



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ECOTEC

FACULTAD DE INGENIERÍAS

TÍTULO DEL TRABAJO:

“IMPLEMENTACIÓN DE HONGO MICORRIZA EN EL CULTIVO DE LECHUGA
CRESPA (*Lactuca sativa*) EN UN HUERTO CASERO DE UNA ZONA
URBANA”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS

MODALIDAD DE TITULACIÓN:

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CARRERA:

INGENIERÍA AGRÓNOMA

TÍTULO A OBTENER:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR(A):

WILLIAM JOEL CASTAÑEDA CARDENAS

TUTORA:

MSC. MARIANELA BARONA OBANDO

SAMBORONDÓN

2023

Agradecimientos

A Dios por estar presente en mi vida y por brindarme sabiduría en momentos de caos.

A mi madre por enseñarme lo que significa trabajar duro por lo que quieres, por ser mi refugio y mi motor en mi vida que me ayuda a luchar por mis sueños y anhelos, por ser siempre mi impulso y motivación cuando siento miedo a lo desconocido, por último, por enseñarme a ser el hombre que hoy en día me he convertido.

A mi tutor metodológico Dc. Cesar Alcacer Santos por ser un maestro, amigo y un guía en mi vida personal y académica, mi más sincera gratitud, por siempre creer en mí, por ver el potencial que mis inseguridades no me dejaban ver, lo llevare siempre en mi corazón y lo recordare como mi pequeño profesor español loco.

A mi tutora científica y profesora favorita MSC. Marianela Barona Obando por acompañarme en cada paso en mi periodo académico universitario, por escucharme y no dejar que renuncie a lo que amo, por ayudarme y sobre todo por se guía de este proyecto.

A las personas con la cual compartí un momento de mi vida en el transcurso de mi carrera y proyecto de grado, que me motivaron siempre a no desistir y recordarme siempre las grandes cosas que yo puedo hacer si solo creo en mí mismo.

A mi amiga Angie, Oscar, Milena, Michelle y Melisa por su lealtad, amistad y amor que me brindaron desde el primer día en que nos conocimos. Yo reconozco a un buen amigo cuando lo veo y ahora puedo decir con orgullo que ellos son mis amigos y lo serán siempre.

Finalmente, a mí, por demostrarme una vez más lo fuerte, resiliente y valiosa persona que soy, estoy orgulloso de mi mismo por haber llegado a este momento de mi vida, pero mi historia no termina aquí, aún queda un camino largo por recorrer y me siento listo para continuar mi rumbo junto a todos los recuerdos, enseñanzas y sabiduría que he podido adquirir y aprender durante todo este tiempo.

Certificado de Aprobación Tutor Metodológico y Científico



ANEXO N° 7.1

UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR METODOLÓGICO Y CIENTÍFICO PARA LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Samborondón, 1 de diciembre de 2023

Magíster o Doctor
Erika Ascencio Jordán
Decano(a) de la Facultad
Ingenierías
Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de integración curricular “IMPLEMENTACIÓN DE HONGO MICORRIZA EN EL CULTIVO DE LECHUGA CRESPA (*Lactuca sativa*) EN UN HUERTO CASERO DE UNA ZONA URBANA” ; fue revisado, siendo su contenido original en su totalidad, así como el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la guía para su elaboración, Por lo que se autoriza al estudiante: **William Joel Castañeda Cárdenas** , para que proceda con la presentación oral del mismo.

ATENTAMENTE,

CESAR|
ALCACER|
SANTOS
Firmado digitalmente por
CESAR|ALCACER|
SANTOS
Fecha: 2023.12.01
22:53:08 +01'00'

PhD. Alcácer-Santos César
Tutor metodológico

Mgtr/ Marianela Barona Obando
Tutora científica

Certificado de Porcentaje de Coincidencias



UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE COINCIDENCIAS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Habiendo sido revisado el trabajo de integración curricular TITULADO:

“IMPLEMENTACIÓN DE HONGO MICORRIZA EN EL CULTIVO DE LECHUGA CRESPA (*Lactuca sativa*) EN UN HUERTO CASERO DE UNA ZONA URBANA”

elaborado por **William Joel Castañeda Cárdenas** fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje de coincidencias del 8 %, mismo que cumple con el valor aceptado para su presentación que es inferior o igual al 10% sobre el total de hojas del Trabajo de integración curricular. Se puede verificar el informe en el siguiente link:


[https://app.compilatio.net/v5/report/1c29179659cdf841b3a39ca7802f6d837b788ad4/
summary](https://app.compilatio.net/v5/report/1c29179659cdf841b3a39ca7802f6d837b788ad4/summary)

Adicional se adjunta el informe de dicho resultado.

ATENTAMENTE,

CESAR| Firmado
ALCACER| digitalmente por
|SANTOS CESAR|ALCACER|
SANTOS
Fecha: 2023.12.01
23:00:31 +01'00'

PhD. César Alcácer-Santos
Tutor metodológico


Mgtr. Marianela Barona Obando
Tutora científica

Resumen

La presente tesis aborda la investigación sobre la influencia de la micorrización en el crecimiento, rendimiento y producción de lechuga (*Lactuca sativa*) tipo crespa en huertos caseros urbanos. Se enfoca en la interacción simbiótica entre hongos micorrícicos y la planta, explorando su potencial para mejorar la sostenibilidad de la agricultura en entornos urbanizados. La investigación se llevó a cabo mediante la evaluación de cuatro variables clave: tamaño de hojas, peso de biomasa, porcentaje de micorrización y número de nódulos en las raíces. Estas variables proporcionaron un marco integral para analizar la eficiencia de la simbiosis en el desarrollo de la lechuga (*Lactuca sativa*) crespa. Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis de que la simbiosis entre el hongo micorrícico y la lechuga influye positivamente en su crecimiento y rendimiento. Se observó un incremento significativo en el tamaño de las hojas, el peso de la biomasa y el número de nódulos en las raíces en comparación con plantas no micorrizadas.

Este estudio no solo contribuye al entendimiento de la importancia de la micorrización en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) crespa, sino que también destaca su viabilidad como método sostenible para la agricultura urbana. La promoción de esta asociación simbiótica puede representar una alternativa eficaz y respetuosa con el medio ambiente para mejorar la productividad de los huertos caseros en áreas urbanas, proporcionando una fuente adicional de alimento saludable y sostenible para la población urbana.

Palabras clave: Simbiosis, agricultura urbana, micorrización, lechuga (*Lactuca sativa*).

Abstract

The present thesis addresses the research on the influence of mycorrhization on the growth, yield and production of cressa lettuce (*Lactuca sativa*) in urban home gardens. It focuses on the symbiotic interaction between mycorrhizal fungi and the plant, exploring its potential to enhance the sustainability of agriculture in urban environments. The research was conducted by assessing four key variables: leaf size, biomass weight, mycorrhization percentage, and the number of nodules in the roots. These variables provided a comprehensive framework for analyzing the efficiency of symbiosis in the development of cressa lettuce (*Lactuca sativa*). The results obtained support the hypothesis that the symbiosis between the mycorrhizal fungus and lettuce positively influences its growth and yield. A significant increase was observed in leaf size, biomass weight, and the number of nodules in the roots compared to non-mycorrhizal plants.

This study not only contributes to the understanding of the importance of mycorrhization in cressa lettuce (*Lactuca sativa*) production but also highlights its viability as a sustainable method for urban agriculture. The promotion of this symbiotic association may represent an effective and environmentally friendly alternative to enhance the productivity of home gardens in urban areas, providing an additional source of healthy and sustainable food for the urban population.

Key words: Symbiosis, Urban agricultura, Mycorrhization and Lettuce (*Lactuca sativa*).

Índice de contenido

Agradecimientos	2
Certificado de Aprobación Tutor Metodológico y Científico.....	3
Certificado de Porcentaje de Coincidencias	4
Resumen.....	5
Abstract.....	6
Índice de contenido	7
Índice de figuras.....	10
Índice de tablas	11
Introducción.....	12
Antecedentes	14
Descripción del problema	14
I. Hambre, sobrepoblación y pérdidas de servicios ecosistémicos.	14
II. Agricultura urbana.....	14
III. Hongo Micorriza.	15
Pregunta científica.....	15
Objetivos	15
Objetivo general	15
Objetivos específicos.....	15
Justificación del problema	16
Aporte Teórico	16
Aporte Metodológico.....	16
Aporte Practico	16
Marco teórico	18
Capítulo 1.....	18
1.1 Marco fundamental	19
I. Hongo micorriza	19
II. Lechuga (Lactuca sativa)	20
III. Urbanización y Población	21
IV. Interacción entre La Naturaleza y La ciudad.....	21
V. Prácticas agrícolas.....	22
1.2 Marco conceptual.....	22
I. Micorriza	22
II. Simbiosis micorrícica	23
III. Ectomicorriza.....	23

IV. Endomicorriza.....	23
V. Lechuga (Lactuca sativa)	23
VI. Resiliencia	24
VII. Huerto urbano.....	24
1.3 Marco contextual	24
Metodología	27
Capítulo 2.....	27
2.1 Metodología del Proceso de Investigación	28
2.2 Planteamiento metodológico	28
2.3 Población y muestra.....	28
2.4 Variables a estudio.....	28
2.5 Recolección de datos.....	29
2.5.1 Tamaño de hojas – Dosis 1 y Dosis 2.....	29
2.5.2 Peso de biomasa – Dosis 1 y Dosis 2.....	30
2.5.3 Porcentaje de micorrización – Dosis 1 y Dosis 2.....	30
2.5.4 Numero de nódulos – Dosis 1 y Dosis 2.	31
2.6 Croquis.....	33
2.7 Índice de técnicas y materiales.....	34
2.7.1 Micorriza	34
2.7.2 Dosis.....	34
2.7.3 Cálculo de dosis promedio para el huerto.	34
2.7.4 Peso de biomasa	36
2.7.5 Tamaño de las hojas.....	36
2.7.6 Porcentaje de micorrización.....	36
2.7.7 Numero de nódulos en las raíces.....	37
2.7.8 Germinación	38
2.7.9 Preparación de sustrato – Dosis 1 y Dosis 2.....	39
2.7.10 Crecimiento y desarrollo	40
2.8 Índice de metodología	40
2.8.1 Germinación	40
2.8.2 Preparación de sustrato – Dosis 1.....	41
2.8.3 Preparación de sustrato – Dosis 2.....	41
2.8.4 Trasplante	42
2.8.5 Monitoreo.....	43
2.8.6 Riego	43
2.8.7 Tamaño de hoja – Dosis 1.....	43
2.8.8 Tamaño de hoja – Dosis 2.....	43

2.8.9 Tamaño de hoja – Testigo	44
2.8.10 Toma de datos de biomasa – Dosis 1	45
2.8.11 Toma de datos de la biomasa – Dosis 2.....	45
2.8.12 Toma de datos de la biomasa – Testigo	45
2.8.13 Porcentaje de micorrización – Dosis 1	46
2.8.14 Porcentaje de micorrización – Dosis 2.....	46
2.8.15 Numero de nódulos – Dosis 1	47
2.8.16 Numero de nódulos – Dosis 2	47
Análisis e Interpretación de los resultados	49
Capítulo 3.....	49
3. Análisis e Interpretación de los resultados.....	50
3.1 Tamaño de hoja – Etapa de plántula.....	50
3.2 Tamaño de las hojas - Etapa de crecimiento.....	51
3.3 Tamaño de las hojas – Etapa de desarrollo.	51
3.4 Tamaño de las hojas – Etapa de precosecha.....	52
Discusión	¡Error! Marcador no definido.
Capítulo 4.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5 Ancho de la hoja – Etapa de plántula.....	52
3.6 Ancho de las hojas – Etapa de crecimiento.....	53
3.7 Ancho de las hojas – Etapa de desarrollo.	53
3.8 Ancho de las hojas – Etapa de precosecha.....	54
3.9 Numero de hojas – Etapa de plántula.	55
3.10 Numero de hojas – Etapa de crecimiento.....	55
3.11 Numero de hojas – Etapa de desarrollo.	56
3.12 Numero de hojas – Etapa de precosecha.....	57
3.13 Porcentaje de micorrización	57
3.14 Numero de nódulos.....	58
Discusión	59
Capítulo 4.....	59
4. Discusión.....	60
Conclusiones.....	61
Recomendaciones.....	62
Bibliografía	63
Anexos	67

Índice de figuras

Figura 1.-Croquis del huerto y sus elementos.	33
Figura 2.- Se ilustra con rojo el espacio seleccionado para la construcción del huerto casero.	35
Figura 3.- Grafico de correlación entre el tamaño de las hojas en etapa de plántulas.	50
Figura 4.- Cuadro de correlación entre el tamaño de las hojas en etapa de crecimiento.	51
Figura 5.- Grafico de correlación entre el tamaño de las hojas en etapa de desarrollo.	51
Figura 6.- Grafico de correlación entre el tamaño de las hojas en etapa de precosecha.	52
Figura 7.- Grafico de correlación entre la anchura de las hojas en etapa de plántula.	52
Figura 8.- Grafica de correlación entre el ancho de las hojas en etapa de crecimiento.	53
Figura 9.- Grafico de correlación entre la anchura de las hojas en etapa de desarrollo.	54
Figura 10.- Grafico de correlación entre la anchura de las hojas en etapa de precosecha.	54
Figura 11.-Grafico de correlación entre el número de hojas en la etapa de plántula.	55
Figura 12.- Grafico de correlación entre el número de hojas en la etapa de crecimiento.	56
Figura 13.- Grafico de correlación entre el número de hojas en la etapa de desarrollo.	56
Figura 14.- Grafico de correlación entre el número de hojas en la etapa de precosecha.	57
Figura 15.-Grafico de correlación entre el porcentaje de micorrización en la etapa meta de precosecha.	58
Figura 16.- Grafico de correlación entre el número de nódulos en las raíces en la etapa meta de precosecha.	58
Figura 17.- (A) Construcción infraestructural del huerto. Fuente: Autor. (B) Sembrado de semillas de lechuga crespa en bandeja de germinación. Fuente: Autor.	67
Figura 18.- (A) Riego matutino en el cultivo de lechuga crespa. Fuente: Autor. (B) Plantas de lechuga en etapa de precosecha perteneciente a dosis 1. Fuente: Autor.	67
Figura 19.- (A) Extracto de raíz para previo reposo. Fuente: Autor. (B) Identificación de hifas en extracto de raíz. Fuente: Autor.	68
Figura 20.- (A) Aplicación de solución de fijación. Fuente: Autor. (B) Toma de datos de hifas en muestra de raíz micorriza. Fuente: Autor.	68
Figura 21.- (A) Hifa entrando a la raíz. Fuente: Autor. (B) Raíz micorrizada. Fuente: Autor.	69

Índice de tablas

Tabla 1.- Cronología de la toma de datos del tamaño de las hojas de lechuga crespa en dosis 1.....	29
Tabla 2.- Cronología de la toma de datos del tamaño de las hojas de lechuga crespa en dosis 2.....	29
Tabla 3.-Cronología de la toma de datos de la biomasa de la dosis 1.	30
Tabla 4.-Cronología de la toma de datos de la biomasa de la dosis 2.	30
Tabla 5.-Cronología de la toma de datos del porcentaje de micorrización en dosis 1. .	31
Tabla 6.-Cronología de la toma de datos del porcentaje de micorrización en dosis 2. .	31
Tabla 7.-Cronología de la toma de datos del número de nódulos en las raíces en dosis 1.....	32
Tabla 8.-Cronología de la toma de datos del número de nódulos en las raíces en dosis 2.....	32
Tabla 9.-Tabla de significados de las simbologías pertenecientes al croquis de la ilustración 2.....	33
Tabla 10.-Gramos por dosis a aplicar.	35
Tabla 11.-Cronología de riego por etapas fenológicas.....	43

Introducción

Hace unos 50 años, Ecuador, al igual que otras partes del mundo, experimentó un desplazamiento masivo de población del campo a la ciudad en busca de modernización a través de la industrialización, incluida la agricultura. Esto llevó a relegar las prácticas agrícolas tradicionales en favor de la mecanización, el uso de agroquímicos y la dependencia excesiva de variedades mejoradas y transgénicas en la agroindustria. Estos cambios han causado el deterioro de las prácticas ancestrales y su relación con los ecosistemas. Los adultos mayores que migraron a las ciudades se han visto obligados a adaptar sus costumbres y practicar la agricultura en espacios reducidos como jardines, macetas y balcones para mantener su identidad agrícola y mitigar los efectos contaminantes de la agroindustria. (David Calderón & Fredi Portilla, 2020)

Aunque no se puede afirmar que exista una simbiosis estricta entre lo natural y lo artificial, es decir, que no necesariamente haya una relación beneficiosa mutua entre estos dos elementos, si hay una conexión entre ellos, que se manifiesta en un contexto específico: “El entorno urbano”.

A pesar de que la ciudad es un entorno en gran medida construido por el ser humano y, en muchos casos, carece de elementos naturales, su contexto generalmente incluye áreas con elementos naturales. Por lo tanto, la relación simbiótica se da entre la ciudad y su entorno natural. La clave aquí es que ambas variables, el entorno con elementos naturales y el espacio construido parcialmente, son componentes interdependientes de un mismo sistema: “El ecosistema urbano”.

Desde el punto de vista social, la agricultura urbana realizada por colectivos ciudadanos y otros actores sociales ha transformado el paisaje de las ciudades y ha mejorado la seguridad alimentaria urbana. Estas prácticas promueven el uso de cultivos libres de pesticidas, dietas balanceadas y productos orgánicos locales, contribuyendo a la sostenibilidad urbana integral. (David Calderón & Fredi Portilla, 2020)

Desde el punto de vista ecológico, el implementar prácticas tradicionales en el manejo de cultivos, favorece al fortalecimiento de la biodiversidad genética. Es decir, el manejo agroecológico permite que los cultivos sean sustentables en el tiempo. (David Calderón & Fredi Portilla, 2020)

Las Micorrizas, este término que literalmente significa “Hongo – Raíz”, fue propuesto por Frank en 1885. Frank utilizó este término para definir a lo que hoy en día llamamos “Asociaciones Simbióticas” esto quiere decir “vivir conjuntamente dos o más organismos”, son asociaciones ecológicamente mutualistas entre hongos del phylum *Glomeromycota* y la inmensa mayoría de las plantas (Cultivadas y silvestres), no patógenas, interactúan entre las raíces de plantas y micelios de hongos, en la cual ambos resultan beneficiados. (Mario Honrubia, 2019)

Se trata de una simbiosis prácticamente universal, no solo porque casi todas las especies vegetales son susceptibles de ser micorrizadas sino también porque puede estar presente en la mayoría de los hábitats naturales. (Pérez C et al., 2011)

La interacción simbiótica entre las plantas y los hongos micorrícicos permite que la planta subsista de manera óptima en ambientes naturales o controlados. La función principal de los hongos micorrícicos es ayudar a la planta a absorber nutrientes que no podría obtener por sí sola. Estos hongos sintetizan y proporcionan nutrientes a la planta, mientras que la planta, a su vez, le suministra energía fotosintética entre otras. Esta colaboración permite que tanto la planta como el hongo micorrícico subsistan en su entorno.

Precisamente, en este proyecto se quiere analizar la interacción del hongo micorriza como elemento ancestral – natural en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en un huerto casero de una zona urbana para evidenciar su simbiosis entre ambas variables, para estudiar el rendimiento y producción de una especie vegetal en un hábitat dependiente de factores limitantes y condicionados para que de esa manera la población urbanizada obtenga una forma de producir alimentos orgánicos y sustentables con el ambiente.

Antecedentes

Descripción del problema

I. Hambre, sobrepoblación y pérdidas de servicios ecosistémicos.

Las cosas han cambiado mucho desde 1974, cuando la FAO comenzó a informar sobre la magnitud del hambre en el mundo. La población mundial crece constantemente y está cada vez más urbanizada. La tecnología evoluciona sin cesar y la economía se encuentra cada vez más globalizada. (FAO; FIDA; OMS; PMA; UNICEF, 2020)

Se conoce que los suelos del mundo se están deteriorando vertiginosamente debido a la erosión, la consunción de los nutrientes, la pérdida de carbono, según un nuevo informe de la ONU. La escasez de nutrientes del suelo es la más grande problemática para acrecentar huertos urbanos, áreas verdes, etc. Conforme la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – UICN – (2018), la desertificación o degradación del suelo de las tierras áridas puede inducir una disminución de la producción mundial de alimentos del 12 % en los próximos 25 años. Se considera que entre el 25 y el 35% de las tierras secas se están degradando, lo que socava su productividad. (Cotrina Silva & Yessenia Maryori, 2018)

Mientras que la diversidad cultural está aumentando en las ciudades a nivel mundial como resultado de la urbanización, la biodiversidad está disminuyendo con la consiguiente pérdida de servicios ecosistémicos. Está claro que la diversidad juega un papel fundamental en la construcción de resiliencia de los ecosistemas; sin embargo, está menos claro qué papel juega la diversidad cultural en la construcción de resiliencia de los sistemas urbanos. (Colding & Barthel, 2019)

II. Agricultura urbana

Las áreas urbanas cubren menos del 3% de la superficie terrestre de la Tierra, lo que presenta fuertes impactos en los servicios de los ecosistemas tanto en las cercanías locales como a distancias considerables de las ciudades. (Colding & Barthel, 2019)

La agricultura urbana se ha convertido en una herramienta de apoyo en la lucha contra el cambio climático, y de mejora en la calidad de vida en las ciudades, por medio del fomento de hábitos más saludables, el ofrecimiento de un paradigma distinto para entender y valorar más la naturaleza. Se concibe como una agricultura con valor cultural, social y ecológico. (Colding & Barthel, 2019)

III. Hongo Micorriza.

Se espera que el hongo micorriza ayude a que las plantas tengan un óptimo desarrollo y crecimiento a pesar de los factores limitantes que ya posee al ser cultivada en un huerto casero. También se espera obtener resultados positivos para demostrar que los huertos caseros en zonas urbanas y junto a la implementación de hongo micorriza son un método de autosustentabilidad alimentaria para consumo familiar y amable para el ambiente pese a recalcar sobre los cambios climáticos y todos los acontecimientos ambientales que el planeta atraviesa en estos años y atravesara en años próximos si no se toman medidas al respecto.

Pregunta científica

¿De qué manera contribuye el hongo micorriza en el óptimo desarrollo, crecimiento y producción de la planta de Lechuga Crespa (*Lactuca sativa*) en un huerto casero en una zona urbana?

Objetivos

Objetivo general

- Obtener un desarrollo óptimo y producción consumible del cultivo de lechuga con la implementación de hongo micorriza en un huerto urbano.

Objetivos específicos

- Implementar un huerto casero en una zona urbanizada con el cultivo de lechuga donde se presenta una escasa población de áreas verdes, poca disponibilidad de recursos naturales y con un clima tropical en una zona predeterminada de Vía Daule.

- Evaluar el crecimiento, la biomasa, porcentaje de micorrización y nódulos en las raíces con la implementación de micorrizas en el cultivo de lechuga mediante características cualitativas que se presenten desde la etapa de germinación hasta el periodo de cosecha a través de un diseño experimental completamente al azar (DBCA).
- Proponer un protocolo de uso de las micorrizas.

Justificación del problema

Aporte Teórico

El siguiente tema de tesis, desde un punto de vista ecológico, sustentable, alimentario y agronómico presenta múltiples beneficios que suplirían algunas interrogantes o necesidades para el ser humano. Desde el punto de vista teórico, la afirmación de la hipótesis planteada sobre la implementación de hongo micorriza contribuirá a incrementar el óptimo desarrollo de los huertos urbanos; asimismo, reafirmará las bases teóricas para el uso de micorrizas en huertos urbanos como método para una producción más orgánica. Por último, este tema de tesis podría abrir campos más específicos y profundos con relación a las micorrizas y los huertos urbanos, sería un paso más para el conocimiento agronómico y nuestro planeta.

Aporte Metodológico

La inoculación de semillas con micorrizas ha sido implementada como metodología en otros países con fines de interés agronómico y científico, pero es cierto que en Ecuador esta metodología no es muy usada y muy poco investigada. La siguiente metodología que se implementará en este proyecto de tesis "Inoculación de semillas con micorrizas", ayudará a conocer un nuevo aporte metodológico y científico de interés para la ciencia agronómica, abriendo oportunidades para indagar e investigar profundamente temas con relación a la inoculación de micorrizas en huertos caseros en zonas urbanas.

Aporte Practico

Los resultados positivos del presente trabajo procurarán una sustentabilidad alimentaria para las familias de ciudades con menor facilidad para obtener producción agrícola.

Esto, a su vez, se motivará el mutualismo entre el ser humano y el ambiente, eso fluctuaría positiva y ecológicamente en el ambiente y los seres vivos por medio de la creación e incrementación de espacios verdes en zonas urbanas, gracias a la implementación de huertos caseros y las micorrizas.

Asimismo, en la zona urbana donde se realizará el proyecto de tesis, existen tiendas de comestibles que no presentan suficiente variedad de productos vegetales para la dieta humana; aún menos, existen zonas de producción agrícola, lo que dificulta la obtención de productos vegetales para el consumo y la diversificación en la dieta en los hogares de dicha zona. Por esa razón, se quiere implementar el uso de micorrizas y huertos caseros en los hogares de la zona, para suplir la necesidad de obtener productos vegetales desde el hogar, sin la obligación de consumir productos alterados o estimulados químicamente. Este método nos brindará seguridad alimentaria y una dieta más saludable y orgánica. Es muy importante resaltar el papel que cumple la micorriza en este proyecto, ya que será el encargado de ayudar a que los cultivos se desarrollen de la forma más natural y óptima posible en los huertos caseros de la zona urbana.

Marco teórico

Capítulo 1

1.1 Marco fundamental

I. Hongo micorriza

Los hongos micorrizas arbusculares (HMA) han demostrado ser una alternativa biotecnológica que permite optimizar los recursos, ofreciendo un sinnúmero de beneficios como una mejor tolerancia a los factores de estrés abióticos, biorremediación por la acumulación de metales pesados, bioprotección, su particular sistema radicular los convierte en un aliado natural para la fertilización. Además, tiene un efecto directo en el ecosistema, ya que mejoran la estructura y agregación del suelo, su asociación incrementa el crecimiento del huésped y cambia los niveles morfológicos, fisiológicos y nutricionales de las plantas. (Delgado S. Gutiérrez M, 2022)

El tipo de asociación hongo-raíz más extendido en la naturaleza tal vez sea la llamada endomicorriza o micorriza arbuscular, formada por ciertos zigomicetos, los cuales no desarrollan red de Hartig y colonizan intracelularmente la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas denominadas arbusculos, que actúan como órganos de intercambio de nutrimentos entre la célula vegetal y el huésped. (Aguilera G, 2007)

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se caracterizan por presentar un crecimiento intra e intercelular en la corteza de la raíz y por formar dos tipos de estructuras, arbusculos y vesículas. Los arbusculos son hifas que se dividen dicotómicamente, son invaginados por la membrana plasmática de las células corticales y presentan periodos de vida cortos, mientras que las vesículas son estructuras de almacenamiento que se forman en la parte terminal de las hifas. Las hifas externas pueden ser de tres tipos según su morfología y las funciones que llevan a cabo: las hifas infectivas, son las que inician los puntos de colonización en una o varias raíces; las hifas absorbentes son las que se encargan de explorar el suelo para la extracción de nutrientes y las hifas fértiles son las que llevan las esporas. Pueden observarse dos tipos morfológicos de colonización, el tipo "arum", donde las hifas presentan crecimiento intercelular y los arbusculos se encuentran dentro de las células corticales de la raíz; y el tipo "paris" en el cual las hifas presentan crecimiento intracelular al igual que los arbusculos, pero forman enrollamientos cuando están dentro de la célula. El

crecimiento del hongo de manera asimbiótica se da entre una o dos semanas hasta que hace contacto con la raíz del hospedero, formando una estructura llamada apresorio por donde penetrarán las hifas a las células corticales de la raíz, para formar los arbusculos e incrementar el área de contacto entre la planta y el hongo. Cuando las plantas son invadidas por microorganismos del suelo, se inician una serie de cambios fisiológicos y bioquímicos que no ocurren cuando un HMA coloniza la planta, esto soporta la hipótesis de que el hongo emite señales que reconoce la planta para que esta no inicie una reacción de defensa. (Silvia E, 2019)

Los HMA tienen una importante ventaja con respecto a otros hongos y microorganismos del suelo, debido a que tienen un abastecimiento constante directo de carbono orgánico desde su hospedante. Sus hifas parecen permanecer viables por mayor tiempo, por lo que su participación en la estabilidad de agregados se considera de mayor importancia. Las hifas micorrízicas son el componente mayor de los hongos del suelo donde se desarrollan plantas, en particular cuando son micorrízicas (Kabir et al., 1997); esto es, son susceptibles de la colonización por estos hongos. De la longitud hifal en el suelo, los HMA contribuyen con una enorme proporción. En comparación con la raíz, el área de la superficie por unidad de volumen de las hifas de HMA puede ser aproximadamente 100 veces más. Esta cantidad de hifas varía en los ecosistemas y presenta valores promedio comunes de 0.5 a 5 m (de hifa por gramo de suelo) en suelos cultivados y de hasta 20 m en suelos no perturbados. (González-Chávez, 2014)

II. Lechuga (*Lactuca sativa*)

Según la FAO la lechuga ocupa la cuarta posición dentro de las verduras más producidas, siendo China el mayor productor a nivel mundial con 15.156.509 toneladas, equivalente al 56,4 %, seguido por Estados Unidos con 3.836.820 e India con 1.090.770 toneladas. A su vez, en Ecuador la producción de lechuga es de 17.301 toneladas (FAO, 2017) y las provincias con mayor producción fueron Pichincha seguida por Chimborazo y Tungurahua con 15.575; 1.905 y 1.030 toneladas respectivamente (INEC, 2016) (Simbaña U. Fernando C, 2020)

De acuerdo con la importancia económica de las plantas ornamentales, en ellas se ha evaluado la aplicación de hongos micorrízicos para favorecer su aclimatación y como promotores de crecimiento. Esto se debe a que las micorrizas han demostrado tener la capacidad de proveer importantes beneficios a sus hospederos, como son incrementar la absorción de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, además de favorecer la tolerancia al estrés hídrico, a la salinidad y la protección frente a enfermedades de la raíz y a nemátodos. (Uc Ku et al., 2019)

III. Urbanización y Población

De acuerdo con datos del Banco Mundial (2018), la población que vive en entornos urbanos es de algo más de 3,500 millones de personas; es decir, un 55% de la población mundial, cifra que se eleva al 77% de la población si hablamos de países occidentales. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) prevé que para 2050 el porcentaje total mundial llegará al 66%. Siguiendo con la proyección, se espera que para el año 2100 se espera que la población mundial llegue a 11.2 billones de habitantes, Esto implicará una enorme demanda de recursos en las regiones en desarrollo y economías emergentes, como el caso del África subsahariana, Asia y América Latina. (ONU, 2014)

IV. Interacción entre La Naturaleza y La ciudad.

Las preocupaciones sociales más recientes, relacionadas con la alimentación o con la calidad ambiental dentro de las ciudades, han llevado a que crezca el interés de todo tipo de personas sobre estos espacios. Podemos afirmar que estamos asistiendo al resurgir de un movimiento. En primer lugar, encontramos numerosas experiencias en las que los huertos urbanos son entendidos como una oportunidad de contacto con la naturaleza, como excelentes espacios de educación ambiental, de aumento de la biodiversidad y de respuesta a la preocupación por la calidad de los alimentos. (Alonso N. Hernández A, 2019)

Desde el punto de vista ecológico, la ciudad puede ser entendida como un medio ambiente parcialmente natural, parcialmente artificial. Como lo señala Tilly (1974), “es de sentido común en ecología que los organismos necesitan de lugares característicos para vivir, como los peces en el agua, por ejemplo, puesto

que los diferentes requerimientos para vivir deben ser ofrecidos por el medio ambiente”. Y, el hombre, como un organismo vivo, habita, en la mayoría de los casos, un medio ambiente llamado ciudad. (Carlos A. Amaya H., 2005)

V. Prácticas agrícolas

Las prácticas agrícolas utilizadas a lo largo de las últimas décadas han conducido a reconsiderar muchos de los sistemas de producción actuales, debido al uso desmedido de insumos químicos, incluyendo fertilizantes y pesticidas; dando lugar a una gran contaminación, a la disminución de la biodiversidad microbiológica del suelo y a la degradación de ecosistemas frágiles. Por tal razón, más recientemente se ha venido dando una nueva corriente de producción agrícola, enfocada a la agricultura sostenible y orgánica, tratando de sustituir las prácticas de producción convencional. Para esto se requiere de una visión más amplia de las interacciones biológicas dentro de los agroecosistemas; en este sentido, los hongos micorrícicos parecen ser un componente fundamental dentro de las nuevas alternativas de producción. Además de las funciones conocidas en la nutrición de las plantas, las micorrizas pueden influir en el proceso estructural y de agregación del suelo, siendo estas razones de peso para considerar el efecto que pueden tener estos hongos tanto a nivel fisiológico de la planta, como a nivel del suelo y por ende en la restauración de ecosistemas. (Hernández W. & Salas E., 2008)

1.2 Marco conceptual

I. Micorriza

El término micorriza proviene del griego mykos (hongo) y rhiza (raíz) y fue utilizado por primera vez por Frank (1885). En 1885, Frank propuso el término micorriza para describir un fenómeno común que observó en las raíces de ciertos árboles de los bosques templados de Norteamérica. Estos órganos eran diferentes morfológicamente de otras raíces cuando se encontraban asociadas a hongos del suelo; de ahí proviene su nombre latino que significa raíz fungosa (Harley y Smith, 1983).

II. Simbiosis micorrícica

Según Darwesh & Mustafa, (2012), la micorriza arbuscular tiene algunas habilidades muy importantes. Las simbiosis micorrícicas son componentes esenciales de aproximadamente el 80% de los sistemas de plantas, y se reconoce ampliamente el papel beneficioso que desempeñan los hongos micorrícicos en la producción agrícola. Esto se debe a que la micorriza arbuscular tiene algunas habilidades muy importantes, como aliviar los efectos de diferentes tensiones en el suelo sobre el crecimiento de las plantas y también controlar los efectos adversos de los patógenos del suelo.

III. Ectomicorriza

En este caso, las hifas del hongo no penetran en el jugo celular de la raíz, sino que se quedan fuera o penetran entre las células (intercelular), formando una especie de manto alrededor de las raíces más delgadas de la planta. Aún así, son frecuentes en especies forestales donde sus órganos reproductores pueden sobresalir del suelo, lo que conocemos como setas y trufas.(Álvaro C. 2019)

IV. Endomicorriza

Por otro lado, tenemos las endomicorrizas, en estas, las hifas invaden la raíz inicialmente pero luego son capaces de penetrar en las células radicales, desde la rizodermis hasta las células corticales, sin afectar negativamente a la planta. No forman ninguna estructura observable a simple vista. Son las más características y habituales, representando aproximadamente el 80% del total.(Álvaro C. 2019)

V. Lechuga (*Lactuca sativa*)

La lechuga (*Lactuca sativa*) es una planta herbácea anual, autógena y dicotiledónea, que pertenece a la familia Asterácea (Fajardo, Patiño, Álvarez, & Taborda, 2016) que comprende entre 23.000 y 30.000 especies, y se cree que es la familia de plantas más grande (Noumedem et al., 2017). Presenta una gran variedad de colores, texturas y formas. (Simbaña U & Fernando C. 2020)

VI. Resiliencia

La resiliencia urbana se podría definir como una propiedad del espacio urbano necesaria para reducir la vulnerabilidad, desigualdad y segregación urbanas, capaz de prevenir futuros problemas que dificulten la funcionalidad de la ciudad y sus territorios. Una ciudad resiliente sería aquella que esté preparada para actuar y responder a obstáculos, ya sean repentinos o estructurales. (Díez Bermejo et al., 2022)

Desde las ciencias de la vida y la ecología, se define como la capacidad de un sistema para absorber o resistir perturbaciones y otros factores estresantes, de modo que el sistema permanezca dentro del mismo régimen, manteniendo su estructura y funciones básicas, describiendo, por tanto, el grado en que el sistema es capaz de auto organizarse, aprender y adaptarse. (Wang & Yamashita, 2015)

VII. Huerto urbano

De acuerdo con Smit, Ratta y Nasr (1996), se define como huerto urbano “el crecimiento de plantas y árboles, así como ganado dentro o en la franja de las ciudades (intraurbano o periurbano), incluyendo su cultivo, provisiones necesarias, así como posibles actividades de venta de sus productos y servicios”. Según Pearson, Pearson y Pearson (2010), a la anterior definición se le puede agregar que en la mayoría de los casos se utilizan métodos de producción intensiva, y que usualmente no incluye plantas utilizadas en el diseño de paisaje, sino cultivos hortícolas que producen alimentos (vegetales y frutas) y flores. (Urías Borbón & Ochoa de la Torre, 2020)

1.3 Marco contextual

Los huertos urbanos llegan a ser de gran importancia en el medio social e individual ya que aportan varias funciones para la sociedad. La creación de los huertos garantiza al hogar una diversidad de productos casi todo el año, su meta principal no es optimizar la producción como se podría dar en una finca, sino ofrecer a los beneficiarios productos durante varios meses de año, amortiguando en tiempo de escasez de comida e ingresos (Lok, 1998), de la misma manera proporciona una actividad de entretenimiento, recreativa y nos genera alimentos frescos para el uso personal.

Casos muy particulares donde se viene practicando este tipo de agricultura es España con producciones anuales muy representativas de hortalizas de frutos y flores (31,2 kg/m²) como también de hortalizas de hojas, tallos tiernos y vainas (16,7 kg/m²), con un consumo para tres miembros de la familia de 131,13 kg y 38,5 kg respectivamente (MAPA, 2019) . De la misma manera, los beneficios que reciben las familias son terapéuticos, estético/social, alimenticio y económico; como también la funcionalidad de las diferentes especies en las huertas son alimenticias, ornamentales, terapéuticas, medicinales y comerciales (Herrera, 2019)

Las características de los suelos en las zonas urbanas pueden verse fuertemente afectadas por las actividades humanas y pueden diferir de un sitio a otro. Es más probable que el agua y el suelo en las zonas urbanas estén contaminados con residuos del tráfico vehicular, la industria, los hospitales y los hogares. (FAO, 2005)

En un estudio de inoculación con micorrizas, la colonización micorrízica en las plantas de jitomate inoculadas con los hongos micorrízicos y solubilizadores de fósforo estuvo en el rango de 48-66% de colonización, lo cual confirma la alta micotrofia de la planta. En comparación con otras investigaciones en las que se evaluó la colonización micorrízica en plantas de jitomate inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares, en este trabajo se encontró mayor colonización de 30-50% colonización micorrízica. La colonización micorrízica en este estudio fue analizada por la presencia de arbusculos, vesículas y esporas; es importante señalar que se observó una alta esporulación dentro y fuera de las raíces. (Arias, Romero, & Bañuelos, 2019)

En estudios realizados para evaluar la respuesta del maíz a la inoculación micorrízica, se ha informado que las plantas inoculadas con HMA acumularon un 40% más de masa seca y N que las no inoculadas, al crecer en un suelo con residuos de alfalfa (*Medicago sativa*). El empleo de la cepa *Glomus fasciculatum* en maíz permitió un incremento de los rendimientos que osciló entre 21-77%, según el tipo de suelo. (Martín & Rivera, 2015)

Los beneficios que aportan las micorrizas a las plantas son bien notables y le confieren ventajas frente a las no micorrizadas. La adecuada selección de hongos y la posterior manipulación de las micorrizas permiten obtener planta forestal de calidad, por lo que las plantas sometidas a micorrización controlada aumentan sustancialmente su viabilidad. Con esta idea de aplicación práctica se desarrolló la Tesis doctoral Producción de inóculo de hongos ectomicorrícicos y micorrización controlada de *Pinus halepensis* Miller en vivero. (Carrilo, 2000)

Metodología

Capítulo 2

2.1 Metodología del Proceso de Investigación

La metodología seleccionada para este estudio es de vital importancia para alcanzar los objetivos propuestos. La utilización de un diseño experimental completamente al azar (DBCA) permite obtener datos confiables y significativos sobre el crecimiento, la biomasa, la micorrización y la formulación de nódulos en las raíces. Esta metodología garantiza que los resultados sean representativos y comparables debido a que este proyecto de grado es elaborado bajo un estudio de campo y de literatura, lo que a su vez respaldara las conclusiones del estudio.

2.2 Planteamiento metodológico

El presente estudio ha realizado un planteamiento metodológico riguroso para lograr el cumplimiento de los parámetros correspondientes a una investigación científica; el enfoque ha sido principalmente cualitativo para el desarrollo del análisis del problema, del marco teórico y de la propuesta; paralelamente también se ha requerido que sea cuantitativa para el correcto tratamiento de los procesos de los datos obtenidos en la investigación de campo y el correspondiente análisis del diseño en bloques completamente al azar que se utilizó para la representación e interpretación de los resultados de esta investigación.

2.3 Población y muestra

- a) Población: Para este caso de estudio se tomó como población el cultivo de lechuga crespa de un huerto casero de una zona urbanizada específica.
- b) Muestra: En este caso de estudio se consideró la cantidad de material vegetativo extraída (20 muestras de material de interés) del cultivo de lechuga crespa del huerto casero. Se tomo esta cantidad de 20 muestras de material vegetativo de lechuga crespa por limitaciones de espacio al tratarse de un huerto casero.

2.4 Variables a estudio.

- I. Tamaño de hoja.
- II. Peso de biomasa.
- III. Porcentaje de micorrización.

IV. Numero de nódulos en las raíces.

2.5 Recolección de datos.

2.5.1 Tamaño de hojas – Dosis 1 y Dosis 2

Para la recolección de datos referentes al tamaño de las hojas, se lo realizó un seguimiento periódico cada 20 días, empezando desde la finalización de la etapa de germinación de las semillas de lechuga. A continuación, se detalla la cronología de la recolección de datos que se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Tiempo de germinación = 10 días. (No se toma datos)
- Precosecha = 70 días.
- Duración total de ciclo fenológico = 80 días.

Tabla 1.- Cronología de la toma de datos del tamaño de las hojas de lechuga crespa en dosis 1.

		Dosis 1			
Germinación		1er	2do	3er	4to
10 días	Periodos	20	40	60	80
		días	días	días	días

Tabla 2.- Cronología de la toma de datos del tamaño de las hojas de lechuga crespa en dosis 2.

		Dosis 2			
Germinación		1er	2do	3er	4to
10 días	Periodos	20	40	60	80
		días	días	días	días

2.5.2 Peso de biomasa – Dosis 1 y Dosis 2

Para la toma de datos del peso de la biomasa de ambas dosis, se tomó al finalizar el ciclo fenológico (precosecha). A continuación, se detalla la cronología de la toma de datos de la biomasa:

Tabla 3.-Cronología de la toma de datos de la biomasa de la dosis 1.

DOSIS 1					
ETAPAS FENOLÓGICAS	Germinación	Plántula	Crecimiento	Desarrollo	Precosecha
		-----	-----	-----	-----

Tabla 4.-Cronología de la toma de datos de la biomasa de la dosis 2.

DOSIS 2					
ETAPAS FENOLÓGICAS	Germinación	Plántula	Crecimiento	Desarrollo	Precosecha
		-----	-----	-----	-----

2.5.3 Porcentaje de micorrización – Dosis 1 y Dosis 2.

Durante la fase meta de precosecha (85 días) del cultivo de lechuga cresa, se implementó un protocolo de muestreo específico para la evaluación del porcentaje de micorrización. Para garantizar la representatividad de la muestra, se seleccionaron aleatoriamente 10/20 plantas de lechuga cresa de la población total por dosis. Estas plantas fueron divididas en dos grupos de muestra, cada uno compuesto por 10 plantas. Con el propósito de calcular la manifestación de micorrización de las raíces en las diferentes dosis.

La toma de datos se llevó a cabo meticulosamente, enfocándose en la evaluación cuantitativa del grado de colonización micorrizal en las raíces de las plantas seleccionadas.

Tabla 5.-Cronología de la toma de datos del porcentaje de micorrización en dosis 1.

DOSIS 1					
ETAPAS FENOLÓGICAS	Germinación	Plántula	Crecimiento	Desarrollo	Precosecha
		-----	-----	-----	-----

Tabla 6.-Cronología de la toma de datos del porcentaje de micorrización en dosis 2.

DOSIS 1					
ETAPAS FENOLÓGICAS	Germinación	Plántula	Crecimiento	Desarrollo	Precosecha
		-----	-----	-----	-----

2.5.4 Numero de nódulos – Dosis 1 y Dosis 2.

Al igual que al porcentaje de micorrización, durante la etapa de precosecha (85 días), se ejecutó un protocolo de muestreo riguroso para identificar el número de nódulos en las raíces como un indicador clave de la nodulación. Con el fin de asegurar la representatividad de la muestra, se seleccionaron aleatoriamente 10/20 plantas de lechuga cresa, dividiéndolas en dos grupos de muestra, cada uno compuesto al igualmente por 10 plantas.

La toma de datos se llevó a cabo de manera meticulosa, siguiendo las pautas establecidas, y se vinculó específicamente con las dosis variables de micorrizas aplicadas durante la fase de crecimiento.

Tabla 7.-Cronología de la toma de datos del número de nódulos en las raíces en dosis 1.

DOSIS 1					
ETAPAS FENOLÓGICAS	Germinación	Plántula	Crecimiento	Desarrollo	Precosecha
		-----	-----	-----	-----

Tabla 8.-Cronología de la toma de datos del número de nódulos en las raíces en dosis 2.

DOSIS 1					
ETAPAS FENOLÓGICAS	Germinación	Plántula	Crecimiento	Desarrollo	Precosecha
		-----	-----	-----	-----

2.6 Croquis.

Figura 1.-Croquis del huerto y sus elementos.

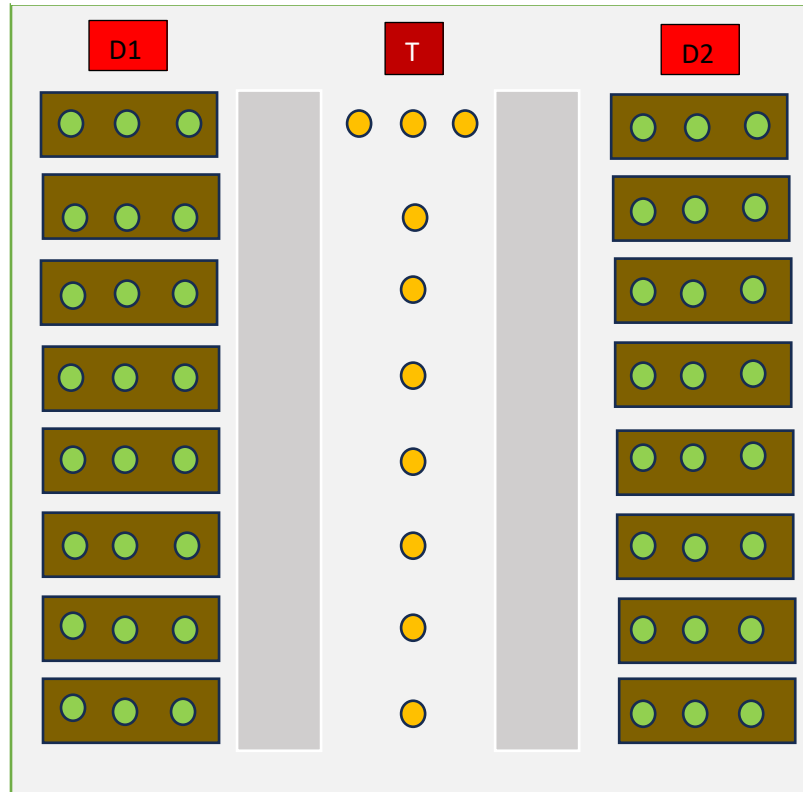


Tabla 9.-Tabla de significados de las simbologías pertenecientes al croquis de la ilustración 2.

D1	Dosis 1
D2	Dosis 2
	Lechuga cresa
	Lechuga cresa testigo
	Maceta
	Área del huerto
T	Muestra testigo

2.7 Índice de técnicas y materiales.

Los materiales y técnicas que se emplearon en la investigación de acuerdo con sus etapas fenológicas fueron:

2.7.1 Micorriza

- Micorriza: Se uso el hongo micorriza de la marca comercial “Quinta Aura”, este hongo es un hongo endomicorriza conformado por varias especies endomicorrizas como: Vesículos Arbusculares (MVA) del género *Glomus* *Acaulospora* y *Entrophospora* en forma de esporas, hifas y raicillas viables.

2.7.2 Dosis

Para esta investigación se tuvo que realizar cálculos matemáticos básicos para poder establecer una dosis promedio y un rango de dosis a estudiar para un espacio limitado como se presenta en un huerto casero.

- Con base a las investigaciones recopiladas de otros proyectos de tesis realizados con relación a los hongos endomicorrizas en otros cultivos con un enfoque para 1 hectárea a nivel campo, se calculó matemáticamente por medio de una regla de 3 para poder establecer una dosis promedio de 12 g calculada para el área del huerto de este proyecto, del cual se utilizó para comparar entre las dos dosis establecidas 10 g y 14 g para llevar a cabo la evaluación del rendimiento y producción de la lechuga cresspa.

2.7.3 Cálculo de dosis promedio para el huerto.

Este cálculo se utilizó para hallar la dosis promedio en gramos para cada planta.

- Dosis promedio establecida que fue aplicada en 1 hectárea de acuerdo con estudios previos realizados en otras investigaciones: 6 kg/ha.
- 1 hectárea: 10.000 m²/ha
- Área del huerto: 20 m²

Cálculo 1.- Se calcula el área del espacio a utilizar para el huerto:

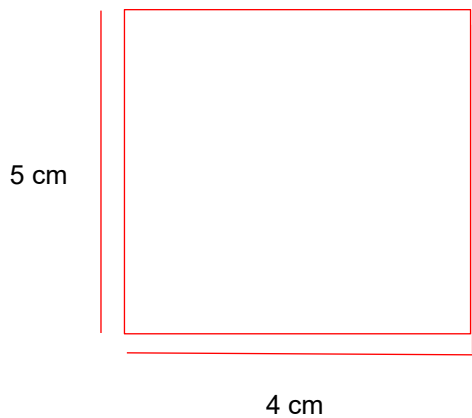


Figura 2.- Se ilustra con rojo el espacio seleccionado para la construcción del huerto casero.

$$A = L \times L$$

$$A = 4 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$$

$$A = 20 \text{ cm}^2$$

Cálculo 2.- Se convierte los 6 kg/ha a gramos:

$$6 \text{ kg} \times 1000 = 6.000 \text{ g}$$

Cálculo 3.- Una vez convertido los 6 kg a gramos, se aplica la siguiente regla de 3:

$$\begin{array}{ccc} 20 \text{ m}^2 & 10.000 \text{ g/ha} & \\ ? & 6.000 \text{ m}^2/\text{ha} & = 12 \text{ g} \end{array}$$

Se obtuvo como dosis promedio 12 gramos de hongo micorriza. A través de este cálculo se propuso dos dosis de hongo micorriza 10g y 14g para evaluar la fluctuación que poseen ambas dosis en el crecimiento, desarrollo y cosecha de la lechuga crespa.

Tabla 10.-Gramos por dosis a aplicar.

Dosis 1: 10 gramos.

Dosis Promedio: 12 gramos.

Dosis 2: 14 gramos

2.7.4 Peso de biomasa

- Balanza grande: Se utilizó una balanza para poder obtener valores exactos del peso de la biomasa de la lechuga crespita, de tal manera que se pudo establecer valores reales sin que exista alguna alteración en los análisis de datos.
- Pala de jardinería pequeña: Este utensilio es muy útil para transportar pequeñas cantidades de tierra procurando no desperdiciar material.

2.7.5 Tamaño de las hojas

- Cinta métrica: Se utilizó una cinta métrica para establecer medidas exactas del tamaño de las hojas de lechuga.
- Libreta: Se utilizó una libreta para tener registro de datos del tamaño de hojas durante sus etapas de crecimiento, desarrollo y cosecha, para luego transcribirlo en una plataforma digital para realizar las respectivas ilustraciones y análisis estadísticos.

2.7.6 Porcentaje de micorrización

- Bisturí estéril: Se utilizó un bisturí estéril para la extracción de las raíces de las plantas, esto es para asegurar dos aspectos; la primera es que obtengamos un corte fino en las zonas específicas deseadas de la raíz y segundo para prevenir de alguna malformación o daño en el material a estudiar.
- Bolsas de papel: Las bolsas de papel se utilizaron para almacenar las muestras de raíces de manera adecuada, también para etiquetar e identificar a qué dosis corresponde cada muestra sin que se mezcle o se confundan al momento de la toma de datos.
- Solución de formalina: Se requirió necesariamente una solución de fijación (Solución de formalina) específicamente para fijar las raíces y preservar la estructura micorrízica.
- Tubos de ensayo: Se utilizaron tubos de ensayo estériles para contener las muestras fijadas.
- Medios de montaje: El medio de montaje que se utilizó es una solución compuesta de Lactofenol que permitió teñir y montar hifas y esporas del

hongo. Esta solución ayudo a resaltar las características morfológicas de las estructuras micorrícicas.

- Microscopio: Se utilizó un microscopio para realizar las observaciones detalladas. De preferencia usar uno con ajuste de fase para visualizar las estructuras micorrícicas.
- Cámara Microscópica: La cámara microscópica se utilizó para capturar imágenes de las observaciones realizadas, pero esto es opcional.
- Materiales de laboratorio: Se utilizó ciertos implementos para la realización de la actividad por motivos de ética del lugar, se utilizó pipetas, puntas de pipetas, y otros materiales de laboratorio estándar según sea necesario.
- Elementos de Bioseguridad: Se utilizó elementos de bioseguridad como guantes, bata de laboratorio, mascarilla, cubre zapatos desechables y otros productos de seguridad personal.
- Formula: % de micorrización: $(\text{Long. Hifas} / \text{Long. Raíz}) \times 100$

2.7.7 Numero de nódulos en las raíces

- Bisturí estéril: Se utilizó un bisturí estéril para la extracción de las raíces de las plantas, esto es para asegurar dos aspectos; la primera es que obtengamos un corte fino en las zonas específicas deseadas de la raíz y segundo para prever de alguna malformación o daño en el material a estudiar.
- Agua destilada: Se utilizó agua destilada para lavar las raíces y la eliminación de fragmentos o pequeños extractos de tierra.
- Tubos de ensayo: Se utilizó tubos de ensayo estériles para contener las muestras de raíces.
- Solución de formalina: Se requirió necesariamente una solución de fijación (Solución de formalina) específicamente para fijar las raíces y conservar la estructura de los nódulos.
- Microscopio estereoscopio: Se utilizó un microscopio estereoscópico para examinar las raíces y nódulos a una ampliación adecuada. De preferencia usar uno con ajuste de fase para visualizar las estructuras de los nódulos.

- Pinzas y agujas: Se requirió de pinzas y agujas para manipular las raíces y nódulos con precisión.
- Portaobjetos y cubreobjetos: Se requirió de portaobjetos y cubreobjetos para la preparación de las muestras antes de la examinación microscópica.
- Placa de Petri: Se utilizó placas de Petri para trabajar con las muestras y realizar las correspondientes observaciones.
- Cuaderno y bolígrafo: Se utilizó un cuaderno y un bolígrafo para realizar la toma de datos para el cálculo del porcentaje de micorrización, número de hifas y el número de nódulos en las raíces.
- Elementos de Bioseguridad: Se utilizó elementos de bioseguridad como guantes, bata de laboratorio, mascarilla, cubre zapatos desechables y otros productos de seguridad personal.

2.7.8 Germinación

- Bandeja de germinación: Se utilizó una bandeja de germinación de 128 orificios de 5 cm de profundidad cada uno para proporcionar e inducir a las semillas a una óptima germinación de acuerdo con sus requerimientos fisiológicos del cultivo, tomando en cuenta que germinar un cultivar en una bandeja de germinación es la forma más adecuada para realizarlo.
- Semillas de lechuga: Se adquirieron las semillas de lechuga de tipo crespa en un supermercado para este proyecto, también se puede adquirir las semillas en sedes de venta de consumo agrícola, viveros, casas comerciales agrícolas, etc.
- Agua: El agua es un elemento clave y muy importante para las etapas fenológicas de una planta, en este caso de estudio, la lechuga crespa es indispensable la presencia del agua en la germinación de la lechuga crespa, crecimiento y desarrollo, tomando muy en cuenta siempre la cantidad óptima y necesaria para sus diferentes etapas fenológica de la lechuga crespa porque este cultivar es susceptible al encharcamiento o saturaciones de agua.
- Carpa: Se utilizó una carpa cerrada tipo tienda para controlar los altos grados de radiación solar, para medir las horas luz necesarias para esta

etapa fenológica, para la protección y prevención de infestación de plaga o enfermedades hacia este proyecto.

- Bitácora: Se requirió una bitácora para poder llevar un registro diario del número de semillas que germinaron.
- Atomizador: Se utilizó un atomizador de 900 ml para el respectivo riego diario que se realizó en la etapa de germinación, este utensilio es necesario ya que esparce cantidades de agua ajustables y sensibles para no desplazar la semilla.

2.7.9 Preparación de sustrato – Dosis 1 y Dosis 2

Para la preparación del sustrato se utilizó la misma metodología para ambas dosis, es decir, los componentes que conforman el sustrato o la preparación del suelo fueron los mismos para ambas, solo varió la dosificación de hongo micorriza para ambas variables (D1: 10g y D2: 14g).

- Vermiculita: Se usó 20 kg de vermiculita para retención de humedad en el sustrato. La vermiculita es un excelente regulador del suelo y positivamente influye en el desarrollo de las raíces con sus favorables propiedades de aireación y capacidad aérea. Agregada al suelo, mantiene condiciones óptimas de humedad del suelo. (Sv. Marinova et al., 2012)
- Humus: Se usó 50 kilos de humus para mejorar las propiedades físicas del suelo al dar mejor estructura de este. El humus es un material orgánico, es una fuente rica en nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. (S. Vladimir et al., 2021)
- Tierra de sembrado: Se usó 50 kilos de tierra de sembrado para proporcionar un medio edáfico adecuado para los otros compuestos que conforman el sustrato que se preparó para las plantas de lechuga crespa. La tierra de sembrado por concepto agronómico es utilizada para anclaje de las raíces de las plantas en el suelo e impide que los agentes naturales como el agua o el viento las desprendan de su sitio. (FAO, 2020)
- Micorriza: Como principal variable a estudiar para este proyecto de tesis, se implementó hongo micorriza para ambas dosis con diferentes cantidades de gramos a evaluar (10g y 14g).

- Agua: Se utilizó agua de llave como paso final de la preparación del sustrato para obtener un suelo preparado humedecido.
- Atomizador: Para este proceso se utilizó un atomizador de 900 ml ya que este utensilio nos ayudó a graduar la cantidad de agua necesaria para la humectación del suelo preparado.

2.7.10 Crecimiento y desarrollo

- Macetas: Se usaron macetas de plástico rectangulares largas con 76 cm de ancho, 25 cm de profundidad y 20.5 cm de alto.
- Utensilios de jardinería: Se usaron utensilios de jardinería como mini palas, mini trincheras para la preparación del sustrato, la remoción de la tierra y la trasplantación de las plántulas de lechuga crespa a macetas más amplias para su crecimiento y desarrollo.
- Sustrato preparado: Se preparó un sustrato con los siguientes componentes: vermiculita, humus, tierra de sembrado y micorriza. La unión de estos componentes es lo que llamamos la preparación de un “sustrato”, el sustrato que se preparó es un sustrato diseñado específicamente para suplir los requerimientos edáficos del cultivo de lechuga crespa. La preparación del sustrato varía dependiendo de la especie vegetal a cultivar.
- Agua: Para esta etapa de crecimiento y desarrollo también es indispensable el uso del agua para suplir la necesidad hídrica de la planta de acuerdo con los días de riego establecidos (factor variable dependiente del cultivar a sembrar).
- Bitácora: Se requiere una bitácora para poder llevar un registro semanal del crecimiento y desarrollo de las plantas.

2.8 Índice de metodología

2.8.1 Germinación

Se comenzó sembrando 128 semillas de lechuga crespa en la bandeja de germinación. Para este proceso, se utilizó tierra de sembrado sin ningún tipo de sustrato añadido. Esto se debió a que, en la fase de inicio (germinación) y dentro del marco proyecto, no se planeó inocular el suelo con micorriza ni preparar un sustrato para la etapa de germinación. Una vez sembradas las semillas, se llevó

un registro diario para monitorear su germinación, utilizando un cuaderno y un bolígrafo. A través de este seguimiento, se pudo registrar cuántas semillas germinaron y cuántas no. Durante la etapa de germinación, se proporcionó riego constante. Es decir, se regaban diariamente en las mañanas (7:00 am) con un atomizador, procurando no encharcar la tierra y asegurándonos que todas las semillas quedaran humedecidas uniformemente. Después de 10 días tras la siembra de las semillas, se logró la germinación de una cantidad considerable de semillas (97/128). A pesar de que no todas las 128 semillas sembradas germinaron, se obtuvo la cantidad requerida para el proyecto.

2.8.2 Preparación de sustrato – Dosis 1

Para el trasplante de las plántulas seleccionadas destinadas para el grupo de dosis 1 a las macetas, se preparó un sustrato preparado, en el cual se mezcló en una lavacara grande la tierra de sembrado, humus, vermiculita y la dosis de micorriza (10 g). El porcentaje de cada elemento para la mezcla y preparación del sustrato destinada para 2 macetas con 3 plántulas en cada maceta se detalla a continuación:

- Tierra de sembrado: 40% = 25 kl
- Humus: 40% = 25 kl
- Vermiculita: 10% = 10 kg
- Hongo micorriza: 10% = 60 g (10 por cada planta).

Este proceso se lo repitió para cada maceta perteneciente a la dosis 1.

2.8.3 Preparación de sustrato – Dosis 2

Asimismo, para el trasplante de las plántulas seleccionadas destinadas para el grupo de dosis 2 a las macetas, se preparó un sustrato preparado, en el cual se mezcló en una lavacara grande la tierra de sembrado, humus, vermiculita y la dosis de micorriza (14 g). El porcentaje de cada elemento para la mezcla y preparación del sustrato destinada para 2 macetas se detalla a continuación:

- Tierra de sembrado: 40% = 25 kl
- Humus: 40% = 25 kl
- Vermiculita: 10% = 10 kg
- Hongo micorriza: 15% = 84 g (14 por cada planta).

Este proceso se lo repitió para cada maceta perteneciente a la dosis 2.

2.8.4 Trasplante

Después de la germinación, a los 15 días, las semillas germinadas se presentaban en un estado de plántula. Es muy importante que, durante la etapa de plántula, se mantengan en la bandeja de germinación hasta que todas tengan una altura promedio de 10 cm y que posean una cantidad exacta de hojas verdaderas (3 hojas).

Una vez asegurado que todas las plántulas cumplan con ese requerimiento, se procedió a trasplantar las plántulas de lechuga en macetas grandes con el sustrato listo. Se tomó la bandeja de germinación con las manos y luego se agitó lateral y moderadamente la bandeja de germinación para que las raíces de las plántulas se desprendan un poco de los pequeños grupos de fragmentos de tierra, esto es para facilitar el desprendimiento de las raíces del suelo, a su vez, evitamos desgarrar raíces secundarias y raicillas terciarias de la raíz principal.

Se prepararon las macetas a utilizar con el sustrato preparado y correspondiente para cada dosis. Luego se procedió con la extracción de las plántulas, se llevó a cabo de la siguiente manera: con el atomizador se humedeció la tierra para facilitar el desprendimiento de las plántulas y cuidadosamente, con los dedos de la mano se tomó del tallo las plántulas y se las agito suavemente para que las raíces se desprendan del suelo, se las agita hasta sentir que por sí solas se van desprendiendo.

Cuando las plántulas fueron desprendidas completamente de los alveolos de la bandeja de germinación, rápidamente se hizo un orificio con los dedos en el sustrato con una profundidad de 5 cm y 4 cm aprox. de diámetro y se procede a colocarlas en el espacio establecido, se tomó en cuenta que en cada maceta van colocadas 3 plántulas de lechuga con un distanciamiento de 20 cm.

Se procuró realizarlo de la manera más minuciosa posible para que las plantas no sufran estrés radicular o algún otro tipo de estrés. Las plantas expuestas a condiciones de estrés alteran su funcionamiento y generan

respuestas fisiológicas que afectan su desempeño agronómico (Rodríguez. izquierdo et al., 2021).

2.8.5 Monitoreo

El monitoreo en todas las etapas se realizó diariamente.

2.8.6 Riego

Para cada etapa fenológica, la cronología de riego era distinta. No se implementó una dosis específica de riego, solo se procuró que el suelo se humedezca evitando el encharcamiento.

Tabla 11.-Cronología de riego por etapas fenológicas.

RIEGO	
GERMINACIÓN	Cada día
PLÁNTULA	Pasando 1 días
CRECIMIENTO	Cada 3 días
DESARROLLO	Cada 3 días
PRECOSECHA	Cada 2 días

2.8.7 Tamaño de hoja – Dosis 1

Para medir el tamaño de las hojas, se tuvo que tomar en cuenta lo siguiente: al igual que las dosis para las plantas testigos, esta variable se midió desde la etapa de plántula para poder llevar una base de datos de su crecimiento progresivo hasta la etapa final. Su medición se dividió secuencialmente cada 20 días.

A los primero 20 días de su estado de plántula, se tomó registro de la primera toma de datos. Se realizó de la siguiente manera: a los primeros 20 días en estado de plántula, las plántulas presentaban un promedio de 5 a 6 hojas, por lo cual se decidió tomar para la base de datos una muestra de 5 hojas por plántula.

Con la cinta métrica procedimos a medir las hojas de cada plántula a su vez, tomando precauciones para no arrancar ninguna hoja o causar alguna lesión. De esa manera, se continuó llevando una toma de datos cada 20 días con una muestra de 5 hojas por plántula.

2.8.8 Tamaño de hoja – Dosis 2

Para medir el tamaño de las hojas, se tuvo que tomar en cuenta lo siguiente: al igual que las dosis para las plantas testigos, esta variable se midió desde la etapa de plántula para poder llevar una base de datos de su crecimiento progresivo hasta la etapa final. Su medición se dividió secuencialmente cada 20 días.

A los primero 20 días de su estado de plántula, se tomó registro de la primera toma de datos. Se realizó de la siguiente manera: a los primeros 20 días en estado de plántula, las plántulas presentaban un promedio de 5 a 6 hojas, por lo cual se decidió tomar para la base de datos una muestra de 5 hojas por plántula.

Con la cinta métrica procedimos a medir las hojas de cada plántula a su vez, tomando precauciones para no arrancar ninguna hoja o causar alguna lesión. De esa manera, se continuó llevando una toma de datos cada 20 días con una muestra de 5 hojas por plántula.

2.8.9 Tamaño de hoja – Testigo

Para medir el tamaño de las hojas, se tuvo que tomar en cuenta lo siguiente: al igual que las dosis para las plantas testigos, esta variable se midió desde la etapa de plántula para poder llevar una base de datos de su crecimiento progresivo hasta la etapa final. Su medición se dividió secuencialmente cada 20 días.

A los primero 20 días de su estado de plántula, se tomó registro de la primera toma de datos. Se realizó de la siguiente manera: a los primeros 20 días en estado de plántula, las plántulas presentaban un promedio de 5 a 6 hojas, por lo cual se decidió tomar para la base de datos una muestra de 5 hojas por plántula.

Con la cinta métrica procedimos a medir las hojas de cada plántula a su vez, tomando precauciones para no arrancar ninguna hoja o causar alguna lesión. De esa manera, se continuó llevando una toma de datos cada 20 días con una muestra de 5 hojas por plántula.

2.8.10 Toma de datos de biomasa – Dosis 1

Para la toma de datos de la biomasa, se pesaron todas las plantas de lechuga pertenecientes a D1 en la etapa de precosecha. Se prepararon los materiales previos a utilizar. Primero Se preparó la balanza y se la calibró para pesar la biomasa con precisión. Después se tomó un bisturí y el material vegetal (la lechuga). Se extrajeron las lechugas de la maceta, agitándolas de manera moderada para evitar lesiones o daños, y procedimos a separar, con la ayuda del bisturí, el tallo junto a la raíz de la lechuga. Es importante dejar 1 o 2 cm del tallo cuando se realiza la separación. Luego lavamos las hojas con agua para la limpieza de residuos de suelo u otros materiales no deseados que puedan afectar la medición precisa de la biomasa. De esa manera, procedimos a llevar las lechugas para la toma de datos de la biomasa. Por consiguiente, se procedieron a tomar los respectivos datos del peso de cada lechuga para su análisis procedente del diseño experimental a utilizar.

2.8.11 Toma de datos de la biomasa – Dosis 2

Para la toma de datos de la biomasa, se pesaron todas las plantas de lechuga pertenecientes a D2 en la etapa de precosecha. Se prepararon los materiales previos a utilizar. Primero Se preparó la balanza y se la calibró para pesar la biomasa con precisión. Después se tomó un bisturí y el material vegetal (la lechuga). Se extrajeron las lechugas de la maceta, agitándolas de manera moderada para evitar lesiones o daños, y procedimos a separar, con la ayuda del bisturí, el tallo junto a la raíz de la lechuga. Es importante dejar 1 o 2 cm del tallo cuando se realiza la separación. Luego lavamos las hojas con agua para la limpieza de residuos de suelo u otros materiales no deseados que puedan afectar la medición precisa de la biomasa. De esa manera, procedimos a llevar las lechugas para la toma de datos de la biomasa. Por consiguiente, se procedieron a tomar los respectivos datos del peso de cada lechuga para su análisis procedente del diseño experimental a utilizar.

2.8.12 Toma de datos de la biomasa – Testigo

Para la toma de datos de la biomasa, se pesaron todas las plantas de lechuga pertenecientes a las plantas testigo en la etapa de precosecha. Se prepararon los materiales previos a utilizar. Primero Se preparó la balanza y se

la calibró para pesar la biomasa con precisión. Después se tomó un bisturí y el material vegetal (la lechuga). Se extrajeron las lechugas de la maceta, agitándolas de manera moderada para evitar lesiones o daños, y procedimos a separar, con la ayuda del bisturí, el tallo junto a la raíz de la lechuga. Es importante dejar 1 o 2 cm del tallo cuando se realiza la separación. Luego lavamos las hojas con agua para la limpieza de residuos de suelo u otros materiales no deseados que puedan afectar la medición precisa de la biomasa. De esa manera, procedimos a llevar las lechugas para la toma de datos de la biomasa. Por consiguiente, se procedieron a tomar los respectivos datos del peso de cada lechuga para su análisis procedente del diseño experimental a utilizar.

2.8.13 Porcentaje de micorrización – Dosis 1

Se empezó con la recolección de raíces de las plantas de lechuga. Nos aseguramos de obtener raíces de diferentes plantas y de diferentes macetas para obtener una muestra representativa; el tamaño de la muestra es de 10 raíces de 10 plantas de lechuga. Después, se colocaron las raíces en la solución de fijación de 4 % para preservar la estructura. Dejamos las raíces en la solución durante 24 horas, tiempo óptimo para preservar adecuadamente las estructuras celulares. Al día siguiente, se procedió a lavar las raíces con agua para eliminar el exceso de fijador. Posteriormente, se cortaron secciones de raíces de aproximadamente 1 cm de longitud para preparar las muestras que se colocarían en el portaobjetos. Luego, se sumergieron las secciones de raíces en la solución tinte durante 10 minutos. Después, se colocó las secciones de raíces en un portaobjetos y se cubrieron con un cubreobjetos, asegurándonos de distribuir uniformemente las secciones para facilitar las observaciones.

Se continuó con el proceso de observación bajo el microscopio, se colocó el portaobjetos con la muestra en el microscopio y se observaron las secciones de raíces a diferentes aumentos con el propósito de buscar hifas y estructuras micorrícicas. Una vez identificadas las hifas, se procedió a realizar en un cuaderno un cuadro de evaluación, el cual se lo utilizó para registrar el porcentaje de micorrización en cada sección y se realizó el cálculo pertinente para cada muestra. Finalmente, se tomó registro de los resultados.

2.8.14 Porcentaje de micorrización – Dosis 2

Se empezó con la recolección de raíces de las plantas de lechuga. Nos aseguramos de obtener raíces de diferentes plantas y de diferentes macetas para obtener una muestra representativa; el tamaño de la muestra es de 10 raíces de 10 plantas de lechuga. Después, se colocaron las raíces en la solución de fijación de 4 % para preservar la estructura. Dejamos las raíces en la solución durante 24 horas, tiempo óptimo para preservar adecuadamente las estructuras celulares. Al día siguiente, se procedió a lavar las raíces con agua para eliminar el exceso de fijador. Posteriormente, se cortaron secciones de raíces de aproximadamente 1 cm de longitud para preparar las muestras que se colocarían en el portaobjetos. Luego, se sumergieron las secciones de raíces en la solución tinte durante 10 minutos. Después, se colocó las secciones de raíces en un portaobjetos y se cubrieron con un cubreobjetos, asegurándonos de distribuir uniformemente las secciones para facilitar las observaciones.

Se continuó con el proceso de observación bajo el microscopio, se colocó el portaobjetos con la muestra en el microscopio y se observaron las secciones de raíces a diferentes aumentos con el propósito de buscar hifas y estructuras micorrícicas. Una vez identificadas las hifas, se procedió a realizar en un cuaderno un cuadro de evaluación, el cual se lo utilizó para registrar el porcentaje de micorrización en cada sección y se realizó el cálculo pertinente para cada muestra. Finalmente, se tomó registro de los resultados.

2.8.15 Numero de nódulos – Dosis 1

Para el conteo de numero de nódulos en las raíces, se recolectaron las raíces de las plantas de lechuga y, al igual que el cálculo de porcentaje de micorrización, se aseguró de obtener raíces de diferentes plantas y macetas distintas del cultivo para obtener una muestra de 10 raíces representativas. Después se procedió a lavar las raíces con agua para eliminar el suelo y otros residuos no deseables. Se lo realizó con la utilización de pinzas para manipular las raíces con cuidado y evitar dañar las estructuras nodulares. Luego se llevó a cabo la observación bajo microscopio estereoscopio, se colocaron las raíces sobre un portaobjetos y se observaron las estructuras nodulares bajo el microscopio. Se identificaron los nódulos y la cantidad que habitaban en las

raíces. Los nódulos suelen tener apariencia distintiva con formas redondeadas o bulbosas. Finalmente, se tomó registro del número de nódulos por raíces para posteriormente realizar el análisis estadístico y su interpretación.

2.8.16 Numero de nódulos – Dosis 2

Para el conteo de numero de nódulos en las raíces, se recolectaron las raíces de las plantas de lechuga y, al igual que el cálculo de porcentaje de micorrización, se aseguró de obtener raíces de diferentes plantas y macetas distintas del cultivo para obtener una muestra de 10 raíces representativas. Después se procedió a lavar las raíces con agua para eliminar el suelo y otros residuos no deseables. Se lo realizó con la utilización de pinzas para manipular las raíces con cuidado y evitar dañar las estructuras nodulares. Luego se llevó a cabo la observación bajo microscopio estereoscopio, se colocaron las raíces sobre un portaobjetos y se observaron las estructuras nodulares bajo el microscopio. Se identificaron los nódulos y la cantidad que habitaban en las raíces. Los nódulos suelen tener apariencia distintiva con formas redondeadas o bulbosas. Finalmente, se tomó registro del número de nódulos por raíces para posteriormente realizar el análisis estadístico y su interpretación.

Análisis e Interpretación de los resultados

Capítulo 3

3. Análisis e Interpretación de los resultados

Con el objetivo de responder a las preguntas de investigación planteadas al inicio de este estudio, se procederá a analizar los resultados obtenidos y su relevancia en el contexto de la implementación de hongo micorriza en el cultivo de lechuga crespa en un huerto casero de una zona urbana.

Estos gráficos sirven como herramientas visuales clave para explorar y comunicar las complejidades de datos, y cada uno ha sido seleccionado estratégicamente para resaltar aspectos específicos del tema de investigación.

3.1 Tamaño de hoja – Etapa de plántula.

De acuerdo con el grafico 1, donde se visualizan las diferentes longitudes entre el tamaño de las hojas en etapa de plántula en comparación a los distintos tratamientos. Se puede observar que la dosis 1 posee una longitud de tamaño semi-paralelo a la dosis 2, con un promedio de (5 cm a 6 cm de longitud), lo cual quiere decir que ambas dosis crecen simultáneamente. Por otro lado, se observa que en el tratamiento “testigo”, las hojas de las plántulas son de menor tamaño en comparación de las D1 y D2, por lo cual se puede inferir que el proceso de desarrollo de las plantas testigos es un poco lento.

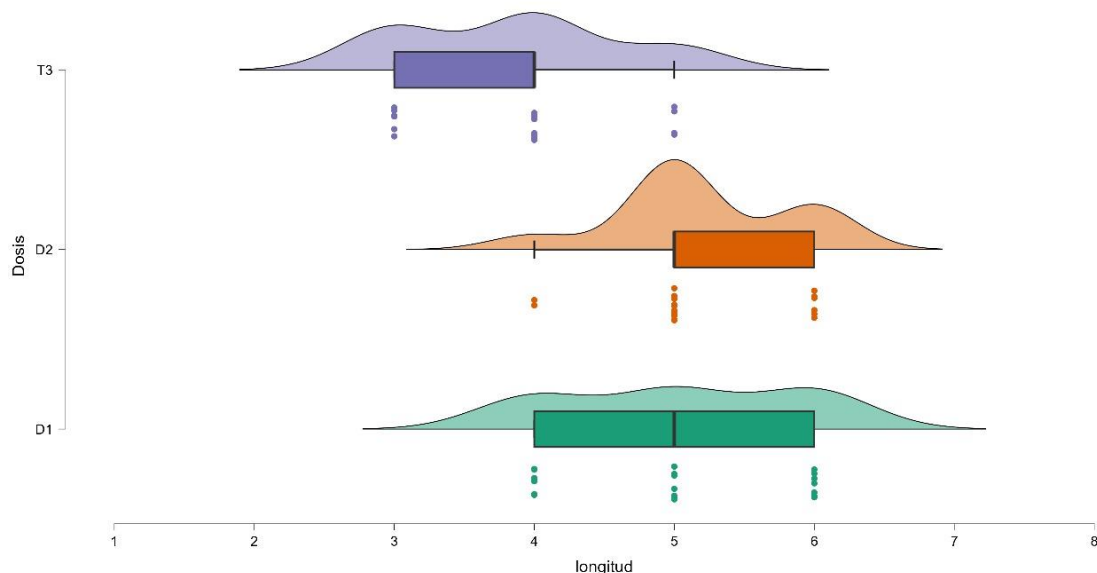


Figura 3.- Grafico de correlación entre el tamaño de las hojas en etapa de plántulas.

3.2 Tamaño de las hojas - Etapa de crecimiento.

Para esta etapa fenológica, se puede observar el incremento en la longitud de las hojas en cada tratamiento, reflejando un óptimo crecimiento en tamaño para el tratamiento D2. Sin embargo, D1 refleja un crecimiento continuo, pero esta vez ya no es semi paralelo a D2. En el tratamiento “testigo”, se puede observar que posee un crecimiento más lento que los otros tratamientos.

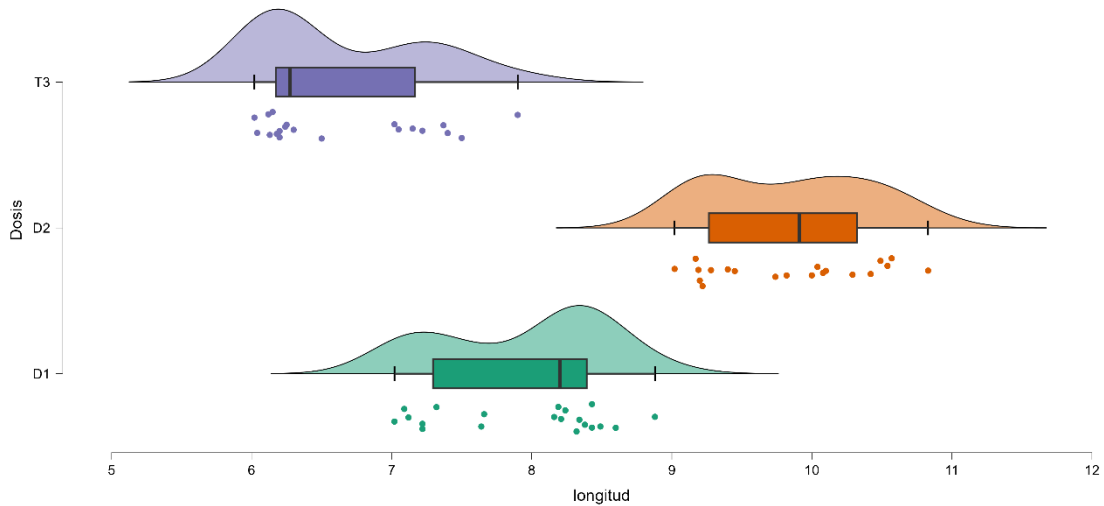


Figura 4.- Cuadro de correlación entre el tamaño de las hojas en etapa de crecimiento.

3.3 Tamaño de las hojas – Etapa de desarrollo.

Para esta etapa se observa que nuevamente el tratamiento D2 presenta un crecimiento continuo y progresivo, al igual que la D1. Evidenciando claramente el lento proceso de crecimiento del tratamiento “Testigo”.

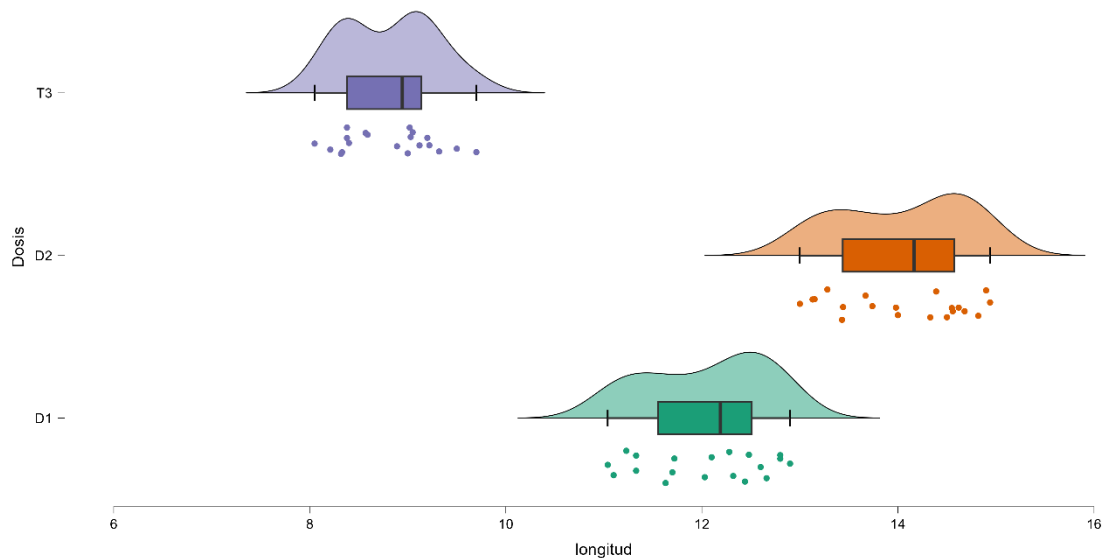


Figura 5.- Gráfico de correlación entre el tamaño de las hojas en etapa de desarrollo.

3.4 Tamaño de las hojas – Etapa de precosecha

En la etapa objetivo, se observa que la variable D2 indica el potencial de un proceso de crecimiento de hojas en longitud de manera rápida y eficiente. En contraste, la variable D1 presenta un crecimiento simultaneo, pero no en la misma magnitud, mientras que el tratamiento “testigo” muestra un ritmo de crecimiento más lento.

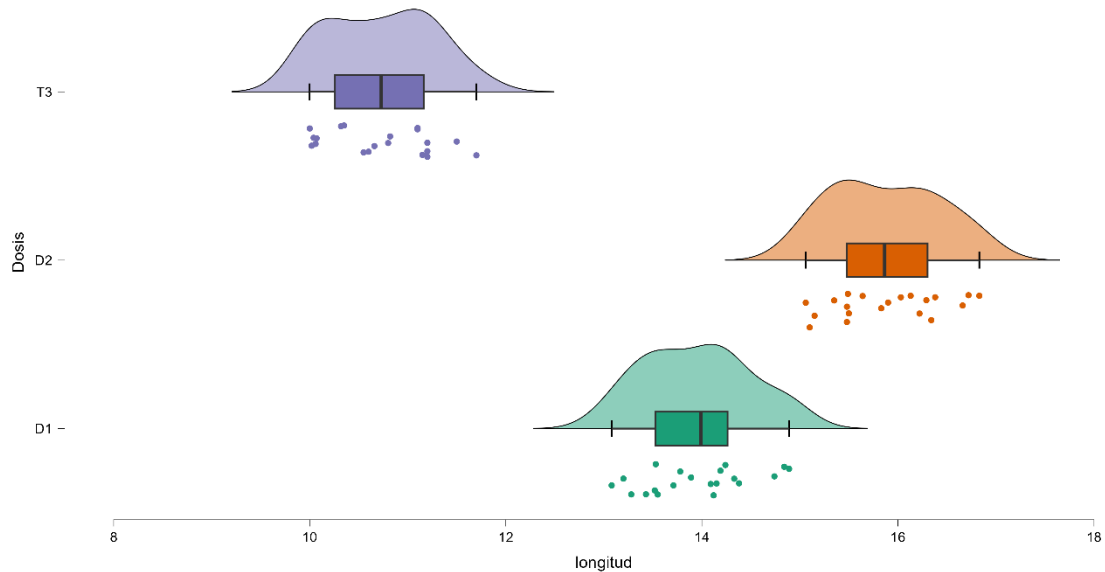


Figura 6.- Grafico de correlación entre el tamaño de las hojas en etapa de precosecha.

3.5 Ancho de la hoja – Etapa de plántula.

Para esta etapa, se observa que la anchura de las hojas en el tratamiento D2 es distinguible de resto de los tratamientos.

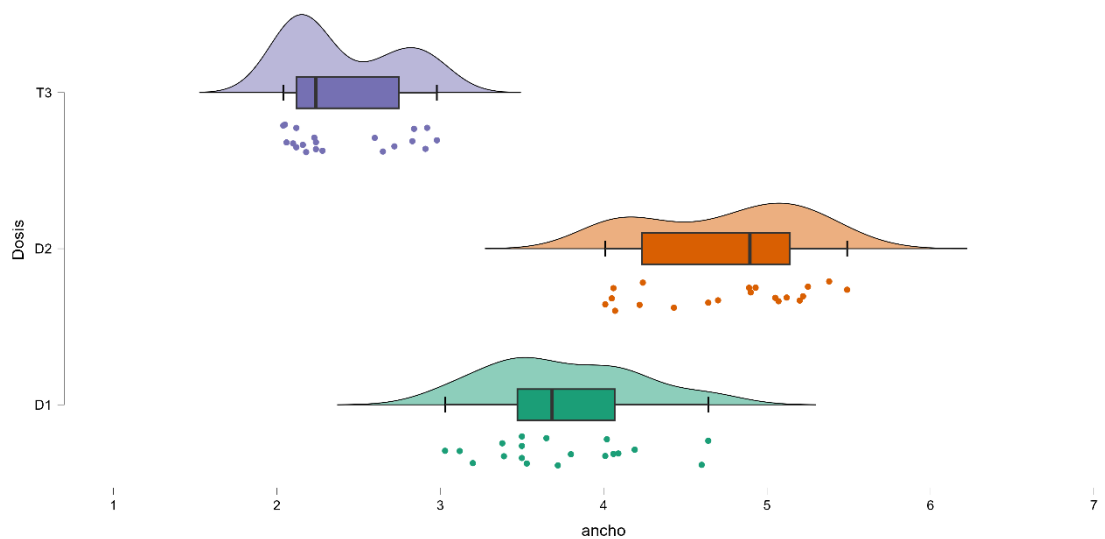


Figura 7.- Grafico de correlación entre la anchura de las hojas en etapa de plántula.

3.6 Ancho de las hojas – Etapa de crecimiento.

Al igual que en la etapa de plántula, las hojas del tratamiento D2 presenta un desarrollo en la anchura de sus hojas eficientemente. Pero hay que resaltar algo importante, se puede apreciar que las hojas del tratamiento D1 existe una característica y es que las hojas poseen una similitud en su anchura con un dato de 7 cm de anchura por hoja, a diferencia del tratamiento D2, que a pesar de su óptimo desarrollo, su rango es variable y no comparten similitud entre las medidas de anchura.

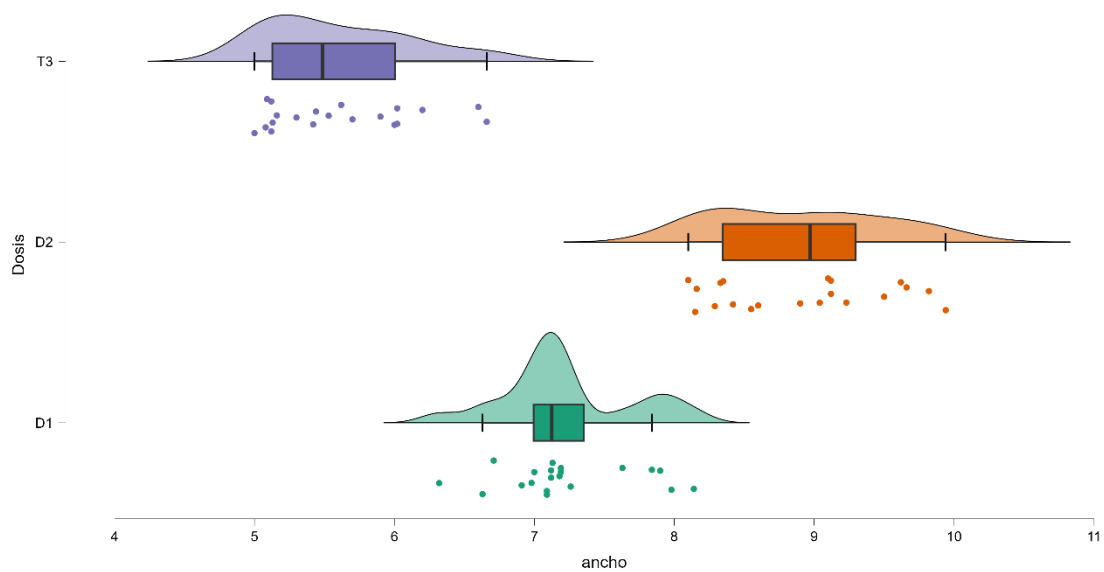


Figura 8.- Grafica de correlación entre el ancho de las hojas en etapa de crecimiento.

3.7 Ancho de las hojas – Etapa de desarrollo.

Para esta etapa no hay muchas diferencias que resaltar, aunque se puede observar que el desarrollo de la anchura de ambas dosis presenta una diferencia muy mínima en su continuo desarrollo. Se debe tomar en cuenta que la etapa de desarrollo es una de las más cruciales, porque la planta necesita mayores requerimientos de servicios ecosistémico para su preparación hacia su preparación hacia la siguiente fase, que es la precosecha.

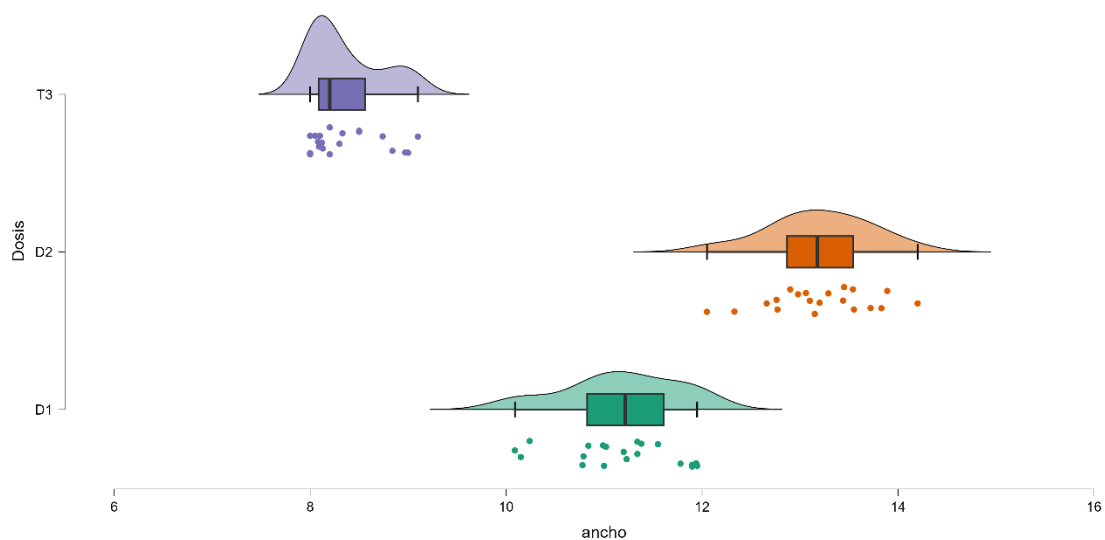


Figura 9.- Grafico de correlación entre la anchura de las hojas en etapa de desarrollo.

3.8 Ancho de las hojas – Etapa de precosecha.

Se observó que en la etapa meta, ambas dosis presentaron un óptimo desarrollo en la anchura de las hojas; aunque no eran iguales, el rango de crecimiento fue muy cercano. Esto demostró una alta competencia nutricional en el desarrollo de las hojas.

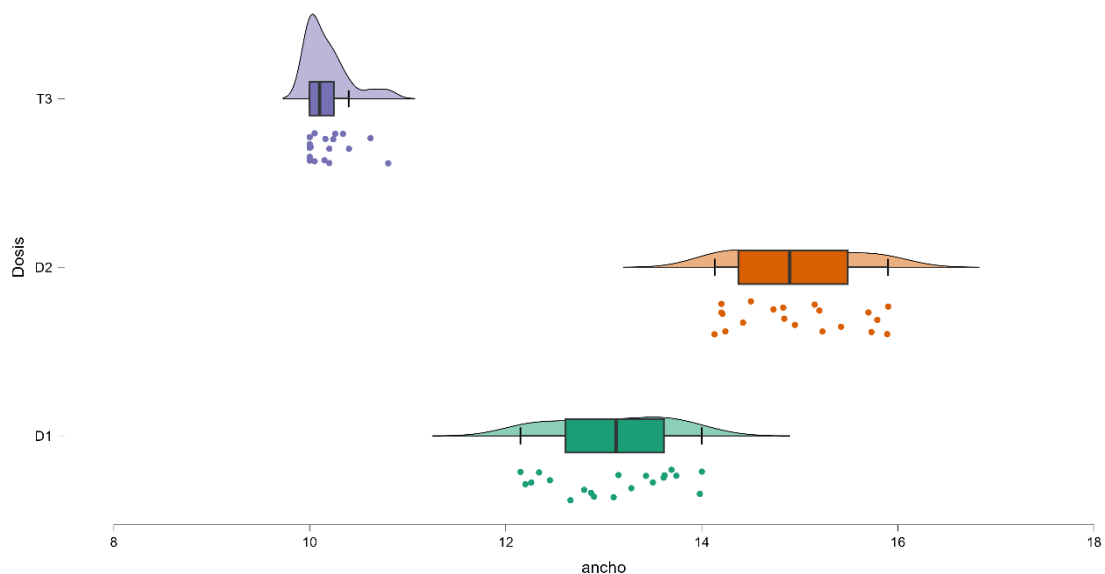


Figura 10.- Grafico de correlación entre la anchura de las hojas en etapa de precosecha.

3.9 Numero de hojas – Etapa de plántula.

En la gráfica se puede observar que las plantas del tratamiento “testigo” mantuvieron un rango de 3 hojas durante sus primeros 20 días de plántula a diferencia de los otros tratamientos que mantuvieron un rango diverso entre 3 hojas a 4 hojas.

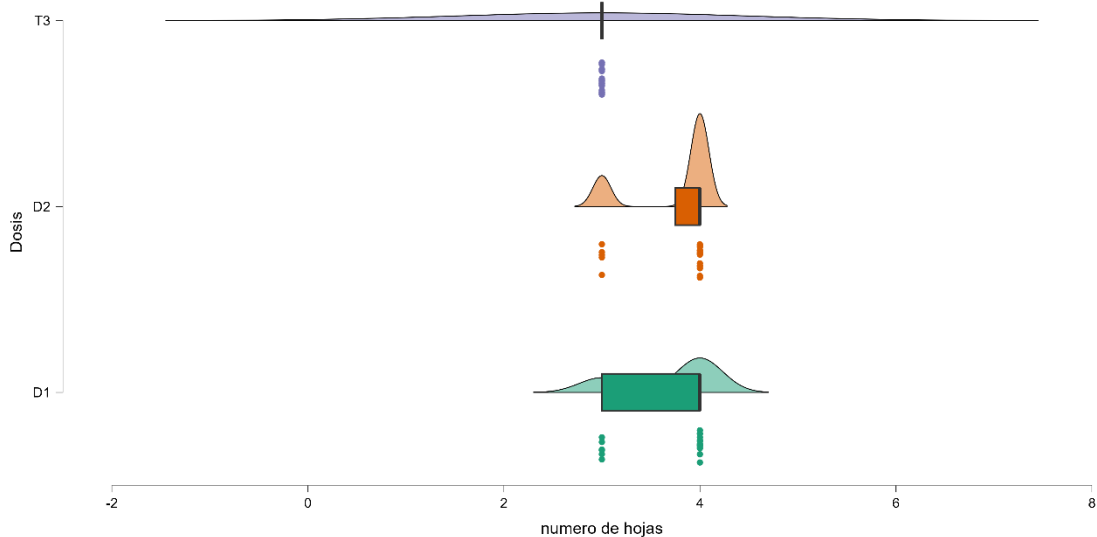


Figura 11.-Gráfico de correlación entre el número de hojas en la etapa de plántula.

3.10 Numero de hojas – Etapa de crecimiento.

Durante la etapa de crecimiento, se observó que todos los tratamientos resultaron en un aumento en el número de hojas. Este aumento no ocurrió simultáneamente, pero sí de manera uniforme. Es decir, todas las dosis tienen un rango promedio de aumento de hojas y todas comparten una similitud en su tasa de crecimiento, aunque no son idénticas.

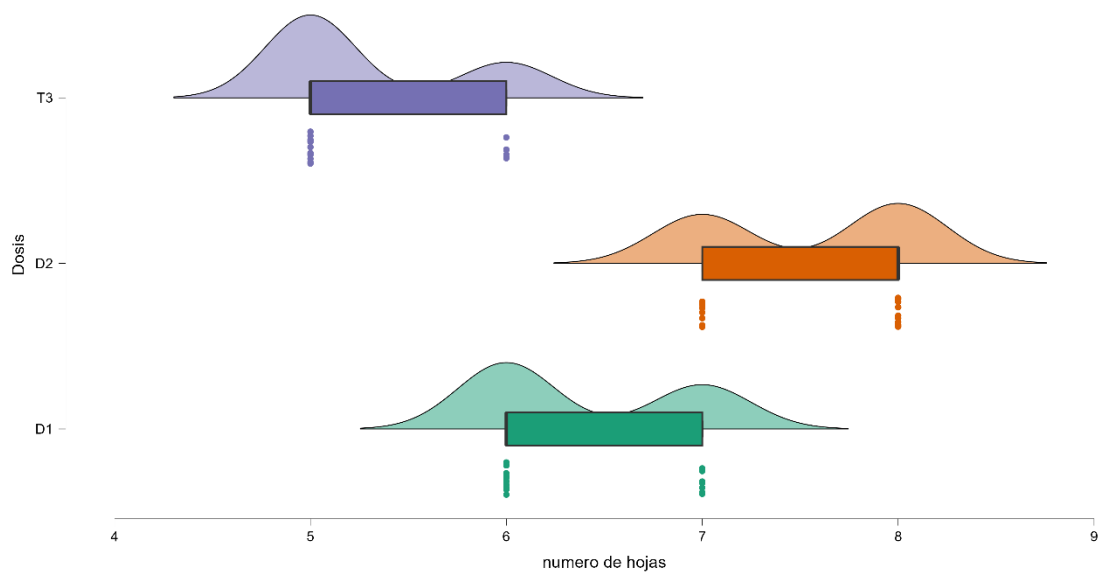


Figura 12.- Grafico de correlación entre el número de hojas en la etapa de crecimiento.

3.11 Numero de hojas – Etapa de desarrollo.

Para esta etapa de desarrollo, se observó una diferenciación notoria respecto a los rangos de numero de nuevas hojas. Recordándose que la etapa de desarrollo es la etapa en la cual la planta requiere de más recursos ecosistémicos para su preparación a la siguiente fase fenológica. Estamos hablando de la etapa de precosecha.

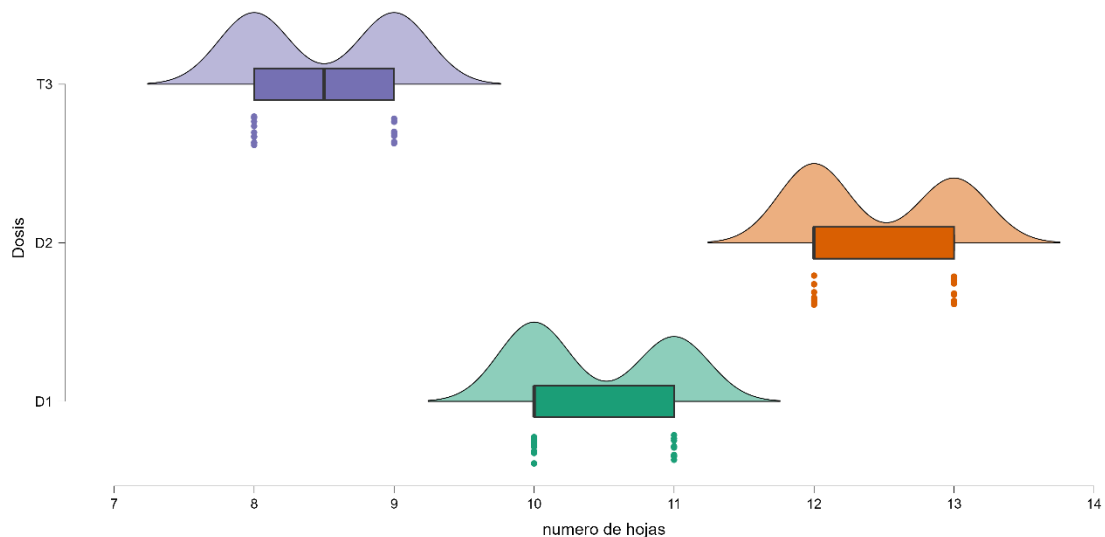


Figura 13.- Grafico de correlación entre el número de hojas en la etapa de desarrollo.

3.12 Numero de hojas – Etapa de precosecha.

Es interesante ver como para esta etapa de precosecha, las plantas poseen una cercanía de competencia en el aumento de hojas, recordando que para la etapa fenológica anterior (desarrollo), ellas presentaron una diferenciación de rango notoria y para esta etapa todas utilizan esa reserva de recursos ecosistémicos para el desarrollo de nuevas hojas.

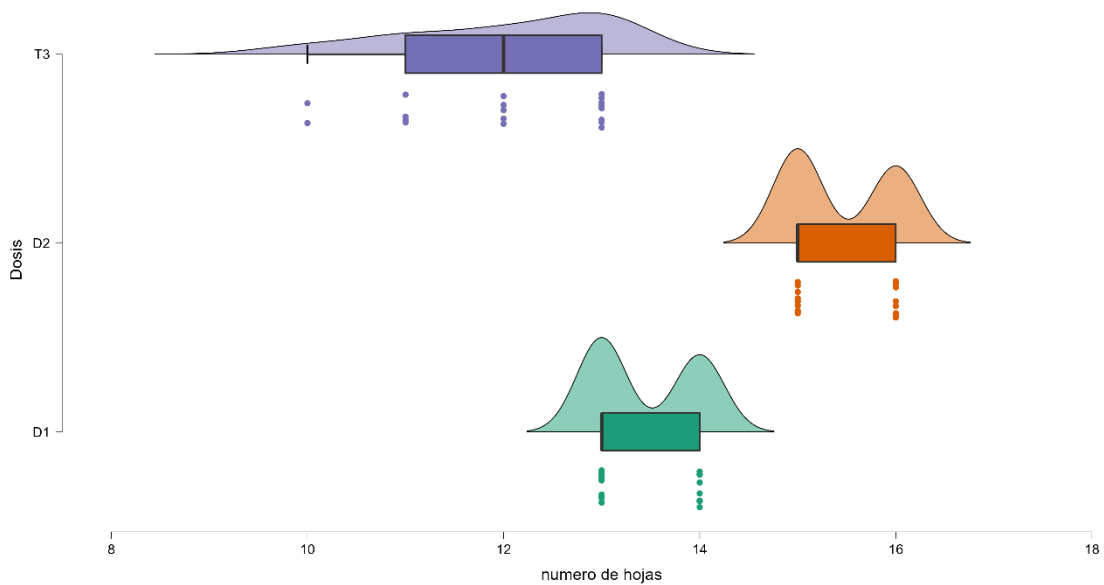


Figura 14.- Gráfico de correlación entre el número de hojas en la etapa de precosecha.

3.13 Porcentaje de micorrización

Para el porcentaje de micorrización, se llevó a cabo en la etapa meta de precosecha, en la cual se puede observar mediante la gráfica que tiene correlación con las estadísticas anteriores. En esta gráfica, se puede observar que las plantas pertenecientes al tratamiento D2 poseen un porcentaje de micorrización alta en sus raíces mediante el respectivo cálculo de hifas, sobresaliendo con un promedio de (13%) de micorrización, comparado con el tratamiento D1 que tuvo un porcentaje de (10%) de colonización micorrícica en las raíces.

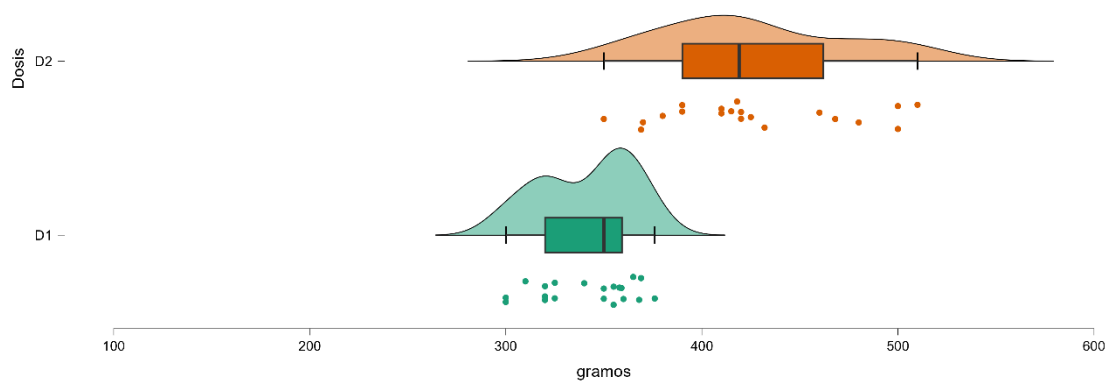


Figura 15.-Grafico de correlación entre el porcentaje de micorrización en la etapa meta de precosecha.

3.14 Numero de nódulos

Para esta evaluación se pudo observar que el número de nodulaciones en las raíces era casi escaso, con la dosis 2 sobresaliendo con una muestra significativa de 25 nodulos calculados.

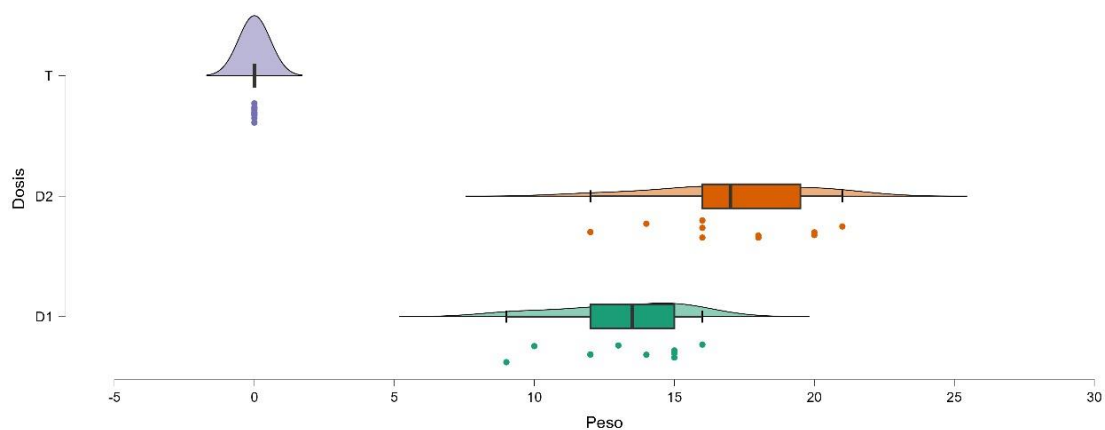


Figura 16.- Grafico de correlación entre el número de nódulos en las raíces en la etapa meta de precosecha.

Discusión

Capítulo 4

4. Discusión

Los resultados obtenidos sobre el desarrollo, crecimiento y producción parecen confirmar el efecto positivo que *Glomus Acaulospora* y *Entrophospora* tienen sobre la producción de lechuga (*Lactuca satavia*) tipo crespita. Los pesos de biomasa de las lechugas se han visto incrementados por el tratamiento con micorrizas; asimismo, el calibre de estas también se ha visto incrementado.

El peso de la biomasa no ha mostrado diferencias significativas, lo cual podría deberse al corto ciclo de la lechuga, apenas tres meses entre la siembra y la cosecha. En tan corto espacio de tiempo, el principal efecto de las micorrizas sería producir un aumento estadísticamente significativo de materia viva.

Conclusiones

- Al remontarnos a los objetivos establecidos al inicio de este estudio, observamos como cada paso de la investigación ha contribuido a alcanzar metas específicas. Se ha logrado una comprensión más profunda sobre la relación directa que existe entre el hongo micorriza y la planta de lechuga (*Lactuca satavia*) tipo cressa. A su vez, se demostró, a través de una evaluación constante, que el hongo micorriza efectivamente influye de manera positiva en el crecimiento, desarrollo y producción de la lechuga cressa, conservando las buenas prácticas agronómicas, reduciendo el uso de bioquímicos y preservando la agricultura sostenible.
- Se comprobó que el uso de una dosis de 14 g de micorriza por planta a nivel de huerto, es óptimo para mantener nuestro material vegetal en óptimas condiciones y proveer de alimentos cultivados de manera orgánica.
- La pregunta central que guió este estudio, ¿De qué manera contribuye el hongo micorriza en el óptimo desarrollo, crecimiento y producción de la planta de Lechuga Cressa (*Lactuca satavia*) en un huerto casero en una zona urbana?, ha sido abordada desde diversas perspectivas. La evidencia acumulada a lo largo de este trabajo proporciona respuestas fundamentales a la contribución de saberes agronómicos en el fiel uso de hongo micorriza en los huertos caseros de una zona urbana. Este estudio abre puertas a campos de estudio más profundos. ¿Y quién sabe?, el hongo micorriza podría ser la salvación para la preservación de la biodiversidad vegetal.

Recomendaciones

Una vez presentadas las conclusiones alcanzadas, el autor muy respetuosamente realiza las siguientes recomendaciones:

- El uso de hongo micorriza para pequeños huertos en zonas donde la escasez de recursos ecosistémicos limite la interacción entre el hombre y la producción vegetal.
- Implementar el uso de micorriza en otros cultivos para incrementar nuevos saberes agronómicos con un enfoque directo a la agricultura sostenible.
- Impulsar a las zonas urbanas a crear huertos caseros para que no se pierda la biodiversidad vegetal.
- Se recomienda la utilización de otros tipos de hongos micorrícicos para respaldar temas de interés asociados.

Bibliografía

1. David Calderón, & Fredi Portilla. (2020). *Conocimiento ancestral agrícola de adultas mayores aplicado a huertos urbanos Cuenca-Ecuador*. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información, 2020(E30), 197–207.
2. Mario Honrubia. (2019). *Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años*. Anales Del Jardín Botánico de Madrid, 66S1(ISSN: 0211-1322), 133–144.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3117856>.
3. Pérez C, A., Rojas S, J., Montes V, D. (2019). *Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano*. Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA, 3(2), 366.
<https://doi.org/10.24188/recia.v3.n2.2011.412>.
4. Cotrina Silva, & Yessenia Maryori. (2018). *Eficacia de la inoculación de micorrizas en el suelo para incrementar la productividad del tomate (Solanum lycopersicum)*, Huarochirí, 2018 [Ingeniería Ambiental]. Universidad Cesar Vallejo.
5. *FAO; FIDA; OMS; PMA; UNICEF; (2020). Hambre e inseguridad alimentaria*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://www.fao.org/hunger/es/>
6. *Colding, J., & Barthel, S. (2019). The potential of 'Urban Green Commons' in the resilience building of cities*. Ecological Economics, 86, 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.10.016>.
7. Harley, J. L. y S. E. Smith (1983). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press Inc. London, UK.
8. Aguilera G, LI, Olalde P, V., Arriaga, MR, Contreras A, R. (2007). *Micorrizas arbusculares*. CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva, 14 (3), 300-306.

9. Darwesh, D. A., Mustafa, K. K. (2019). *Influence of fungicides and vesicular arbuscular mycorrhiza on growth and nutrient balance of soybean by used DRIS equation*. *Agricultural Sciences*, 03(05), 738–744. <https://doi.org/10.4236/as.2012.35089>.
10. Carlos A., Amaya H. (2005). *El Ecosistema Urbano: Simbiosis Espacial Entre Lo Natural Y Lo Artificial*. *Revista Forestal Latinoamericana*, 1–14.
11. Wang, Q., Yamashita, M. (2015). *Social-Ecological Evolutionary Resilience: A Proposal to Enhance “Sustainability Transformation” about Theoretical Foundation*. *OALib*, 02(03), 1–8. <https://doi.org/10.4236/oalib.1101426>.
12. Díez B, A., Hernández A, A., Sanz F, A. (2022). *Resiliencia urbana: discurso e institucionalización de un concepto*. *Ciudades*, 25, 1–18. <https://doi.org/10.24197/ciudades.25.2022.1-18>.
13. Alonso N. Hernández A. (2019). *Historia de los huertos urbanos. De los huertos para pobres a los programas de agricultura urbana ecológica*. Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 1–12. <https://oa.upm.es/12201/>
14. Simbaña U, & Fernando C. (2020). *Evaluación del contenido de minerales en lechuga (Lactuca sativa var. Crispa) crecidas en diferentes soluciones nutritivas de un cultivo hidropónico*. Universidad Politécnica Salesiana de Quito, 1–98. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18974>
15. Delgado S, H. D., Gutiérrez M, L. V. (2022). *Hongos micorrizas arbusculares: la simbiosis de los múltiples beneficios*. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 12(2), 2–14. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15196>
16. ONU. (2014). *Más de la mitad de la población vive en áreas urbanas y seguirá creciendo*. <https://www.un.org/es/desa/world-urbanization-prospects-2014>.
17. Urías B, D. S., Ochoa de la Torre, J. M. (2020). *Huertos urbanos como estrategia de resiliencia urbana en países en desarrollo*. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 8, 81–102. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i8.143>

18. Uc Ku, A. G., Arreola E, J., Carrillo A, E., Osnaya G, M. M., Alarcón, A., Ferrera C, R., Landeros S, C. (2019). *Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de Heliconia stricta*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10(5), 1057–1069.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1608>
19. Hernández W., & Salas E. (2008). *La inoculación con glomus fasciculatum en el crecimiento de cuatro especies en vivero y campo*. INISEFOR, 33(1), 1–16.
20. Silvia E. (2009). *El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura*. Universidad Industrial de Santander, 7(1), 1–10.
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/706>
21. González-Chávez, M. C. A. G.-C. M. C. W. S. (2004). Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su e estabilidad. Tierra Latinoamericana, 1–9.
<https://www.redalyc.org/pdf/573/57311096014.pdf>
22. Álvaro C. (2019). Micorrizas: simbiosis beneficiosa. Fertibox.
<https://www.fertibox.net/single-post/micorrizas>.
23. Arias, R., Romero, A., & Bañuelos, J. (2019). *Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate*. Mexico: Texococo.
24. Carrilo, C. (s/f de s/f de 2000). *Producción de inóculo de hongos ectomicorrízicos y micorrización controlada de pinus helepensis miller en vivero*. Obtenido de A. Dialnet Web site: <https://dialnet.unirioja.es>
25. FAO, S. A. (2005). *Huerto familiar Integrado. Proyecto Especial para la seguridad alimentaria*. Honduras: PESA. Obtenido de PESA.
26. Herrera, L. (2019). *Contribución de los huertos urbanos a la economía familiar de los habitantes del Cantón Mocache*. Quevedo: UTEQ.
27. Lok, R. (1998). *Huertos caseros tradicionales de America Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque multidisciplinario*. CATIE.

28. MAPA. (2019). *Informe del consumo alimentario en España 2018*. In *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Gobierno de España, MAPA, C.d.P.d., ed. Madrid: Gobierno de España.
29. Martín, G. M., & Rivera, R. (2015). *INFLUENCIA DE LA INOCULACIÓN MICORRÍZICA EN LOS ABONOS VERDES*. S/E.
30. Rodríguez, A., & Isabel, P. (2017). *Quito siembra: Agricultura urbana*. Quito: Adiecuatorial.
31. Rodríguez-Yzquierdo, G. A., Patiño-Moscoso, M. A., & Betancourt-Vásquez, M. (2021). Caracterización fisiológica en plantas de Cannabis medicinal durante distintas etapas fenológicas bajo estrés biótico. *Agronomía Mesoamericana*, 823–840.
<https://doi.org/10.15517/am.v32i3.44443>

Anexos



Figura 17.- (A) Construcción infraestructural del huerto. Fuente: Autor. (B) Sembrado de semillas de lechuga crespa en bandeja de germinación. Fuente: Autor.



Figura 18.- (A) Riego matutino en el cultivo de lechuga crespa. Fuente: Autor. (B) Plantas de lechuga en etapa de precosecha perteneciente a dosis 1. Fuente: Autor.



Figura 19.- (A) Extracto de raíz para previo reposo. Fuente: Autor. (B) Identificación de hifas en extracto de raíz. Fuente: Autor.



Figura 20.- (A) Aplicación de solución de fijación. Fuente: Autor. (B) Toma de datos de hifas en muestra de raíz micorríza. Fuente: Autor.

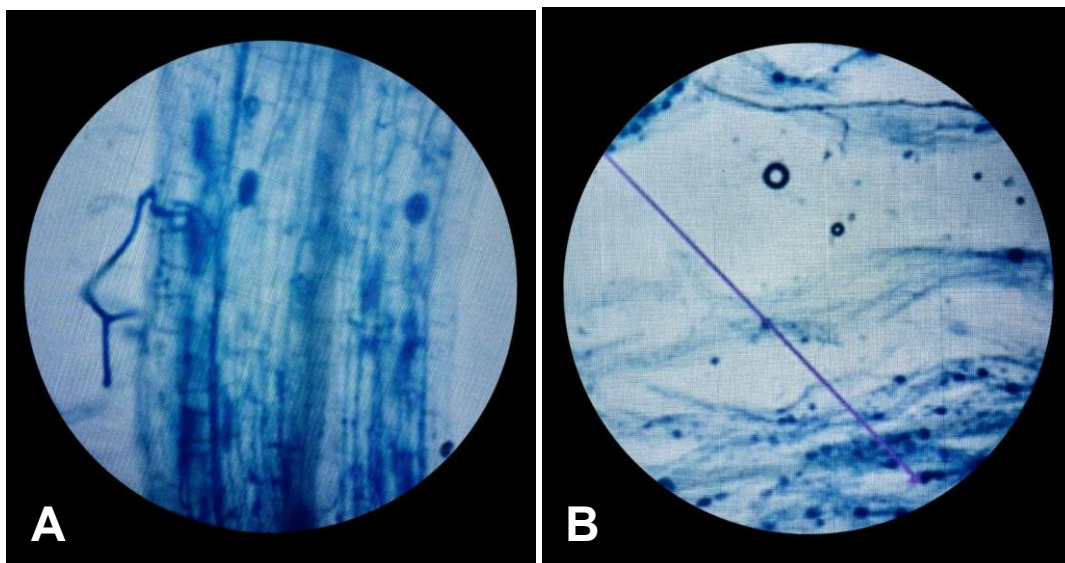


Figura 21.- (A) Hifa entrando a la raíz. Fuente: Autor. (B) Raíz micorrizada. Fuente: Autor.