significativas ($p= 0.1036$).

Cuadro 3. Separación de medias Tukey de número de hojas por tratamiento

Tratamientos	Media \pm ES
Testigo Micorriza 1 (TM1)	15.40 \pm 2.04 a
Testigo Micorriza Consorcio (TMC)	11.73 \pm 2.04 a
Micorriza 1 Esclerocio Papa (M1EP)	10.47 \pm 2.04 a
Testigo Esclerocio Papa (TEP)	9.27 \pm 2.04 a
Testigo Micorriza 2 (TM2)	8.73 \pm 2.04 a
Testigo Esclerocio Frijol (TEF)	8.00 \pm 2.04 a
Micorriza Consorcio Esclerocio Frijol (MCEF)	8.00 \pm 2.04 a
Micorriza 2 Esclerocio Frijol (M2EF)	7.57 \pm 2.04 a
Testigo Absoluto (TA)	7.27 \pm 2.04 a
Micorriza 2 Esclerocio Papa (M2EP)	7.20 \pm 2.04 a
Micorriza Consorcio Esclerocio Papa (MCEP)	6.83 \pm 2.04 a
Testigo Esclerocio Tomate (TET)	6.60 \pm 2.04 a
Micorriza 1 Esclerocio Frijol (M1EF)	6.20 \pm 2.04 a
Micorriza 1 Esclerocio Tomate (M1ET)	5.90 \pm 2.04 a
Micorriza 2 Esclerocio Tomate (M2ET)	5.13 \pm 2.04 a

Micorriza Consorcio Esclerocio Tomate (MCET)	5.07 ± 2.04 a
N	48
R ²	0.44
CV	43.77
(F; p)	(1.69; 0.1036)

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Los valores constituyen la media de 5 réplicas. ES: error estándar. N: número de datos en análisis. CV: coeficiente de variación. F: fisher calculado. p: probabilidad según Tukey.

5.1.4. Longitud de hojas

Se comparó la longitud de hojas en los géneros micorrícicos y el consorcio, HMA1 continuó destacándose en los resultados, frente al patógeno aislado de papa (M1EP) en las tres fechas presentó longitudes de 3.4, 4 y 6, fue superior a M1EF (2.6, 1.5 y 1.5) y a M1ET (2.2, 1 y 1.4). Con el género HMA2 hubo variantes, M2EP en la primera fecha fue superior con 3.1 cm en relación con M2EF (2.7) y M2ET (1.6), sin embargo, en las siguientes 2 fechas el tratamiento con mejores resultados fue M2EF con 2.2 y 2.8 en comparación a M2EP (2.1 y 2.7) y M2ET (1.3 y 1).

Al utilizar el consorcio frente al patógeno, los mejores resultados en las tres fechas los presentó MCEF (3.3, 3.2 y 3), seguido por MCEP (2.2, 2.5 y 2.5) y MCET (1.9, 1 y 1). Según los resultados en esta variable, HMA1 y el consorcio son posibles opciones fitosanitarias ante esta enfermedad, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Acevedo y Vivas (2021), quienes determinaron que el consorcio fue el que más influyó para que el amaranto obtuviera las mayores longitudes de hojas. En la separación de medias (Cuadro 4) del análisis de varianza (Anexo 18), el HMA1 y el consorcio sobresalen en los resultados, por presentar diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.0001$).

Cuadro 4. Separación de medias Tukey de longitud de hojas (cm) por tratamiento

Tratamientos	Media \pm ES
Testigo Micorriza 1 (TM1)	5.27 \pm 0.37 a
Micorriza 1 Esclerocio Papa (M1EP)	4.47 \pm 0.37 ab
Testigo Micorriza Consorcio (TMC)	4.40 \pm 0.37 ab
Testigo Esclerocio Papa (TEP)	3.60 \pm 0.37 abc
Testigo Micorriza 2 (TM2)	3.33 \pm 0.37 abcd
Testigo Absoluto (TA)	3.33 \pm 0.37 abcd
Micorriza Consorcio Esclerocio Frijol (MCEF)	3.17 \pm 0.37 bcde
Testigo Esclerocio Frijol (TEF)	2.67 \pm 0.37 bcde
Micorriza 2 Esclerocio Papa (M2EP)	2.63 \pm 0.37 bcde
Micorriza 2 Esclerocio Frijol (M2EF)	2.57 \pm 0.37 bcde
Micorriza Consorcio Esclerocio Papa (MCEP)	2.40 \pm 0.37 cde
Testigo Esclerocio Tomate (TET)	1.90 \pm 0.37 cde
Micorriza 1 Esclerocio Frijol (M1EF)	1.87 \pm 0.37 cde
Micorriza 1 Esclerocio Tomate (M1ET)	1.53 \pm 0.37 de
Micorriza 2 Esclerocio Tomate (M2ET)	1.30 \pm 0.37 e
Micorriza Consorcio Esclerocio Tomate (MCET)	1.30 \pm 0.37 e
N	48
R ²	0.83
CV	22.44
(F; p)	(10.09; <0.0001)

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Los valores constituyen la media de 5 réplicas. ES: error estándar. N: número de datos en análisis. CV: coeficiente de variación. F: fisher calculado. p: probabilidad según Tukey.

5.2. Micorrización

El número de esporas del inóculo micorrícico por gramo de suelo para el género *Glomus* sp. fue de 223, mientras que, para el género *Gigaspora* sp. fue de 49. El consorcio se obtuvo de la mezcla homogénea de muestra de ambos géneros.

En la Figura 13 se observan los tratamientos donde interactuaron los HMA (incluyendo consorcio) y el patógeno, presentaron porcentajes de micorrización mayores a 90, a excepción de M1EF (74.8) (Figura 14), el cual tampoco se considera un resultado negativo. Contrario a lo anterior, los testigos no presentaron abundancia de estructuras micorrícicas. Estos resultados sugieren que el HMA frente al patógeno aumenta su presencia en las raíces y disminuye en ausencia de éste; probablemente con el interés de proteger a la planta y preservar su nicho ecológico.

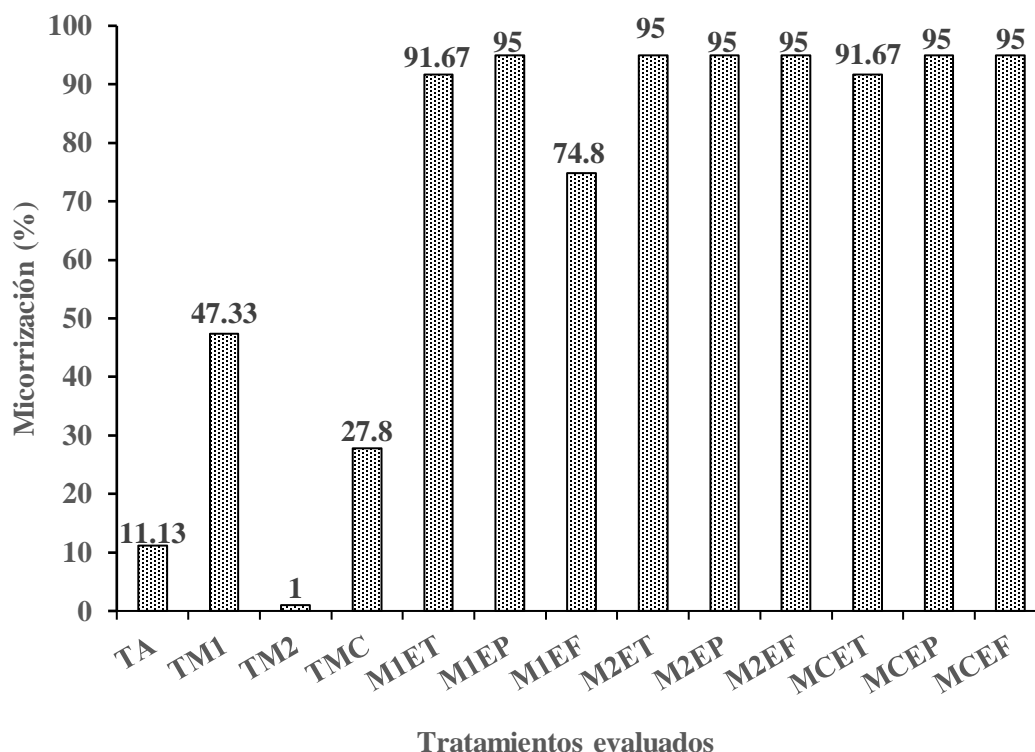


Figura 13. Porcentaje de micorrización observado en cada uno de los tratamientos evaluados

Goltapeh et al. (2008), refieren que el aumento del suelo con cepas de microorganismos no autóctonos (de élite) es prometedor, sin embargo, el desempeño de éstas dependerá de las condiciones particulares del suelo, la planta y el medio ambiente.

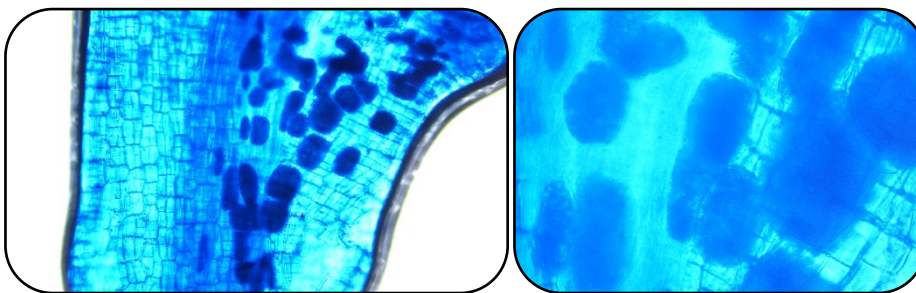


Figura 14. Tratamiento M1EF/Fragmento 8/10 x y 40x

5.3. Evolución infecciosa de *Sclerotinia sclerotiorum*

Se encontraron diferencias significativas en los valores del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) entre los tratamientos evaluados. El valor más alto del ABCPE (9060%/días) se observó en el tratamiento MCET donde se combinaron los dos HMA y la planta estaba expuesta a los esclerocios de *S. sclerotiorum* aislados de una planta de tomate. El valor más bajo del ABCPE (173%/días) se encontró en el tratamiento M2EF, en el cual las plantas se inocularon con la cepa 2 del HMA y se inocularon a la vez con los esclerocios de *S. sclerotiorum* aislados de una planta de frijol (Figura 15).

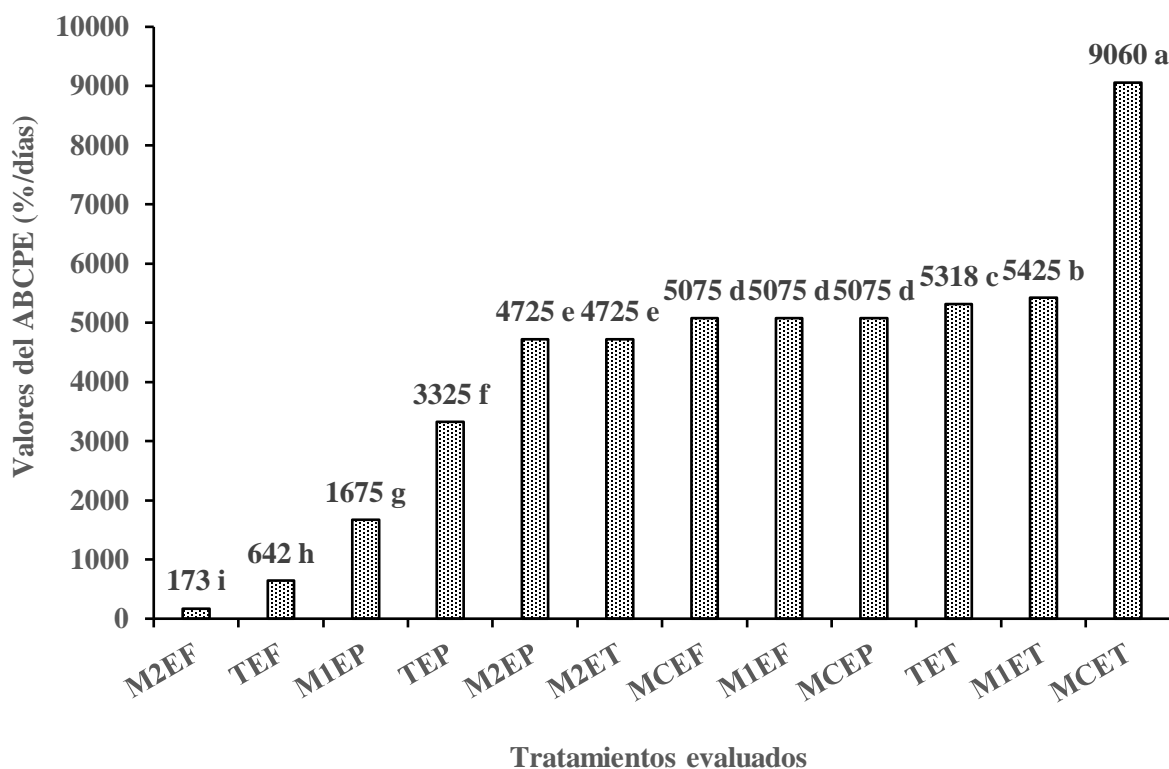


Figura 15. Valores del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) obtenidos en los tratamientos evaluados

En los últimos años, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) han atraído cada vez más atención debido a su capacidad para proteger a las plantas de diversos fitopatógenos y, al mismo tiempo, mejorar la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés (Weng et al., 2022, Bhupenchandra et al., 2024, Farhaoui et al., 2025, como se citó en Farhaoui et al., 2025).

En el presente estudio se evaluaron dos especies de HMA identificados como Micorriza 1 y Micorriza 2 y la combinación de ambas para analizar su comportamiento ante el patógeno *S. sclerotiorum*. Solamente la especie Micorriza 2 se observó que pudo contrarrestar la evolución infecciosa de *S. sclerotiorum*. Se esperaba que la combinación de ambas micorrizas tuviera un efecto sinérgico y se pudiera disminuir el efecto patogénico, sin embargo, sucedió lo contrario, es decir, la combinación resultó ser el tratamiento más afectado por el patógeno.

Este comportamiento errático de la combinación de dos especies de micorrizas puede ser el resultado de diferentes causas, entre las cuales se podrían mencionar las siguientes: incompatibilidad entre las especies fúngicas (competencia por recursos o la producción de metabolitos que inhiben a la otra especie); desequilibrio en la simbiosis que perjudique a la planta o al control de patógenos; y efectos complejos en las comunidades microbianas del suelo que interfieren con la eficacia de las micorrizas.

La explotación de comunidades de HMA para contrarrestar los efectos negativos de los patógenos vegetales transmitidos por el suelo, sólo requiere que éstas se encuentren activas; una comunidad activa y diversa de HMA puede contrarrestar eficazmente los desafíos de los patógenos vegetales mejorando el vigor de la planta (Goltapeh et al., 2008).

VI. CONCLUSIONES

El desarrollo vegetativo de las plantas de amaranto al hacer simbiosis con los HMA y en presencia del patógeno *Sclerotinia sclerotiorum* no fue óptimo.

La abundancia de micorrización en las plantas de amaranto permitió su sobrevivencia, sin embargo, las variables de crecimiento no se comportaron satisfactoriamente.

Los porcentajes de severidad y los valores del ABCPE en los tratamientos donde se evaluaron las especies de micorrizas de manera individual fueron los menores, lo cual indica que tuvieron un efecto de control sobre el patógeno *Sclerotinia sclerotiorum*.

VII. RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta que la planta de amaranto es un excelente alimento, es conveniente continuar realizando investigaciones en la aplicación de biotecnología, para optimizar el rendimiento y disminuir el efecto de plagas y enfermedades; fertilización y abono; comparación de accesiones en cuanto a rendimiento y forraje en diversas localidades, condiciones climáticas y tipos de suelo; fechas de siembra, son algunos ejemplos de ellas.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acevedo Alvarado, J. d., y Vivas, J. L. (2021). *Efecto de inoculación del hongo micorrízico arbuscular *Glomus sp* y consorcio nativo del suelo en *Amaranthus cruentus L.*, en el período septiembre 2020- noviembre 2021.*
- Alemán Aguilera, R. B. (2022). *Evaluación de harina de amaranto (*Amaranthus spp*) variedad INTA soberano en productos de panificación en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria, en el periodo de octubre 2021 a junio 2022.*
- Carvajal Illescas, J. Á. (2017). *"Estudio fenológico de dos variedades de amaranto en las condiciones agrometeorológicas de Querochaca".*
- Carvajal Muñoz, J. S., y Mera Benavides, A. C. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*, 5(2), 96.
- Castillo Arévalo, T., y Jiménez Martínez, E. (2020). Incidencia y severidad de enfermedades asociadas al cultivo de plátano (*Musa paradisiaca L.*) en Rivas, Nicaragua. *La Calera*, 20(35), 132-139. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/calera.v20i35.10319>
- Comisión de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo rural. (2019). *Iniciativa con proyecto de decreto por lo que se adiciona una fracción XII al artículo 179 de la ley de desarrollo rural sustentable, para considerar al amaranto como producto básico y estratégico.*
- Dodd, J. C., Clapp, J. P., Zhao, B., Farmer, M. J., George, E., Gianinazzi, S., . . . Kuen Chan, W. (2001). *Mycorrhiza Manual, prepared for the Wokshop Arbuscular mycorrhizal fungi in plant production systems: detection, taxonomy, conservation and ecophysiology.*
- Espitia Rangel, E., Mapes Sánchez, C., Escobedo López, D., De la O Olán, M., Rivas Valencia, P., Martínez Trejo, G., . . . Hernández Casillas, J. M. (2010). *Conservación y Uso de los Recursos Genéticos de Amaranto en México. INIFAP, Centro de Investigación Regional Centro, Celaya, Guanajuato.*
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Misión de FAO, INIFAP y del Estado de San Luis Potosí, comparte experiencias con Sistema Nacional de Producción, Consumo y Comercio en el tema de Amaranto.*
- Farhaoui, A., Taoussi, M., Laasli, S. E., Legrifi, I., Mazouni, N. E., Meddich, A., . . . Lahlali, R. (2025). Arbuscular mycorrhizal fungi and their role in plant disease control: A state of-of-the-art. *The Microbe*, 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100438>
- Fernández Linares, L. C., Rojas Avelizapa, N. G., Roldán Carrillo, T. G., Ramírez Islas, M. E., Zegarra Martínez, H. G., Uribe Hernández, R., . . . Arce Ortega, J. M. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados.*
- Fuentes Fernández, W., Mollo Porco, N., y Correa, W. (2014). *Plagas y Enfermedades del Cultivo de Amaranto.*
- Goltapeh, E. M., Danesh, Y. R., Prasad, R., y Varma, A. (2008). *Micorrhizal Fungi: What We Know and What Should We Know? In: Mycorrhiza. State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-*

Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-78826-3>

Hernández Sampieri, R., Fernández collado, C., y Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill.

INTA, N. (2 de Octubre de 2017). *Reproducción de micorrizas*. INTA, Nicaragua:
<https://www.youtube.com/watch?v=JvS2e7AOFJU>

Luis, G. M., Hernández Hernández, B. R., Peña Caballero, V., Torres López, N. G., Espinoza Martínez, V. A., y Ramírez Pacheco, L. (2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus spp.*). *Journal of negative and no positive results*, 3(6), 423-436.
<https://doi.org/10.19230/jonnpr.2410>

Monsalvo Jiménez, C. B., y Oliver Guadarrama, R. (2004). Producción de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) a tres fechas de siembra en Huazulco, Temoac, Morelos.

Navas Cortés, J. A., Hau, B., y Jiménez Díaz, R. M. (1998). Effect of Sowing Date, Host Cultivar, and Race of *Fusarium oxysporum f. sp. ciceris* on Development of *Fusarium Wilt* of Chickpea. *Phytopathology*, 88(12), 1338-1346.

Olán, M. d., Espitia Rangel, E., Ayala Garay, A. V., Hernández Casillas, J. M., Arellano Vázquez, J. L., y Ruiz Hernández, V. C. (2012). Caracterización morfológica de germoplasma para grano de amaranto (*Amaranthus spp.*). En *Amaranto: Ciencia y Tecnología. Libro Científico No. 2. INIFAP/SINAREFI*. (págs. 165-181).

Ordóñez Valencia, C., Ferrera Cerrato, R., Alarcón, A., Hernández Cuevas, L. V., y Larsen, J. (2018). Desarrollo morfológico temprano de esclerocios por *Sclerotinia sclerotiorum* en presencia de bicarbonato de potasio. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(3), 363-378.
<https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1803-4>

Paredes López, O., y Hernández López, D. (1992). Food Properties of Amaranth Seeds and Methods for Starch Isolation and Characterization. En *Linskens, H.F., Jackson, J.F. (eds) Seed Analysis* (Vol. 14, págs. 217–239).

Parra Cota, F. I., y Délano Frier, J. P. (2012). Uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal para aumentar la productividad de amaranto de grano. En *Amaranto: Ciencia y Tecnología. Libro Científico No. 2. INIFAP/SINAREFI* (págs. 113-127).

Pedroza, H., y Dicovsky, L. (2007). *Sistema de Análisis Estadístico con SPSS*.

Programa Mundial de Alimentos. (2018). *Evaluación Inicial de Seguridad Alimentaria en Emergencia Nicaragua. Impacto del déficit de lluvias en 22 municipios del Corredor Seco 2018*.

Rivas Valencia, P., Muñiz Reyes, E., y Espitia Rangel, E. (2012). Aspectos fitosanitarios en el cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*). En *Amaranto: Ciencia y Tecnología. Libro científico No. 2. INIFAP/SINAREFI*. (págs. 269-290).

- Rivera, I. (10 de Diciembre de 2015). *El 19 Digital*.
<https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:36682-inta-promueve-semilla-de-amaranto-entre-productores-del-departamento-de-chinandega>
- Sierra, B. E. (2007). Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en marcha*, 21(1), 191-201.
- Svirskis, A. (2003). Investigation of amaranth cultivation and utilisation in Lithuania. *Agronomy Research*, 1(2), 253–264. <https://agronomy.emu.ee/vol012/Svirskis.pdf>
- Universidad de Kansas. (s.f.). *INVAM*. <https://invam.ku.edu/spore-extraction>
- Uriarte Ortiz, R. B., Esquivel Quezada, J. L., Lacayo Romero, M., y Jarquín Pascua, M. C. (2023). Evaluación de variables de crecimiento vegetativo de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) variedad Amaranteca en el Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. *Torreón Universitario*, 12(34), 140-148.
<https://doi.org/https://doi.org/10.5377/rtu.v12i34.16379>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Toma de datos variables de crecimiento



Anexo 2. Afectación en plantas tratamiento MCET



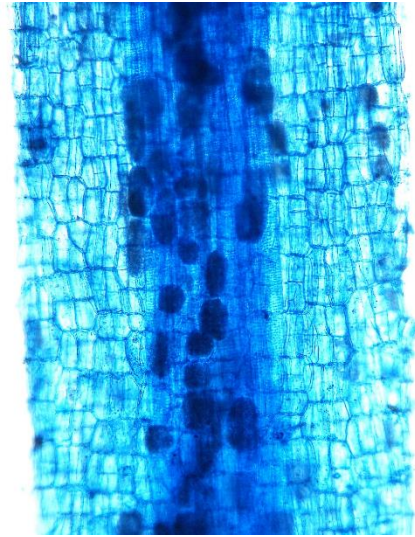
Anexo 3. Estructuras micorrícicas (arbusculos) tratamiento MCET



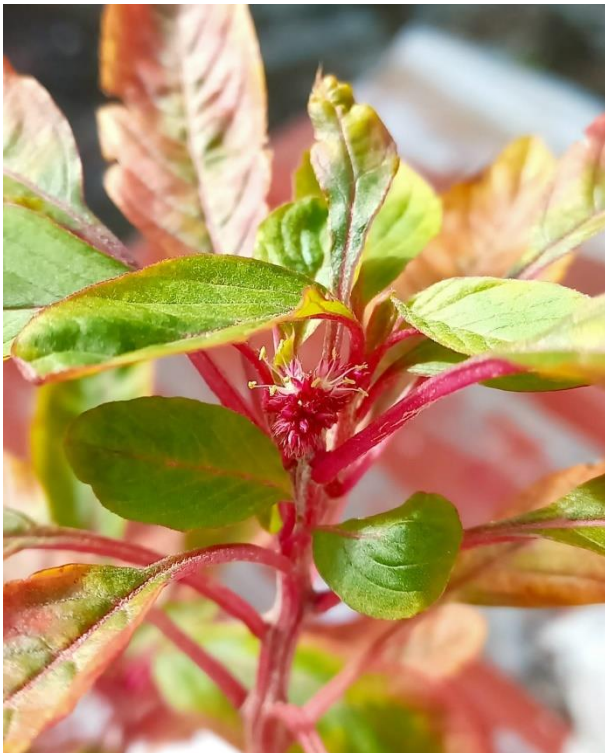
Anexo 4. Plantas tratamiento TMC



Anexo 5. Estructuras micorrícicas (arbusculos) tratamiento TMC



Anexo 6. Planta con panoja tratamiento TMC



Anexo 7. Análisis clase textural de suelo



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
(UNAN - Managua)
Centro de Investigación en Biotecnología (CIB)



RESULTADOS ANALITICOS
BIOTECR-2022-0265

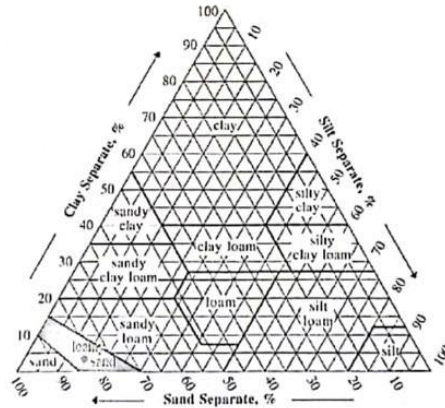
Ciente/Proyecto: Lic. Rommel Uriarte Ortiz
Teléfono de contacto: (505) 8219 5537
Correo electrónico: ruobio@yahoo.es

Matriz / Tipo de muestra: Suelo / Forestal / Natural
Identificación de la muestra: Suelo Tesis RUO
Municipio / Departamento: Managua / Managua
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2022-01-17
Hora de muestreo: 15 h 00
Fecha del reporte: 2022-04-26
Código de laboratorio: LQ-2201-0001

Arena: 83%					Limo	Arcilla
%	Grava	Gruesa	Media	Fina		
	0	1	17	65	14	3
Clase textural: Material arenoso arcilloso (arena fina franca)						

Clave:
NR: No reportado



La clasificación textural fue determinada por medio del análisis del tamaño de partículas (Granulometría e Hidrometría ASTM 422-63) y la determinación de la gravedad específica (ASTM 854-02) siguiendo los procedimientos de los métodos de la American Society for Testing and Materials (ASTM, 2002).

United States Department of Agriculture (USDA). (2021). Soil Texture Calculator. Recuperado el 09 de febrero del 2021, de https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167

Dr. Marha Lacayo Román
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, aula D-4
Apartado Postal: 663. Teléfono planta: 22786769 ext.6023; 6239. Directo: 22701287
www.unan.edu.ni/lab_bio. e-mail: biotecnologia@unan.edu.ni

Anexo 8. Análisis físico químico del suelo



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua
UNAN - Managua
Centro de Investigación en Biotecnología (CIB)



RESULTADOS ANALÍTICOS BIOTECR-2022-0264

Cliente/Proyecto: Lic. Rommel Uriarte Ortiz
Teléfono de contacto: (505) 8219 5537
Correo electrónico: ruobio@yahoo.es

Matriz / Tipo de muestra: Suelo / Forestal / Natural
Identificación de la muestra: Suelo Tesis RUO
Municipio / Departamento: Managua / Managua
Coordenadas: NR

Fecha de muestreo: 2022-01-17
Hora de muestreo: 15 h 00
Fecha del reporte: 2022-04-26
Código de laboratorio: LQ-2201-0001

No.	Parámetro	Método	Resultados	Límite de detección	Unidades
1	pH en extracto acuoso ¹	ISO 10390:2005	6,064	0,001	Unidades de pH
2	Contenido de humedad ²	Margésin & Schinner	29,1	0,1	%
3	Materia orgánica ²	Margésin & Schinner	23,2	0,1	%
4	Nitrógeno total ³	AS-25 SEMARNAT	0,70	0,02	%
5	Fósforo disponible ^{4,5}	Mehlich No. 3 + 3120.B	<LD	1,336	mg.kg ⁻¹
6	Potasio disponible ^{4,5}	Mehlich No. 3 + 3120.B	0,143	0,026	g.kg ^{-1*}

Claves: NR: No reportado <LD: El valor está por debajo del límite de detección

* 1 ppmil (g.kg⁻¹) es equivalente a 1000 ppm (mg.kg⁻¹)

¹ International Organization of Standardization (ISO) 10390:2005. Soil Quality - determination of pH.

² Margésin R. And Schinner, F., 2005. Manual of soil analysis - Monitoring and assessing soil bioremediation. Chapter 2. Determination of Chemical and Physical Soil Properties

³ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México (NOM-021-SEMARNAT-2000). Determinación de fertilidad de suelo. AS-25: Determinación de Nitrógeno total en suelo por procedimientos de digestado.

⁴ J. Betom Jones, Jr. 2001. Laboratory Guide For Conducting Soil Test and Plant Analysis. Chapter 2. Soil Analysis (Testing).

⁵ American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22va edición. Washington.

^{4,5} Para la determinación de metales disponibles la muestra fue analizada por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

La muestra fue colectada, preservada y transportada al laboratorio por el cliente.


Dra. Martha Lacayo Román
Directora



¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés (RURMA) Pabellón D, De la Rotonda Universitaria 1c. al Norte
Managua, Nicaragua. Teléfonos: (505) 22701287/22786769 ext.6023, 6227 biotecnologia@unan.edu.ni

1 de 1

Anexo 9. Formato colecta de datos del ensayo

Tratamientos	Altura cm	No. de hojas	Long. hoja cm	Ancho hoja cm	Diámetro del tallo cm
TA					
TET					
TEP					
TEF					
TM1					
TM2					
TMC					
M1ET					
M1EP					
M1EF					
M2ET					
M2EP					
M2EF					
MCET					
MCEP					
MCEF					

Anexo 10. Equipos, materiales y reactivos para preparar inóculos de HMA

- Inoculante inicial HMA (cepa).
- Autoclave.
- Semillas de sorgo.
- Tamiz 2 mm de abertura de poro.
- Sustrato tamizado (2 mm) y esterilizado a 121 °C por 30 minutos, compuesto de suelo y arena en una proporción 70-30% respectivamente.
- Macetas de plástico con capacidad de 7 litros.
- Suelo.
- Arena de construcción.
- Pala de plástico pequeña.
- Hipoclorito de sodio 1%.
- Agua destilada.

Anexo 11. Equipos, materiales y reactivos para inoculación de HMA

- Balanza de precisión.
- Inoculante micorrízico.
- Espátula de acero inoxidable.
- Guantes de nitrilo.
- Alcohol al 70%.
- Bolsas de plástico con capacidad de 453 gramos (1 lb) aproximadamente.
- Marcador indeleble.

Anexo 12. Equipos, materiales y reactivos para obtener inóculos de *Sclerotinia sclerotiorum*

- Cabina de seguridad biológica.
- Autoclave.
- Refrigeradora Frigidaire.
- Agar papa dextrosa.
- Agua destilada.
- Alcohol 70%.
- Tubos para microcentrífuga.
- Placas Petri de 100 x 15 mm reutilizables.
- Pinza de acero inoxidable.
- Guantes de nitrilo desechables.
- Papel Parafilm.
- Papel Kraft.

Anexo 13. Materiales y reactivos para inoculación del patógeno

- Esclerocios.
- Pinza de acero inoxidable.
- Pala de plástico pequeña.
- Guantes de nitrilo desechables.
- Alcohol 70%.

Anexo 14. Listado de equipos, materiales y reactivos para establecimiento de cultivo de amaranto

- Cabina de seguridad biológica.
- Autoclave.
- Semillas de amaranto.
- Sacos macen.
- Suelo.
- Arena de construcción.
- Tamiz de 2 mm de abertura de poro.
- Placas Petri de 100 x 15 mm reutilizables.
- Agar conteo aeróbico.
- Hipoclorito de sodio 1%.
- Alcohol 70%.
- Agua de grifo.
- Agua destilada.
- Tarros de aluminio de 400 g (reutilizados).
- Pala de plástico pequeña.

Anexo 15. Listado de equipos, materiales y reactivos para estimación de colonización de micorrizas

- Microscopio óptico con lentes de aumento 10 y 40X con cámara integrada.
- Plato caliente.
- Vasos de precipitado 10 ml.
- Hidróxido de potasio 2% grado reactivo.
- Peróxido de hidrogeno 30% grado reactivo.
- Ácido clorhídrico 2% grado reactivo.
- Anilina azul 0.0125% grado reactivo.
- Ácido láctico 85% grado reactivo.
- Agua destilada.
- Agua de grifo.
- Tijeras.
- Pinzas.

- Cuaderno.
- Lapicero.

Anexo 16. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) de altura de planta en (cm)

Factor de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fisher calculado	p-valor
Modelo	563.03	15	37.54	4.00	0.0005
Tratamientos	563.03	15	37.54	4.00	0.0005
Error	300.10	32	9.38		
Total	863.13	47			

Anexo 17. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) de número de hojas

Factor de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fisher calculado	p-valor
Modelo	317.90	15	21.19	1.69	0.1036
Tratamientos	317.90	15	21.19	1.69	0.1036
Error	400.70	32	12.52		
Total	718.60	47			

Anexo 18. Cuadro de Análisis de Varianza (SC tipo III) de longitud de hojas (cm)

Factor de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fisher calculado	p-valor
Modelo	62.27	15	4.15	10.09	<0.0001
Tratamientos	62.27	15	4.15	10.09	<0.0001
Error	13.17	32	0.41		
Total	75.44	47			