



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

**EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN EL RENDIMIENTO  
AGRONÓMICO DE ESPINACA (*Spinacea oleracea* L.)**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA**

**AUTOR: HARO ALTAMIRANO MILTON ANDRÉS**

**TUTOR: LAURA HUACHI**

**Quito Ecuador**

**2025**

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Milton Andrés Haro Altamirano con documento de identificación N° 1726823949 manifiesto que: Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 13 de marzo del año 2025

Atentamente,



---

Milton Andrés Haro Altamirano  
1726823949

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Milton Andrés Haro Altamirano con documento de identificación No.1726823949, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: “Evaluación de micorrizas arbusculares en el rendimiento agronómico de espinaca (*Spinacea oleracea L.*)”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Biotecnología, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de marzo del año 2025

Atentamente,



-----  
Milton Andrés Haro Altamirano

1726823949

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Laura Elizabeth Huachi Espín con documento de identificación N° 1726823949, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN EL RENDIMIENTO AGRONÓMICO DE ESPINACA (*SPINACEA OLERACEA* L.), realizado por Milton Andrés Haro Altamirano con documento de identificación N° 1726823949, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de marzo del año 2025

Atentamente,



-----  
Ing. Laura Huachi. MSc.

## **Dedicatoria**

**“La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento,  
sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica”**

**Aristóteles**

**La ciencia humana consiste más en destruir errores que en descubrir verdades**

**Sócrates**

## **Agradecimientos**

A Dios, por la vida, la salud, por cuidarme, protegerme y darme la posibilidad de educarme.

Una vez terminado mi largo trajinar por las aulas de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito, quiero dejar mi constancia de agradecimiento imperecedero por todo lo que he recibido de tan ilustre Institución educativa que forjó en mí el anhelo de convertirme en un profesional de la Biotecnología y difundir sus enseñanzas para el beneficio del país.

A la Ingeniera MSc. Laura Huachi, por su paciencia y buena voluntad para ir moldeando la presente investigación hasta convertirla en los resultados que hoy se plasman en el presente documento que seguramente será aprovechado por los agricultores que se dedican a la ardua labor de cultivar espinaca.

Mi reconocimiento y especial gratitud al personal técnico y administrativo de Sociedad de Hecho Agrícola Cayo Boyero en la persona del Ingeniero Francisco Castellanos por permitirme llevar a cabo esta investigación en sus predios, por compartir sus experiencias y su constante ayuda durante la fase de campo y redacción.

## **Resumen**

En el Ecuador, el uso de fertilizantes sintéticos es excesivo, sobre todo por el desconocimiento de alternativas biológicas que permitan optimizar su uso. En este problema está inmerso la espinaca (*Spinacea oleracea* L.), que es un cultivo con alto requerimiento y baja eficiencia en la absorción de nutrientes por lo que para lograr buenos rendimientos se utilizan cantidades abundantes de este insumo agrícola. Las micorrizas pueden ser una alternativa, por lo que en este trabajo se pretendió identificar los géneros y especies inoculados en el suelo a través de un bioinsumo y su influencia en el rendimiento de la espinaca. La investigación se realizó en dos fases: 1) Fase de laboratorio en la que se efectuó el análisis físico-químico del suelo e identificación microscópica de especies de micorrizas; 2) Fase de campo, realizado en la Hacienda Cayo Boyero cuyas coordenadas de ubicación son: 0°45'38.2"S y 78°35'52.5"W., donde en un cultivo de espinaca para exportación se probaron 3 dosis de fertilización química y 3 dosis de micorrizas (300 kg/ha de NPK + 20 kg/ha de micorriza; 240 kg/ha de NPK + 20 kg/ha de micorriza; 180 kg/ha de NPK + 20 kg/ha de micorriza). Se utilizó para la evaluación de campo, un diseño de Bloques Completamente Aleatorizados en arreglo factorial 3x3, con 3 repeticiones. Las variables agronómicas evaluadas fueron: altura de planta, longitud de hoja, diámetro de tallo y número de hojas por planta; evaluaciones que fueron realizadas a las 4, 6, 8 y 10 semanas. El rendimiento se evaluó a la cosecha. Las especies de micorrizas identificadas fueron: *Sclerocystis* sp, *Glomus* sp, *Glomus deserticola*, *Glomus constrictum*. En la fase de campo el mejor rendimiento se obtuvo con la dosis de 300 kg/ha de fertilizante químico con 67.16 t/ha, mientras que la mejor dosis de micorrizas fue de 20 kg/ha con 66.00 t/ha. El Análisis de Presupuesto Parcial, que por su metodología consideró todos los tratamientos evaluados, determinó que el mejor tratamiento desde el punto de vista económico fue F3M3 (180 kg/ha de NPK + 20 kg/ha de micorriza), con una tasa de retorno marginal (TRM) del 4080.18 %.

**Palabras clave:** Simbiosis, absorción, nutrientes, arbusculo, hifa intraradical

## **Abstract**

In Ecuador, the use of synthetic fertilizers is excessive, mainly due to the lack of knowledge of biological alternatives that optimize their use. This problem involves spinach (*Spinacea oleracea* L.), which is a crop with high requirements and low efficiency in nutrient absorption; therefore, to achieve good yields, abundant quantities of this agricultural input are used. Mycorrhizae can be an alternative, so this study aimed to identify the genera and species inoculated in the soil through a biofertilizer and their influence on spinach yield. This research was carried out in two phases: 1) Laboratory phase in which the physical-chemical analysis of the soil and microscopic identification of mycorrhizal species was carried out; 2) Field phase, carried out at the Hacienda Cayo Boyero whose location coordinates are: 0°45'38.2"S y 78°35'52.5"W., where 3 doses of chemical fertilization and 3 doses of mycorrhizae were tested on a spinach crop for export (300 kg/ha of NPK + 20 kg/ha of mycorrhizae; 240 kg/ha of NPK + 20 kg/ha of mycorrhizae; 180 kg/ha of NPK + 20 kg/ha of mycorrhizae). A completely randomized block design with 3 replications was used for the field evaluation. The agronomic variables evaluated were plant height, leaf length, stem diameter and number of leaves per plant; evaluations were carried out at 4, 6, 8 and 10 weeks. Yield was evaluated at harvest. The species identified were: *Sclerocystis* sp, *Glomus* sp, *Glomus deserticola*, *Glomus constrictum*.

In the field phase, the best yield was obtained with the dose of 300 kg/ha of chemical fertilizer with 67.16 t/ha, while the best dose of mycorrhizae was 20 kg/ha with 66.00 t/ha. The Partial Budget Analysis, which by its methodology considered all the treatments evaluated, determined that the best treatment from the economic point of view was F3M3 (180 kg/ha of NPK + 20 kg/ha of mycorrhizae), with a marginal rate of return (MRR) of 4080.18 %.

**Keywords:** symbiosis, absorption, nutrients, arbuscule, intraradical hyphae

## Índice de Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>4</b>
2.1. ESPINACA (SPINACEA OLERACEA L.).....	4
2.1.1. Taxonomía .....	4
2.1.2. Descripción botánica.....	4
□ Raíz .....	4
□ Tallo .....	4
□ Hojas .....	5
□ Flor e inflorescencia.....	5
□ Fruto y semilla .....	5
2.1.3. Valor nutricional .....	6
2.2. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS .....	6
2.2.1. Temperatura .....	6
2.2.2. Riego .....	7
2.2.3. Luminosidad .....	7
2.2.4. Suelos y pH .....	7
2.3. MANEJO DEL CULTIVO .....	7
2.4. FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN ESPINACA .....	8
2.5. FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN ESPINACA .....	8
2.6. LA MICORRIZA .....	9
2.6.1. Generalidades.....	9
2.6.2. Tipos de hongos micorrízicos .....	9
2.6.3. Especies más relevantes de hongos micorrízicos arbusculares (HMA).....	11
2.6.3.1. <i>Glomus</i> .....	11
2.6.3.2. <i>Archaespora</i> .....	14
2.6.3.3. <i>Gigasporas</i> .....	17
2.7. Asimilación de nitrógeno y fósforo inorgánico por los HMA .....	19
2.8. Mecanismo de acción de los HMA en las plantas .....	20
2.9. Influencia de los HMA en el rendimiento del cultivo.....	21
2.10. Efectos de los HMA en el cultivo de hortalizas.....	22
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>23</b>
3.1. FASE DE CAMPO .....	23
3.1.1. Localización del sitio experimental .....	23
3.1.2. Muestreo de suelo .....	24
3.1.2.1. Muestreo de suelo para análisis fisicoquímicos .....	24
3.1.2.2. Métodos de análisis fisicoquímico del suelo .....	24
3.1.3. Material experimental .....	24
3.1.4. Tratamientos .....	25
3.1.5. Diseño experimental .....	25

3.1.6. Análisis estadístico.....	25
3.1.7. Variables de evaluación .....	25
3.1.8. Realización del experimento.....	26
3.2. FASE DE LABORATORIO.....	29
3.2.1. Tamizado húmedo.....	29
3.2.2. Conteo de esporas de HMA .....	29
3.2.3. Identificación de esporas de HMA .....	30
3.2.4. Análisis económico.....	30
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
4.1. FASE DE LABORATORIO .....	31
4.1.1. Cuantificación de esporas de HMA .....	32
4.1.2. Identificación de esporas de HMA .....	34
4.1.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO DE LABORATORIO AL INICIO Y FINAL DEL EXPERIMENTO.....	.....
4.2. FASE DE CAMPO .....	36
4.2.1. ALTURA DE PLANTA DE ESPINACA 4,6,8,10 SEMANAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA .....	36
4.2.2. Longitud de hoja de espinaca a las 4,6,8,10 semanas después de la siembra.....	37
4.2.3. Diámetro del tallo de espinaca 4,6,8 y 10 semanas después de la siembra .....	39
4.2.4. NÚMERO DE HOJAS DE ESPINACA 4,6,8 Y 10 SEMANAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA .....	41
4.2.5. RENDIMIENTO DE ESPINACA EN TONELADAS POR HECTÁREA .....	42
4.2.7. Análisis económico.....	45
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>49</b>
7. Bibliografía .....	50
7. Anexos .....	59

## Índice de figuras

Figura 1. Germinación de la espora de <i>Glomus</i> sp. ....	12
Figura 2. Arbusculos, vesículas e hifas de <i>Glomus</i> sp. ....	13
Figura 3. Espora de <i>Archaeospora</i> sp. ....	14
Figura 4. Arbúsculo de <i>Archaeospora</i> sp. ....	15
Figura 5. Vesícula de <i>Archaeospora</i> sp. ....	15
Figura 6. Hifas intrarradicales de <i>Archaeospora</i> sp. ....	16
Figura 7. Hifas extrarradicales de <i>Archaeospora</i> sp. ....	16
Figura 8. Hifas y vesículas exteriores de <i>Gigaspora</i> sp. ....	18
Figura 9. Desarrollo de la espora de <i>Gigaspora</i> sp. ....	18
Figura 11. Localización del sitio experimental .....	23
Figura 12. Diseño del experimento en campo .....	27
Figura 13. Cuantificación de esporas de tratamientos sin y con micorrizas .....	32

## Índice de Tablas

Tabla 1. Taxonomía de la espinaca ( <i>Spinacea oleracea</i> L.) .....	4
Tabla 2. Localización del sitio experimental .....	23
Tabla 3. Descripción de los tratamientos .....	25
Tabla 4. Prueba de “t” student para determinar diferencias estadísticas en suelos inoculados y no inoculados con micorriza .....	31
Tabla 5. Identificación de esporas de micorrizas .....	34
Tabla 6. Análisis de varianza para altura de planta a las 4,6,8 y 10 semanas. ....	36
Tabla 7. Promedios de las interacciones para altura de planta a las 4,6,8 y 10 semanas. ....	36
Tabla 8. Longitud de hoja a las 4,6,8 y 10 semanas después de la siembra.....	37
Tabla 9. Promedios de las interacciones para longitud de hoja a las 4,6,8 y 10 semanas.....	38
Tabla 10. Análisis de varianza para diámetro de tallo a las 4,6,8 y 10 semanas.....	39
Tabla 11. Promedios de las interacciones para diámetro de tallo a las 4,6,8 y 10 .....	39
Tabla 12. Análisis de varianza para número de hojas 4,6,8 y 10 semanas. ....	41
Tabla 13. Promedios de interacciones para número de hojas a las 4,6,8,10 semanas.....	41
Tabla 14. Análisis de varianza para rendimiento de espinaca en t/ha.....	42
Tabla 15. Comparación de promedios de rendimiento en t/ha de espinaca por efecto de dosis de fertilización.....	43
Tabla 16. Comparación de promedios de rendimiento en t/ha de espinaca por efecto de dosis de micorrizas .....	43
Tabla 17. Análisis económico según Perrin et al. ....	46

## Índice de anexos

Anexo 1. Convenio.....	59
Anexo 2. Procedimiento de muestreo de suelo para análisis fisicoquímicos.....	61
Anexo 3. Procedimientos de los análisis fisicoquímicos del suelo .....	62
Anexo 4. Resultados de los análisis fisicoquímicos del suelo .....	69
Anexo 5. Fotografías del ensayo .....	71
Anexo 6. Diseño de la parcela neta .....	73
Anexo 7. Análisis de presupuesto parcial .....	74
Anexo 8. Valores promedios obtenidos en campo de las variables de estudio.....	77

## **1. Introducción**

La espinaca es una hortaliza que responde favorablemente a la fertilización química; las cantidades de este insumo que se utilizan para su producción son excesivos, especialmente en la fertilización inicial. En el Ecuador poco se conoce acerca de técnicas de fertilización adecuadas y hay una alta tendencia a utilizar fertilizantes en exceso, especialmente los grandes productores como la Hacienda Cayo Boyero localizada en la provincia de Cotopaxi, donde se realizó el ensayo. Los costos de fertilización en el cultivo de espinaca en la hacienda en mención ascienden a 715 dólares por hectárea y en repetidas ocasiones este tipo de fertilizante es escaso. Reducir la dosis de fertilización química mediante la utilización de un bioinsumo como la micorriza, ayudará a reducir los costos de producción, mejorar la calidad y vida de los suelos y disminuirá el impacto para el medio ambiente.

La nutrición de la espinaca depende principalmente de fertilizantes minerales como: nitrógeno, fósforo y potasio. Entre estos tres, el nitrógeno es el elemento más esencial para el crecimiento de la espinaca (Singh & Singh, 2020). Sin embargo, la espinaca es poco eficiente en la recuperación de nutrientes, lo que conduce a que, para lograr altos rendimientos, se apliquen dosis de fertilización altas (Sosa et al., 2015). Estudios realizados por Wahocho et al. (2016) en espinaca, revelaron que el cultivo tratado con el nivel más alto de nitrógeno (140 kg/ha) mostró efectos positivos en todos los parámetros investigados: altura de planta (25.50 cm), número de hojas (17.16), longitud de hojas (23.76 cm). Sajirani et al. (2012) revelaron que la aplicación de altas dosis de urea (300 kg/ha) aumentó el rendimiento de espinaca en un 13.28% en comparación a las dosis de 0, 100, 200 kg/ha.

El uso indebido de fertilizantes inorgánicos puede tener repercusiones medioambientales perjudiciales. Según González et al. (2024) en Ecuador el uso de fertilizantes aumentó 2.3 veces entre 2008 y 2018, pasando de 164.400 t/ha en el 2008 a 374.400 t/ha en año 2018.

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) aparecen como una solución potencial debido a su asociación simbiótica con los cultivos. Establecen una simbiosis mutualista con varios cultivos, promoviendo la absorción de nutrientes del suelo a través de redes extensas de micelio y de esta manera mejorando la eficiencia en la utilización de fertilizantes (Qian et al., 2024). Estudios realizados por Fonseca y Calderón (2021), evaluaron tres tratamientos (0 L/ha, 3 L/ha, 4 L/ha) del hongo micorrizógeno (*Glomus* sp.) en presentación comercial (Biofermentex) en el cultivo de espinaca; revelaron que el tratamiento de 4 L/ha produjo el mayor crecimiento radicular (6.8 cm), mayor longitud foliar 17 días después de la siembra y al momento de la cosecha (15.2 cm y 30.6 cm respectivamente), mayores pesos frescos al momento de la cosecha con un promedio de 16.3 g/planta en 4 plantas muestreadas. Estudios realizados por Jabborova et al. (2021), relativo al efecto del biocarbón y de los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en el crecimiento de la espinaca, evidenciaron 40 días después de aplicados que el biocarbón combinado con HMA aumentó significativamente la longitud de brotes y la longitud de hojas en un 54% y un 53%, respectivamente, sobre el control. De manera similar el biocarbón combinado con HMA tuvo un efecto positivo en el número y ancho de las hojas, con un incremento del 30% y el 36%, respectivamente, en comparación con el control.

En este trabajo se pretendió demostrar la eficiencia de las micorrizas en un cultivo de espinaca, para lo cual se planteó como objetivo principal identificar microscópicamente en laboratorio los géneros y especies presentes en los tratamientos con inoculación y sin inoculación de micorriza y evaluar el efecto en tres dosis (0 kg/ha, 10 kg/ha y 20 kg/ha) asociadas con tres dosis de fertilización química (300 kg/ha, 240 kg/ha y 180 kg/ha), en el rendimiento agronómico de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.), en la provincia de Cotopaxi. Con los resultados obtenidos, se realizó un análisis económico mediante la metodología de Presupuesto parcial propuesto por Perrin *et al.*, para determinar el tratamiento más conveniente.

Se plantearon dos hipótesis, la hipótesis nula ( $H_0$ ): establece que el uso de micorrizas arbusculares en la sustitución parcial del fertilizante, no afecta el rendimiento del cultivo de espinaca y la hipótesis alternativa ( $H_a$ ): establece que el uso de micorrizas arbusculares sustituyendo parcialmente el fertilizante afecta el rendimiento del cultivo de espinaca.

## 2. Fundamentación teórica

### 2.1. Espinaca (*Spinacea oleracea* L.)

#### 2.1.1. Taxonomía

La espinaca corresponde a la siguiente clasificación taxonómica (Tabla 1)

Tabla 1. Taxonomía de la espinaca (*Spinacea oleracea* L.)

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>Subreino</b>	Tracheobionta
<b>Superdivisión</b>	Spermatophyta
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Caryophyllidae
<b>Orden</b>	Caryophyllales
<b>Familia</b>	Chenopodiaceae
<b>Género</b>	<i>Spinacia</i> L.
<b>Especie</b>	<i>oleracea</i> L.

Fuente: (USDA & NRCS, 2024)

#### 2.1.2. Descripción botánica

- **Raíz**

La espinaca cuenta con una raíz principal que es pivotante, con poca ramificación y un sistema radicular de superficie poco profundo (Gabr & Al-Taisan, 2023).

- **Tallo**

El tallo tiene una longitud de 5 a 10 cm, es rudimentario y simple (Gabr & Al-Taisan, 2023).

Durante las etapas iniciales de desarrollo, se forma un conjunto de hojas en forma de roseta con un tallo de longitud corta. Alcanza una elevación que oscila entre los 15 y 25 cm, dependiendo de la variedad y la zona geográfica donde se cultive (Iftikhar et al., 2023).

- **Hojas**

Las hojas son caulíferas, con disposición alterna y pecioladas, algunas tienen forma de corazón, mientras que otras muestran hojas anchas y carnosas de tono verde claro con nervaduras destacadas (Wahua & Agogbua, 2024). Crea una figura en forma de roseta con hojas pecioladas con limbo que puede ser algo sagitado, pueden tener diferentes formas, como triangular ovalada o triangular acuminado, con bordes sinuosos o enteros de aspecto lisos u ondulados, y una apariencia blanda rizada, lisa o abollado (Gabr & Al-Taisan, 2023). Durante esta etapa de desarrollo de hojas en forma de roseta, la planta puede llegar a medir entre 15 y 25 cm de longitud, que es la parte que se puede consumir (Murcia et al., 2020).

- **Flor e inflorescencia**

Las flores son de tamaño pequeño y de tonalidad verde. Se trata de una planta fundamentalmente dioica con la capacidad de manifestar múltiples formas sexuales, que abarcan desde la emergencia de individuos completamente masculinos hasta la emergencia de individuos completamente femeninos o incluso pueden ser hermafroditas (Gabr & Al-Taisan, 2023). Las ramas florales exhiben hojas robustamente desarrolladas a lo largo de su longitud, portando flores de género masculino y femenino en una proporción fluctuante (Murcia et al., 2020).

- **Fruto y semilla**

Es un aquenio con una forma ligeramente comprimida, liso o membranoso en variedades inermes y espinoso en otras variedades (Murcia et al., 2020). Las semillas muestran un tono gris verdoso y una textura áspera o rugosa, un rasgo que se vuelve más pronunciado con la

edad. Su capacidad germinal a menudo dura hasta cuatro años (Ade et al., 2024). El peso estimado de mil semillas es de alrededor de 10 g (Murcia et al., 2020).

### **2.1.3. Valor nutricional**

Las vitaminas y minerales que contienen las espinacas le confieren su valor nutritivo. Este alimento contiene vitaminas C, A y E, además de folatos (Hussain et al., 2022). El ácido fólico facilita la correcta formación de glóbulos rojos (Gutierrez et al., 2019). La vitamina C, similar a la vitamina E, ayuda a proteger las células de los daños causados por los radicales libres (Hussain et al., 2022). Por último, la vitamina A mantiene la salud de la piel, los ojos y las mucosas en condiciones normales (Thakur et al., 2022). Además, las espinacas crudas tienen una cantidad significativa de betacarotenos ( $3.254\mu\text{g}/100\text{ g}$ ), que son compuestos que el organismo convierte en vitamina A. Además, incluyen la zeaxantina ( $377\mu\text{g}/100\text{ g}$  de espinacas crudas) y la luteína ( $4.229\mu\text{g}/100\text{ g}$  de espinacas crudas) (Moreiras et al., 2013). La vitamina C presente en las espinacas, favorecen la absorción del hierro por el organismo (Thakur et al., 2022). Son abundantes en fibra soluble e insoluble lo que facilita la digestión al favorecer el paso eficaz de los alimentos por el sistema gastrointestinal (Yildirim & Ekinici, 2022) .

## **2.2. Requerimientos edafoclimáticos**

### **2.2.1. Temperatura**

La temperatura mínima propicia para el desarrollo mensual se sitúa en torno a los 5 °C. Las espinacas cultivadas bajo fotoperíodos cortos a temperaturas elevadas (15-26 °C) florecen más rápidamente y en mayor cantidad que las producidas bajo fotoperíodos más largos a temperaturas más bajas (5-15 °C de media mensual) que se producen durante los días cortos de los meses de invierno (Lopez & Frezza, 2022). La capacidad de este cultivo para soportar bajas temperaturas es ventajosa, ya que su temporada alta abarca desde el otoño hasta la primavera y se ha evidenciado que las heladas no le afectan mayormente (Inieta et al., 2023).

### **2.2.2. Riego**

Para un desarrollo óptimo, la espinaca necesita entre 300 y 1200 mm de precipitaciones al año y no rinde bien en circunstancias de encharcamiento (Inieta et al., 2023).

### **2.2.3. Luminosidad**

La espinaca requiere luz diurna prolongada, superior a 14 horas (Avendaño-Abarca et al., 2020). Al alargarse los días a más de 14 horas de luz diurna y al superar la temperatura de 15 °C, las plantas pasan de la fase vegetativa (roseta) a la de elevación y producción (emisión de tallo y flores) (Molina, 2017).

### **2.2.4. Suelos y pH**

Puede sembrarse en cualquier tipo de suelo; sin embargo, se prefiere suelos ligeros, permeables, bien drenados, calcáreos, ricos en materia orgánica, francos o franco-arenosos (Giménez, 2020). Aunque se da bien en suelos sueltos, no prospera en los arcillosos compactados. Los suelos demasiado ácidos serán perjudiciales, mientras que los muy alcalinos no tendrán el mismo efecto. El intervalo óptimo de pH es de 6.0 a 6.8 (Ramaiyan et al., 2020).

## **2.3. Manejo del cultivo**

El suelo debe ararse a fondo y airearse superficialmente mediante meticolosos procedimientos de pases de rastra (Kaur et al., 2022). La siembra se la puede realizar por medio de trasplante de plántulas, directa o al voleo. La siembra en trasplante consiste en la producción de plántulas, mediante la germinación de semillas en semillero con sustrato; las plántulas que cuenten con un desarrollo radical abundante se llevan a campo para su adaptación en suelos previamente preparados. La siembra directa consiste en la aplicación al azar de la semilla sobre las camas preparadas, de forma manual o con máquina sembradora, luego la semilla se tapa con suelo (Jiménez et al., 2010). La germinación se produce tres semanas después de la siembra, siempre que la temperatura se mantenga entre 4 y 6 °C, ya que temperaturas más elevadas impiden el

proceso de germinación; cuando la temperatura supera los 26 °C se inhibe la germinación (Ferreira et al., 2018). Las semillas comienzan a germinar entre 8 – 15 días después de la siembra lo cual depende de la profundidad a la que se coloque que nunca debe exceder los 2.0 cm (Altamirano, 2010).

#### **2.4. Fertilización nitrogenada en espinaca**

El nitrógeno es el elemento más importante para el desarrollo de la espinaca; cuando se encuentra en bajas concentraciones produce un bajo número de hojas de tamaño reducido y con el tiempo se tornarán amarillas (Jiménez et al., 2010). La espinaca es poco eficiente en la asimilación de nutrientes, por lo que para lograr altos rendimientos deberán aplicarse dosis de fertilización elevadas (Sosa et al., 2015). Según Frerichs et al. (2022) la espinaca cultivada para la industria requiere de aproximadamente 200 kg/ha de nitrógeno dentro de un periodo de cultivo de 5 a 10 semanas en las estaciones de primavera, verano y otoño. El suministro total de nitrógeno en el cultivo de espinaca se divide en la aplicación de fertilizante de base al momento de la siembra y un abono de cobertura antes de que comience la absorción intensiva de nitrógeno (Frerichs et al., 2022). Generalmente los requerimientos nutricionales de la espinaca son más altos durante las últimas 3 semanas pues en ese momento aumenta de peso (peso seco), por esa razón se deberá suministrar un refuerzo a la planta con los fertilizantes necesarios (Cámara de comercio de Bogotá et al., 2016).

#### **2.5. Fertilización orgánica en espinaca**

Una alternativa frente al uso excesivo de fertilizantes químicos es el uso de fertilizantes orgánicos, como: bioles, composta, vermicomposta, bocashi, entre otros. Estos son elaborados a partir de residuos orgánicos (Oba et al., 2021). En el cultivo de espinaca se recomienda añadir materiales orgánicos en la presiembra (Jiménez et al., 2010). La aplicación de estiércol debe realizarse con suficiente tiempo antes de la siembra por dos razones: 1) debido a la gran rapidez de su ciclo natural las espinacas no obtendrían beneficios inmediatos de la fertilización con

estiércol y 2) la espinaca posee raíces delicadas que penetran poco y son fácilmente atacadas por mohos (Cámara de comercio de Bogotá et al., 2016). Estudios realizados por Hashimi et al. (2019) evaluaron el efecto combinado de fertilizante orgánico e inorgánico en el rendimiento y crecimiento de la espinaca. Se concluyó que el rendimiento y crecimiento fue mayor con el nivel más alto de nitrógeno (200 kg/ha) con 4.2 t/ha y 27.8 cm respectivamente, seguido de la aplicación combinada de nitrógeno más estiércol (90 kg/ha + 3 t de estiércol) con 4.1 t/ha y 25.8 cm respectivamente. Aunque existen mínimas diferencias entre las variables evaluadas, existe una gran diferencia entre la dosis de fertilización nitrogenada, lo que ayudaría a reducir la necesidad de insumos químicos y los costos de producción.

## **2.6. La micorriza**

### **2.6.1. Generalidades**

El término micorriza fue introducido por el botánico alemán Albert Bernard Frank en 1885, derivado de la palabra griega “mykos”, que significa hongo, y la palabra latina “rhiza”, que significa raíz, traducándose de forma literal como “hongo-raíz” (Saparrat et al., 2020). Las micorrizas representan un abundante tipo de simbiosis en la biosfera, ya que facilitan la absorción de agua y nutrientes por las raíces (Manjarrez et al., 2021). Estas relaciones simbióticas se forman entre los hongos micorrízicos y las raíces de las plantas (Sogamoso et al., 2022). La planta intercambia sus fotosintatos por nutrientes como el nitrógeno y el fósforo que el hongo adquiere del suelo (Saucedo et al., 2022). Las micorrizas son esenciales para la sostenibilidad de los ecosistemas ya que mejoran la producción vegetal y la estructura del suelo (Sogamoso et al., 2022).

### **2.6.2. Tipos de hongos micorrízicos**

- **Ectomicorriza**

El carácter distintivo de las ectomicorrizas es la formación de un manto de hifas alrededor de las raíces absorbentes lo cual produce una modificación de la morfología de la raíz. Respecto

de las hifas y su interacción a nivel ultraestructural dentro de la raíz, no penetran en el interior de las células de la planta hospedadora, sino que crecen únicamente de manera intercelular (Saparrat et al., 2020). Las hifas fúngicas se desarrollan rodeando las células de la corteza radicular y creando una red intercelular conocida como red de Hartig (Genre et al., 2020). En el exterior de la raíz hay una capa de micelio, que es el cuerpo o talo del hongo, y una capa de manto (Shi et al., 2023). El morfotipo ectomicorrízico es una estructura recién desarrollada y distinguible que surge de este proceso (Figueiredo et al., 2021). La ectomicorriza tiene gran importancia forestal, ya que la planta proporciona cierta defensa contra fitopatógenos específicos a los árboles maderables de clima frío (Bennett & Groten, 2022).

- **Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)**

La micorriza arbuscular también es conocida como micorriza vesicular-arbuscular y en un principio se clasificó como endomicorriza (Genre et al., 2020). Las hifas pueden penetrar en la raíz, introducirse en las células y producir dos tipos de estructuras; sin embargo, en este caso, no se producen ni el manto ni la red de Hartig (Martin & van der Heijden, 2024). El arbusculo es la característica más distintiva; sirve para transportar nutrientes hacia y desde la planta y se desarrolla cerca del cilindro vascular a través de varias ramas dicotómicas consecutivas de una hifa (Shi et al., 2023). La presencia o ausencia de la segunda estructura, una vesícula, varía de un hongo a otro (Sportes et al., 2022). La micorriza arbuscular desempeña un papel importante en la agricultura y la fruticultura, ya que favorece el crecimiento y aumenta la producción de varias especies de leguminosas, cítricos, papaya, aguacate, manzana, mango, fresa, melocotón y muchas más (George & Ray, 2023).

- **Endomicorriza orquideoide**

En este tipo el hongo penetra en las células de la raíz y construye estructuras en su interior (Shi et al., 2023). Los hongos que componen esta endomicorriza son miembros del grupo Basidiomycota, y afecta principalmente a las orquídeas, lo que la diferencia de otras

endomicorrizas (Martin & van der Heijden, 2024). Además, el hongo desempeña un papel crucial en el ciclo vital de la planta de la orquídea al favorecer la germinación de las semillas y el desarrollo temprano de las plántulas. Las plántulas de orquídeas dependen del hongo para obtener compuestos de carbono y nutrientes ya que son aclorofílicas (sin clorofila) y sapróbias (no son capaces de crear su propio alimento) (Genre et al., 2020).

- **Micorriza ericoide**

Es un tipo de endomicorriza, en este caso el hongo penetra en las células de la raíz; lo que la diferencia es que las plantas implicadas suelen ser brezos del orden Ericales, aunque también se ha visto este tipo de micorriza en briofitas (un grupo de musgos) (Shi et al., 2023).

- **Ectoendomicorriza**

Específicamente esta micorriza comparte rasgos con las ectomicorrizas (red de Hartig y manto) y las endomicorrizas (cierta penetración intracelular), lo que la convierte en un tipo único de micorriza. La formación del manto no siempre está garantizada, pero sí la de la red de Hartig (Martin & van der Heijden, 2024).

### **2.6.3. Especies más relevantes de hongos micorrízicos arbusculares (HMA)**

#### **2.6.3.1. Glomus**

Etimológicamente proviene del latín “*glomus*” que se traduce literalmente “como una bola de lana” por su estructura morfológica (DANESH et al., 2022). Posee esporas glomoides, producidas en o cerca de la superficie del suelo en esporocarpos generalmente con peridio parcial o completo o, como esporas solitarias o en racimos en el suelo o sustrato (Sen & Hepper, 1986).

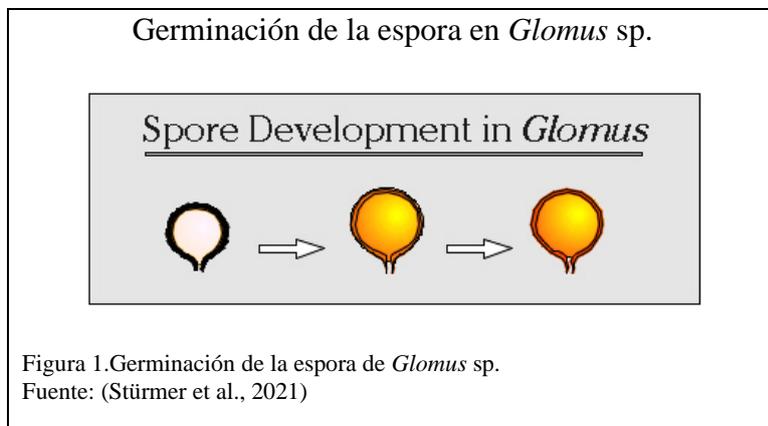
- **Morfología**

El distintivo morfológico de este tipo de hongo es la presencia de esporas, ya sea como hifas terminales o como hinchazones subglobosas intrahifales intercalares (Bengono et al., 2024).

Las esporas están unidas por una hifa simple, recta o recurvada (Viva Rini et al., 2021). Las esporas pueden desarrollarse solas o en pequeñas cápsulas sueltas llamadas esporocarpos; éstas pueden estar libres de peridio o contenerlo (Sen & Hepper, 1986). Las esporas suelen tener dos o tres capas de pared separadas (a veces hasta cinco), con las capas de pared interna laminadas; la capa evanescente suele estar conectada a la capa laminada; las esporas son de color hialino, amarillo, marrón o negro (Droh et al., 2023).

- **Germinación de esporas**

El siguiente paso en el desarrollo de la spora es el proceso de expansión blástica (Viva Rini et al., 2021). A medida que las esporas maduran, las capas externas de su pared suelen desprenderse (Bengono et al., 2024). Normalmente, la capa más externa es mucilaginosa, una propiedad que parece correlacionarse con una reacción dextrinoide (roja) en el reactivo de Melzer (Figura 1) (Sen & Hepper, 1986).



- **Arbúsculos**

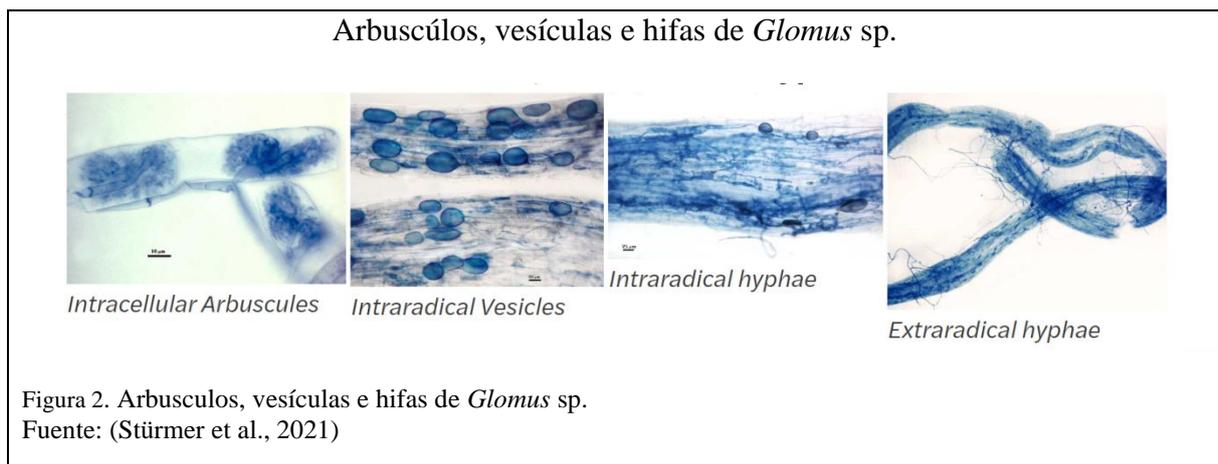
Los arbúsculos intracelulares muestran típicamente una tinción negra pronunciada cuando se tratan con azul tripán (Bengono et al., 2024). Esta característica puede variar dentro de la misma raíz o entre diferentes raíces, dependiendo de la uniformidad de la difusión de la tinción y la reactividad (Figura 2) (Droh et al., 2023)

- **Vesículas**

Las vesículas intraradicales pueden generarse o estar ausentes, dependiendo del hongo y de las condiciones ambientales durante el crecimiento micorrícico en una planta huésped (Sen & Hepper, 1986). Cuando son abundantes, las vesículas pueden concentrarse alrededor de los puntos de entrada, pero es más frecuente que se distribuyan por toda la micorriza (Viva Rini et al., 2021). Suelen tener forma oblonga o elíptica y, por lo general, se tiñen de negro con azul tripán y otros colorantes (Droh et al., 2023). Suelen aparecer al final de la progresión de la micorriza cuando disminuye su capacidad de absorción de nutrientes y experimentan senescencia.

- **Hifas intraradicales**

Las hifas intraradicales pueden ramificarse en ángulos agudos u oblicuos o enrollarse (Sen & Hepper, 1986). Las hifas de colonización suelen presentar un crecimiento paralelo entre sí y con respecto al eje de la raíz, normalmente con una anchura de 1.5 a 4.0  $\mu\text{m}$ , y se interconectan mediante ramificaciones en ángulo recto o en ángulo agudo, a veces denominadas «conexiones H» (Figura 2) (Viva Rini et al., 2021).



### 2.6.3.2. Archaespora

Proviene del griego “archaios” que significa antiguo (Palta et al., 2024). Todas las especies forman esporas que se encuentran en forma lateral o dentro de la hifa que subtiende un “sáculo esporífero” (Stürmer et al., 2021).

- **Morfología**

Las especies producen esporas asexuales hialinas (Figura 3) (Bouchentouf et al., 2024). Las esporas no forman «paredes germinales» delgadas y flexibles (Kaumbu et al., 2023). La estructura subcelular consiste en capas de una pared esporífera cuya capa más externa es continua (Banu et al., 2023).



- **Arbúsculos**

Los arbúsculos suelen mostrar una tinción mínima cuando se someten a tinciones ácidas comunes (Kaumbu et al., 2023). Presenta hifas troncales delgadas (< 4.0 µm), que muestran una ramificación delgada en los ápices (Figura 4) (Stürmer et al., 2021).

Arbúsculo de *Archaespora* sp.



Figura 4. Arbúsculo de *Archaespora* sp.  
Fuente: (Stürmer et al., 2021)

- **Vesículas**

No se han observado la presencia de vesículas por lo que se mantiene la hipótesis de que estas estructuras pueden no haber evolucionado en este grupo o se perdieron (Figura 5) (Palta et al., 2024).

Vesícula de *Archaespora* sp.

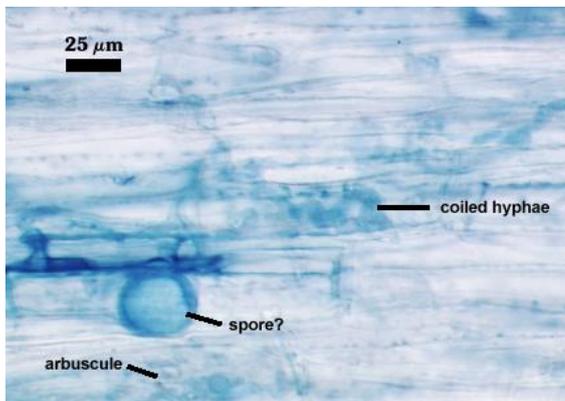


Figura 5. Vesícula de *Archaespora* sp.  
Fuente: (Stürmer et al., 2021)

- **Hifas intrarradicales**

Las hifas intrarradicales se tiñen ligeramente menos que los arbusculos y suelen ser las estructuras que identifican los focos de colonización (Figura 6) (Stürmer et al., 2021). Se

extienden tanto intracelular como intercelularmente, las primeras de 3-10  $\mu\text{m}$  de ancho y a menudo enrolladas y las segundas de 2-8  $\mu\text{m}$  de ancho, con algún enrollamiento y ramificación irregular (Bouchentouf et al., 2024).



- **Hifas extrarradicales**

Las hifas extrarradicales suelen ser finas (2-3  $\mu\text{m}$  de ancho), pero profusas alrededor de las raíces (Figura 7) (Kaumbu et al., 2023). A menudo permanecen adheridas a las raíces en las regiones de los puntos de entrada (Banu et al., 2023).



### 2.6.3.3. Gigasporas

Proviene del griego “giga” gigante y “spora” espora, que literalmente significa espora gigante. Todas las especies conocidas producen esporas sin ornamentaciones (Maússe & Dames, 2024). Las esporas constan únicamente de una pared de bicapa; los tubos germinativos surgen de una fina capa verrugosa que surge de la superficie interna de la capa laminar (Souleymane & Fallaye, 2021). En las hifas del suelo, cerca de la superficie de la raíz, se producen células auxiliares de paredes finas con superficies equinuladas (Banu et al., 2023).

- **Morfología**

Las hifas son rectas o enrolladas y tiene un diámetro de 3 a 11  $\mu\text{m}$  (Figura 8) (Abbott, 1982). Ocasionalmente, las hifas producen proyecciones en forma de perilla y áreas hinchadas con diámetros de hasta 20  $\mu\text{m}$  (Viva Rini et al., 2021). Los apresorios hinchados y la proliferación de hifas son comunes en los puntos de entrada en las raíces (Bengono et al., 2024).

- **Hifas**

Las hifas intrarradicales individuales a menudo corren paralelas al eje longitudinal de la raíz y parecen anastomosarse a través de ramas laterales cortas, dando la apariencia de conexiones en H (Abbott, 1982). *Gigaespora* spp., produce hifas en bucle (Figura 8) dentro de las células corticales externas a medida que atraviesa la corteza interna (Bengono Nyimiebolo et al., 2024). En esta etapa, se desarrollan hifas intercelulares, como las de *Glomus* spp., que se extienden longitudinalmente a través de la corteza interna (Abbott, 1982). *Gigaespora* spp. genera septos en las hifas intracelulares e intercelulares dentro de las raíces (Droh et al., 2023). Las vesículas en las raíces están ausentes, por el contrario, las hifas y arbusculos quedan marcados con azul de Tripán (Abbott, 1982).

Hifas y vesículas exteriores de *Gigaespora* sp.

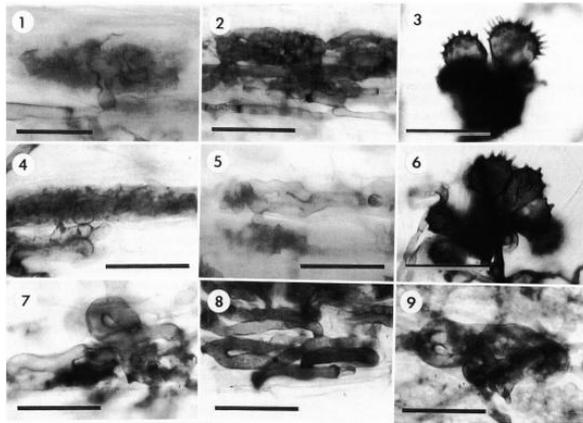


Figura 8. Hifas y vesículas exteriores de *Gigaespora* sp.  
Fuente: (Abbott, 1982)

- **Germinación de las esporas**

Las esporas se desarrollan blásticamente a partir de una punta de hifa, que se hincha y se convierte en la «célula esporógena» (Stürmer et al., 2021). Una vez que la célula esporógena alcanza su tamaño completo comienza a desarrollarse en la punta (Figura 9) (Maússe & Dames, 2024). La capa externa y la capa laminar se desarrollan simultáneamente, y a menudo no pueden distinguirse en las esporas juveniles sin la ayuda del reactivo de Melzer (Stürmer et al., 2021). A continuación, las láminas se engrosan y acaban desarrollando la capa interna verrugosa, de la que surgen múltiples tubos germinales (Souleymane & Fallaye, 2021).

Germinación de la espora de *Gigaspora* sp.

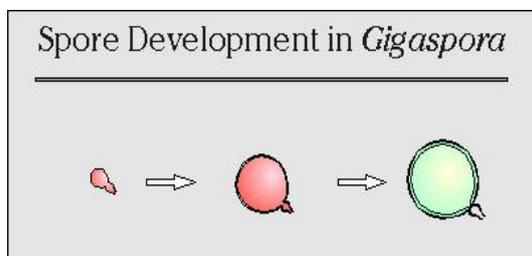


Figura 9. Desarrollo de la espora de *Gigaspora* sp.  
Fuente: (Stürmer et al., 2021)

Las especies de esta familia forman esporas asexuales de gran tamaño (normalmente  $>200\ \mu\text{m}$ ) cuyas paredes consisten en una capa externa permanente que encierra una capa laminar (Stürmer et al., 2021).

## **2.7. Asimilación de nitrógeno y fósforo inorgánico por los HMA**

- **Fósforo**

El ortofosfato inorgánico (Pi) es la única fuente de fósforo que se puede transportar a través de la membrana plasmática de las plantas y hongos. El fósforo inorgánico se encuentra en la rizosfera en forma de fosfatos solubles como el Pi. El fósforo en los compuestos orgánicos se encuentra en forma de mono-ésteres de fosfato, diésteres de fosfato y fosfatos de inositol. Estos compuestos orgánicos fosforados son mineralizados por enzimas microbianas que contribuyen a aumentar el Pi en el suelo. Las plantas pueden absorber el Pi de forma directa a través de las células de la rizodermis. Los HMA absorben el Pi de forma indirecta, con mayor eficiencia que las plantas. Esto se debe a que el micelio extrarradicular fúngico (ERM) puede explorar un mayor volumen de suelo adquiriendo iones fosfato poco móviles; los iones se translocan desde el micelio extrarradicular al intrarradicular y así se libera en las células corticales de la raíz. Los mecanismos de absorción por parte de la planta y los HMA están controlados por transportadores de Pi que son proteínas con dominios transmembrana que añaden el Pi a las células en contra de un gradiente de potencial electroquímico. El Pi se incorpora al protoplasto por actividad de las ATPasas involucrando un simporte con protones o sodio (Saparrat et al., 2020).

- **Nitrógeno**

Los HMA contribuyen con cantidades muy bajas de N a la nutrición de la planta huésped cuando el  $\text{NO}_3^-$  es la fuente dominante de nitrógeno aplicado, pero aportan con cantidades mayores cuando se agrega  $\text{NH}_4^+$ , menos móvil. De manera similar a los iones fosfato, la absorción de  $\text{NO}_3^-$  ocurre en contra de un potencial electroquímico, derivando en la reducción

posterior a  $\text{NH}_4^+$ . Por lo tanto, para los HMA, la absorción de  $\text{NH}_4^+$  es energéticamente más atractiva (Hodge, 2017). Esto puede deberse a que en las HMA se localiza un transportador de amonio (AMT2) de alta afinidad (Ebbisa, 2023). Después de la absorción (y conversión a  $\text{NH}_4^+$  en el caso de  $\text{NO}_3^-$ ) el nitrógeno se transloca en forma de arginina desde el micelio extrarradicular (ERM) al micelio intrarradical (IRM), donde posteriormente se descompone en urea y luego en  $\text{NH}_4^+$ , que es la forma en la que el nitrógeno se transfiere a la planta huésped (Hodge, 2017).

## **2.8. Mecanismo de acción de los HMA en las plantas**

Los HMA proliferan en el suelo mediante tres formas que difieren en su supervivencia y potencial de colonización: esporas, trozos de raíces micorrizadas de plantas preexistentes y redes de hifas que sobreviven en el suelo (El-Maraghy et al., 2021). Incluso después de meses en suelo seco, estos propágulos pueden colonizar (Mitra et al., 2021). Cuando el hongo identifica una raíz receptiva a la colonización, las señales químicas y los estímulos provocan una amplia ramificación del micelio fúngico, lo que aumenta la probabilidad de contacto con la raíz (Shi et al., 2023). La mayoría de los lugares de penetración son las secciones más activas de la raíz; los HMA no colonizan raíces muertas ni penetran en heridas (Mitra et al., 2021).

La colonización de la planta y la creación de la relación comienzan cuando las esporas resistentes germinan en el suelo a la temperatura y humedad adecuadas, o cuando las hifas crecen a partir de propágulos del suelo que están cerca del sistema radicular vulnerable (Bouchentouf et al., 2024). En algunos casos, el micelio crece más rápido porque los exudados de las raíces pueden proporcionar buenas superficies para el crecimiento de las hifas después de que las esporas hayan agotado todos sus nutrientes (Mitra et al., 2021). Aunque el crecimiento del micelio se produce cuando las raíces están presentes, las hifas no parecen moverse en esa dirección hasta que están muy cerca, a unos pocos milímetros de distancia (Wang et al., 2023). Finalmente, la hifa toca una célula epidérmica o un pelo radicular, lo que

hace que el apresorio se engrose un poco (Sagar et al., 2021). A partir de ahí crecen ramas cortas y extendidas (Bouchentouf et al., 2024). A continuación, la hifa en crecimiento empuja a través de la epidermis o el pelo de la raíz y hace que la pared celular se doble alrededor de la hifa y se vuelva mucho más fina en las células corticales (Khaliq et al., 2022). No se sabe si la producción de enzimas por parte del hongo desempeña algún papel, pero parece probable que exista una elevada actividad hidrolítica (El-Maraghy et al., 2021). También se ha sugerido que las pectinasas ayudan a la hifa a insertarse en la raíz (Bouchentouf et al., 2024). Para convertirse en intracelular, la colonización debe producirse cuando la hifa rompe la pared celular e invagina la membrana, formando muchas ramas que se dividen en direcciones opuestas para formar una estructura similar a un arbusculo dentro de la célula (Shi et al., 2023).

## **2.9. Influencia de los HMA en el rendimiento del cultivo**

Numerosos estudios indican que la inoculación con estos hongos mejora el desarrollo de las plantas en condiciones de estrés salino (Kariman et al., 2020). Esto puede atribuirse a la mayor absorción de nutrientes minerales, como fósforo (P), zinc (Zn), cobre (Cu) y hierro (Fe) (Jaborova et al., 2021a). La evidencia sugiere que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) salvaguardan el metabolismo de las hojas contra la toxicidad del Na (sodio) (Huey et al., 2020). Las micorrizas arbusculares están bien reconocidas como potenciadoras del desarrollo de las plantas (Darakeh et al., 2022). La colonización micorrícica induce alteraciones físicas, bioquímicas y fisiológicas en las raíces, lo que mejora el estado de la planta y mitiga los factores de estrés abióticos (metales pesados, salinidad) y bióticos (ataques de patógenos, alteraciones microbianas en la rizosfera) (Kariman et al., 2020). También mejora considerablemente la tasa fotosintética, la absorción de agua y la tolerancia a patógenos (Huey et al., 2020).

## **2.10. Efectos de los HMA en el cultivo de hortalizas**

La inoculación de los HMA en el cultivo de hortalizas mejora el uso del agua, la fotosíntesis y el crecimiento vegetativo al regular la absorción y asimilación de nutrientes por las plantas hospedantes. Estos efectos dan como resultado incrementos en el rendimiento y calidad de los cultivos (Zhu et al., 2022). La aplicación de HMA por si sola contribuye a mejorar el crecimiento y desarrollo de las plantas y aumentar la tolerancia al estrés ambiental. En cambio, la aplicación combinada de HMA con compuestos orgánicos, promueven la colonización y el crecimiento de HMA, mejoran la tasa de utilización de nutrientes de las plantas hospedantes y mejora la relación simbiótica entre las plantas y los hongos micorrícicos (Zhu et al., 2022). Sin embargo, la aplicación combinada con una alta concentración de fertilizantes, especialmente fosfato y nitrógeno, obstaculiza la asociación y efectividad de los HMA (Kuila & Ghosh, 2022). Estudios realizados por Susanti et al. (2021) en plantas de espinaca encontraron que el tratamiento combinado de micorriza más el 50% de fertilizante orgánico hizo que las plantas fueran más efectivas en absorber los nutrientes en comparación al tratamiento con fertilizante químico y al tratamiento que solo contenía micorriza.

### 3. Metodología

La investigación se realizó en dos fases: 1) fase de campo, que tuvo como finalidad el muestreo de suelo, siembra, manejo agronómico y evaluación periódica del cultivo de espinaca. Ésta se llevó a cabo en la Hacienda Cayo Boyero, ubicada en la parroquia Mulaló, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi y, 2) fase de laboratorio, que se realizó en laboratorios de dos instituciones ubicadas en la provincia de Pichincha, cantón Quito: Laboratorio de análisis de suelos agrarPROJEKT Consultancy & Laboratory Services y en el Laboratorio de Microbiología Agrícola (MICROBIOLAB).

#### 3.1. Fase de campo

##### 3.1.1. Localización del sitio experimental

La Hacienda Cayo Boyero, se encuentra ubicada en (Tabla 2):

Tabla 2. Localización del sitio experimental

<b>Provincia:</b>	Cotopaxi
<b>Cantón:</b>	Latacunga
<b>Parroquia:</b>	Mulaló
<b>Coordenadas :</b>	0°45'38,2"S y 78°35'52,5"W.

**Nota:** Adaptado de: (GAD Mulaló, 2023)



### 3.1.2. Muestreo de suelo

#### 3.1.2.1. Muestreo de suelo para análisis fisicoquímicos

Para los análisis físicoquímicos de suelo, los predios de Hacienda Cayo Boyero se los dividió en 3 sectores: parte alta, parte media y parte baja. El área experimental estuvo ubicada en la parte media de la Hacienda Cayo Boyero.

Para la toma de muestras se utilizó la metodología descrita por Agrocalidad que se detalla en el Anexo 2.

#### 3.1.2.2. Métodos de análisis fisicoquímico del suelo

Los análisis físicoquímicos se llevaron a cabo en los laboratorios agrarPROJEKT Consultancy & Laboratory Services. Los parámetros analizados fueron: pH, Conductividad (C.E.), Nitrato ( $\text{NO}_3$ ), Amonio ( $\text{NH}_4$ ), Fosfato ( $\text{PO}_4$ ), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Sulfato ( $\text{SO}_4$ ), Sodio (Na), Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Boro (B), Molibdeno (Mo), Silicio (Si), Aluminio (Al), Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), Materia Orgánica, Capacidad de intercambio catiónico (CIC). (Anexo 3).

### 3.1.3. Material experimental

- **Semillas:** Se utilizaron semillas HYBRID SPINACH TSP-526 (*Spinacia oleracea* L.), producidas por TAKII SEED, originarias de Japón, con un porcentaje de germinación garantizado del 90% y pureza del 99%.
- **Micorrizas:** Las micorrizas arbusculares son cepas comerciales (marca Symbiotic) de la casa comercial “La Laguna”, contienen 3880 esporas/100 g de *Glomus*, *Archaesporas* y *Giagasporas*.

### 3.1.4. Tratamientos

Tabla 3. Descripción de los tratamientos

<b>T1</b>	*300 kg/ha de fertilizante químico + 0 kg/ha de Symbiotic (3880 esporas/100 g)
<b>T2</b>	300 kg/ha de fertilizante químico + 10 kg/ha de Symbiotic (3880 esporas/100 g)
<b>T3</b>	300 kg/ha de fertilizante químico + 20 kg/ha de Symbiotic (3880 esporas/100 g)
<b>T4</b>	240 kg/ha de fertilizante químico + 0 kg/ha de Symbiotic (3880 esporas/100 g)
<b>T5</b>	240 kg/ha de fertilizante químico + 10 kg/ha de Symbiotic (3880 esporas/100 g)
<b>T6</b>	240 kg/ha de fertilizante químico + 20 kg/ha de Symbiotic (3880 esporas/100 g)
<b>T7</b>	180 kg/ha de fertilizante químico + 0 kg/ha de Symbiotic (3880 esporas/100 g)
<b>T8</b>	180 kg/ha de fertilizante químico + 10 kg/ha de Symbiotic (3880 esporas/100 g)
<b>T9</b>	180 kg/ha de fertilizante químico + 20 kg/ha de Symbiotic (3880 esporas/100 g)

\* Fertilización utilizada en Cayo Boyero  
Elaborado por: El autor, 2024.

### 3.1.5. Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental DBCA (diseño de bloques completamente aleatorizados), en arreglo factorial 3 x 3 con 3 repeticiones, con un total de 27 unidades experimentales. Esto permitió ser más eficientes porque se pudo acceder al análisis de más de un factor a la vez (dosis de fertilizantes x dosis de micorrizas), y observar las interacciones entre ambos factores, evitando llegar a conclusiones erróneas.

### 3.1.6. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron en el software estadístico INFOSTAT. Para cada variable se realizó un ADEVA (Análisis de Varianza), y se establecieron los niveles de diferencia estadística con la Prueba de Significación de Tukey al 5% de probabilidad.

### 3.1.7. Variables de evaluación

- **Altura de planta a las 4, 6, 8 y 10 semanas después de la siembra**

Se evaluó en 10 plantas seleccionadas dentro de la parcela neta a las cuales se marcó con una cinta de color para repetir la evaluación en la misma planta en las semanas siguientes. Se midió con una regla desde la base de la planta hasta su ápice y se expresó en cm.

**- Número de hojas por planta a las 4, 6, 8 y 10 semanas después de la siembra**

Esta variable se evaluó en 10 plantas tomadas dentro de la parcela neta. Se contó el número de hojas que se fueron presentando desde la parte basal hasta la parte apical de la planta sin tomar en cuenta las hojas cotiledonales.

**- Longitud de las hojas a las 4, 6, 8 y 10 semanas después de la siembra**

Esta variable se evaluó en 10 plantas tomadas dentro de la parcela neta. Se midió con la ayuda de una regla desde la base del limbo hasta su parte más apical. El resultado se expresó en cm.

**- Grosor de tallos a las 4, 6, 8 y 10 semanas después de la siembra**

Esta variable se evaluó en 10 plantas tomadas dentro de la parcela neta. Se midió con la ayuda de un calibrador. El resultado se expresó promediando los valores en cm.

**- Rendimiento en toneladas/hectárea**

Esta variable se evaluó en la semana 11 del ciclo de cultivo, se cortó con la ayuda de una hoz el total de las plantas de cada parcela neta a 10 cm del nivel del suelo. Luego se pesó en una balanza electrónica y el resultado se extrapoló a t/ha.

**3.1.8. Realización del experimento**

**- Diseño del experimento en campo**

El experimento se instaló en 3 camas centrales separadas por 20 m del borde del lote. En cada una de las camas se definieron 9 parcelas de 5.0 m de longitud x 1.2 m de ancho (correspondiente al ancho de la cama). La delimitación de las parcelas se realizó con estaquillas y se establecieron los límites de las parcelas con lana plástica. Las evaluaciones de las variables se realizaron en las 4 hileras centrales de cada parcela dejando las hileras de los extremos y 0.5 m entre cada parcela para evitar efectos de bordes. El área total del ensayo fue de 218.7 m<sup>2</sup>; el

área total de cada unidad experimental fue de 6.0 m<sup>2</sup> y el área neta de cada unidad experimental fue de 2.88 m<sup>2</sup> (Figura 11).

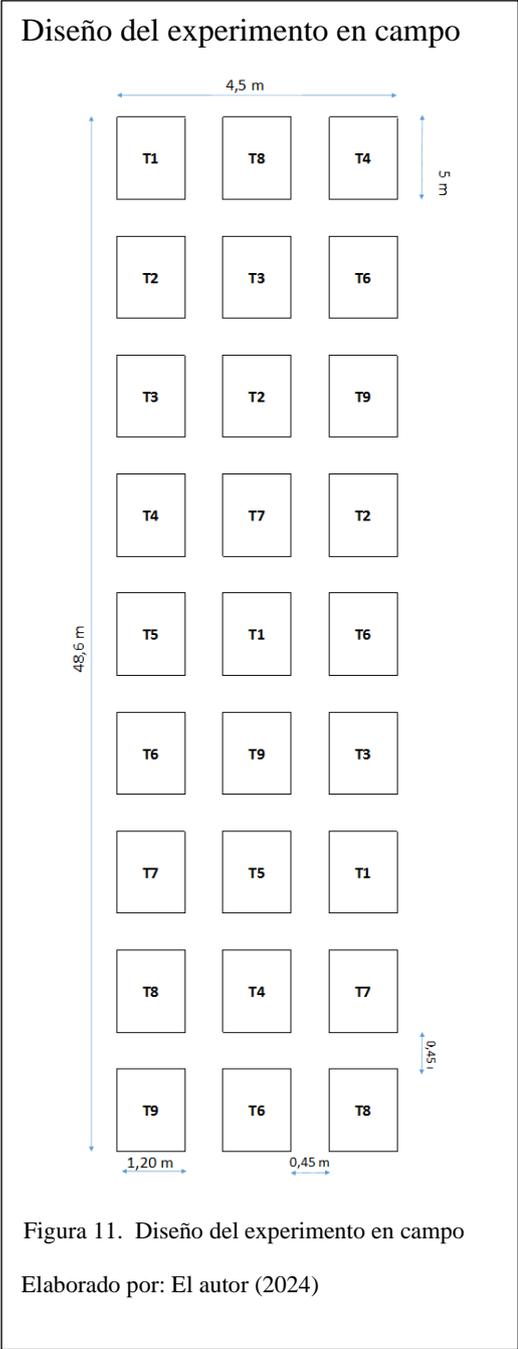


Figura 11. Diseño del experimento en campo  
Elaborado por: El autor (2024)

### **- Preparación de suelos del área experimental**

Una semana antes, en el lote seleccionado, se realizaron dos labores de rastra. La elaboración de las camas de siembra se realizó un día antes de la siembra con una surcadora a 1.20 m. La separación entre camas fue de 0.45 m.

### **- Siembra directa**

Para la labor de siembra se utilizó una sembradora neumática SUTTON AG adaptada para la realización de esta labor en Cayo Boyero. La densidad de siembra fue de 2000.000 de semillas por hectárea distribuidas en 60 camas de 100 m de longitud x 1.20 m de ancho/ha con 6 hileras/cama. La separación entre hileras fue de 0.18 m, quedando a cada lado de las camas 0.15 m de bordes. Cada unidad experimental tuvo 1739 semillas de espinaca.

### **- Micorrización y Fertilización**

Se aplicaron cepas de micorrizas arbusculares de la marca comercial SYMBIOTIC con el propósito de observar su capacidad de colonización. La formulación de fertilizante de síntesis química que se utilizó como base en este ensayo es la que usa la Hacienda Cayo Boyero, cuya concentración es: N 14% – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 30% – K<sub>2</sub>O 14% – MgO 0,6% – S 0,3% – Ca 0,65% – B 0,08% – Zn 0,08% – Si 1,5% en dosis de 300 kg/ha.

La aplicación de la micorriza se realizó juntamente con la aplicación del fertilizante de base, a las 3 semanas después de la siembra. Se pesó el fertilizante correspondiente para cada parcela y se mezcló con micorriza con la dosis correspondiente para cada tratamiento en caso de haber sido el tratamiento con micorriza. La aplicación del fertilizante y micorriza se realizó al voleo en cada parcela.

### **- Manejo agronómico del experimento**

Se siguieron los protocolos de manejo para riegos, fertilizaciones complementarias y controles fitosanitarios de la Hacienda Cayo Boyero contempladas en el Plan Maestro de Manejo del Cultivo (PMMC).

## **3.2. Fase de laboratorio**

### **3.2.1. Tamizado húmedo**

Para realizar la fase de laboratorio se obtuvieron dos muestras representativas de suelo al momento de la cosecha. La primera muestra estuvo conformada por los tratamientos sin inoculación de micorrizas que corresponden a los tratamientos testigo (T1, T4, T7). La segunda muestra estuvo conformada por los tratamientos con las diferentes dosis de micorrizas (10,20 kg) que corresponden a los tratamientos (T2, T3, T5, T6, T8, T9). Posteriormente se procedió a extraer las esporas de la muestra de suelo mediante el método de tamizado húmedo desarrollado por Gerdemann y Nicolson (1963) con modificaciones. En la preparación de la muestra, se utilizaron 4 vasos de precipitación de 1 L, se colocó en una bandeja de aluminio para homogenizarla con una cuchara durante 5 min. Se incorporaron 10 g de muestra en cada vaso de precipitación, se humedeció con 800 mL de agua corriente y se mezcló con una varilla de vidrio. Se dejó reposar por 5 min hasta que las esporas queden en suspensión. Luego se realizaron 4 tamizados con mallas de 500, 125, 50  $\mu\text{m}$  respectivamente. Se recolectó el contenido del tamiz de 50  $\mu\text{m}$  con la ayuda de una piseta en tubos Falcon rotulados con capacidad de 50mL, del 1 al 4. Se agregó una solución de sacarosa al 80% hasta completar 30 mL de los tubos. Luego los tubos pasaron a ser centrifugados a 3000 rpm durante 5 min. Con la ayuda de una jeringa se extrajo la fase acuosa de cada tubo y el contenido se vertió en nuevos tubos para posteriormente ser vaciados en un tamiz de 45  $\mu\text{m}$ ; luego se lavó con abundante agua para eliminar la sacarosa presente. El material resultante se transfirió a una placa Petri pequeña.

### **3.2.2. Conteo de esporas de HMA**

De la caja Petri se tomaron 5 alícuotas con la ayuda de una micro-pipeta colectora; cada una de estas alícuotas se transfirió a un porta objetos y se procedió al conteo por separado, el cual consistió en montar cada porta objeto en un microscopio y recorrerlo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, haciendo un recuento de esporas; el recuento de esporas de cada porta

objeto se sacó el promedió y finalmente se obtuvo el resultado que es el recuento de esporas por cada 10 g de suelo. Se repitió el proceso 4 veces para cada tubo. Este procedimiento se realizó tanto con la muestra de suelo con inóculo y sin inóculo de micorriza.

### **3.2.2.1. Análisis Inferencial**

Para comparar el número de esporas de la muestra con micorrizas y la muestra sin micorrizas, se utilizó la prueba de “t” student al 5% de significación estadística; en donde:

$$H_0 = \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

$$H_a = \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

### **3.2.3. Identificación de esporas de HMA**

Se utilizaron las descripciones morfológicas ilustradas en el International Culture Collection (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM, 2024).

### **3.2.4. Análisis económico**

Se realizó un análisis económico propuesto por Perrin et al., para lo cual se trabajó con los rendimientos brutos por tratamiento. A estos rendimientos se los ajustó restándoles el 20% para obtener el rendimiento ajustado. Luego se obtuvo el total de costos que varían tomando en cuenta las diferencias en costos de las dosis de fertilización, micorrizas y jornales para realizar la mezcla de los productos. La diferencia entre el rendimiento ajustado – el total de costos que varían dio como resultado el Beneficio neto por tratamiento. Con el dato del beneficio neto se obtuvo el Análisis de dominancia, considerando tratamientos dominados aquellos que costaron más y obtuvieron menor beneficio neto que el tratamiento precedente. Con los tratamientos “no dominados” se realizó el Análisis marginal y finalmente se obtuvo la Tasa de retorno marginal (TRM). (Anexo 7)

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Fase de laboratorio

#### 4.1.1. Análisis Inferencial

Tabla 4. Prueba de “t” student para determinar diferencias estadísticas en suelos inoculados y no inoculados con micorriza

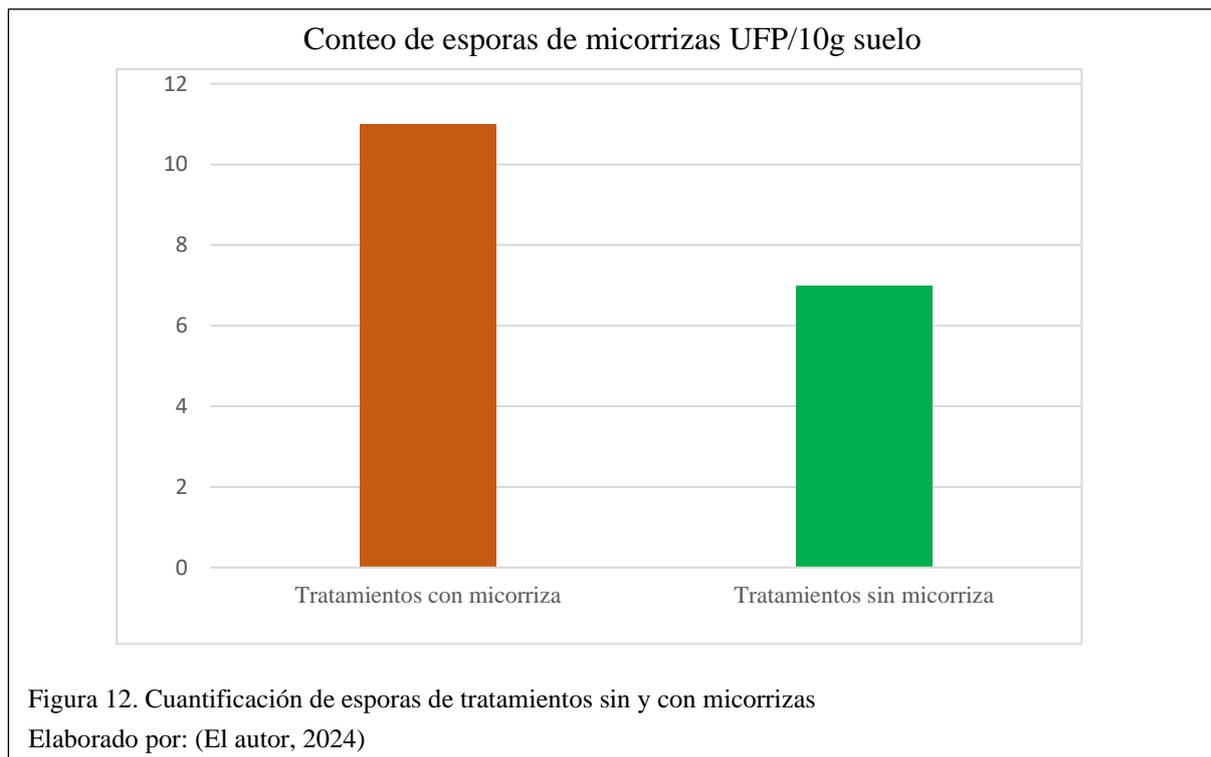
Variable	Media	Desviación Estándar	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)	Valor de t	Probabilidad
Número de UFP/10 g de suelo	9.00	2.83	-16.41	34.41	4.50	0.1392

Elaborado por: (El autor, 2024)

La prueba de “t” student determinó que existieron diferencias significativas en cuanto al número de esporas de micorrizas en los tratamientos con inoculación en comparación con los tratamientos no inoculados. Al ser el valor de la probabilidad (p-value = 0.1392) menor que la significación 0.5 se ubica en la región de rechazo, por lo que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$ ) que menciona que no existen diferencias en el número de esporas en suelos inoculados y no inoculados con micorrizas y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$ ), que indica que existen diferencias en el número de esporas al inocular o no un suelo con micorrizas, por tanto se afirma que el suelo inoculado con micorriza mostró la mayor cantidad de UFP que en aquellos tratamientos donde el suelo no fue inoculado.

Abarca & Gómez (2020), en un trabajo realizado inoculando varias dosis (20-100 g/planta) de un bioinsumo a base de micorrizas arbusculares en cacao, determinaron que no existieron diferencias estadísticas significativas entre dosis de inóculo (28-34 esporas/g de suelo), pero se detectaron diferencias significativas entre inocular y no inocular, pues sólo se detectaron 16 esporas/g de suelo en los tratamientos no inoculados.

#### 4.1.2. Cuantificación de esporas de HMA de las dos muestras representativas



En la Figura 13 se observa que el recuento de esporas de la muestra de los tratamientos con micorrizas (T2, T3, T5, T6, T8, T9) obtuvo un valor de 11 UFP (Unidades Formadoras de Propágulos)/10 g de suelo, mientras que en los tratamientos testigo (T1, T4, T7) donde no se aplicó micorriza, el número de UFP fue de 7 por cada 10 g de suelo.

La muestra que estuvo conformada por los tratamientos con las dos dosis de micorrizas (10 y 20 kg) obtuvo un bajo número de UFP. La densidad de esporas pudo haber sido influenciada negativamente por la fertilización. Nadiah et al. (2020) mencionaron que los tratamientos con micorriza y fertilizante a una dosis completa (100%) no estimularon la población de hongos obteniendo 27 esporas/10 g de suelo en un cultivo de guanábana. Estudios en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) realizados por Kirika et al. (2023) encontraron que la dosis más alta de fertilizante químico (200 kg/ha), disminuyó la densidad de esporas, con una media de 34 esporas/100 g de suelo.

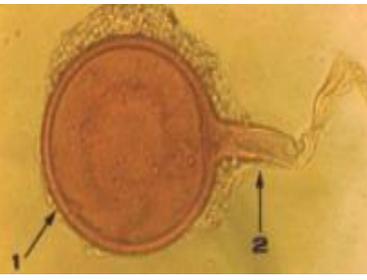
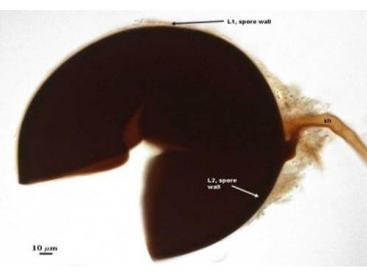
El fertilizante NPK contiene nitrógeno, fósforo y potasio que en altas dosis puede ser asimilable directamente por las plantas, esto reduce la simbiosis de micorrizas y sus propágulos infecciosos (Susanti et al., 2021). Después de que se usan los fertilizantes químicos, éstos inducen a las plantas para que reduzcan la asignación de fotosintatos y eso a la vez merma la colonización de micorrizas (Fall et al., 2023).

Como se mencionó anteriormente, el recuento de esporas de la muestra de los tratamientos con fertilizante sin micorrizas (T1, T4, T7) obtuvo un valor de 7 UFP/10 g, indicando una baja presencia de micorriza autóctona del suelo. Según Stürmer et al. (2022) las esporas de micorrizas son estructuras en reposo con paredes gruesas, y esta característica podría protegerlas de la desecación o cambios estructurales que afecten su viabilidad y supervivencia en el suelo. Las micorrizas autóctonas están mejor adaptadas a las condiciones locales (Fall et al., 2023). La fertilización a largo plazo del sitio de estudio pudo haber tenido un efecto significativo sobre las propiedades del suelo y las comunidades microbianas. En este sentido las micorrizas autóctonas pueden haber sido influenciadas por factores como el método de fertilización, el sistema de labranza, el tipo de suelo (Zhang et al., 2021).

En un estudio realizado por Zhang et al. (2021) muestra que la densidad de esporas de los tratamientos con fertilización fue mayor que la de los tratamientos sin fertilización. Esto puede deberse a que la fertilización a largo plazo solo aumentó la esporulación de pocas especies que no son sensibles a cambios ambientales causados por la fertilización.

#### 4.1.2. Identificación de esporas de HMA

Tabla 5. Identificación de esporas de micorrizas

Especie	Laboratorio	Referencia bibliográfica
<i>Sclerocystis</i> sp.	 40 x	 Fuente: (Saldaña et al., 2021)
<i>Glomus</i> sp.	 40 x	 Fuente: (Briceño & Diaz, 2012)
<i>Glomus deserticola</i>	 40 x	 Fuente: (INVAM, 2024)
<i>Glomus constrictum</i>	 40 x	 Fuente: (INVAM, 2024)

Elaborado por: (El autor, 2024)

Como se observa en la Tabla 5, la columna izquierda pertenece a imágenes obtenidas en laboratorio, en la imagen de *Sclerocystis* sp. se observa que está cubierta por una capa densa de hifas estrechamente entrelazadas, con un espesor de 9-19  $\mu\text{m}$ , formando un peridio que

mantiene las esporas compactas. Cuando son inmaduras, las esporas presentan un color naranja como se observa en la imagen reportada por (Saldaña et al., 2021). En la imagen de *Glomus* sp. se observa una clamidospora, con hifas subtendientes simples, rectas. La espora presenta tonos que van desde amarillos y marrones. El gráfico coincide con la imagen reportada por (Briceño & Diaz, 2012) que establecen que las esporas producidas por el género *Glomus* se denominan clamidosporas que se caracterizan por ser esporas de resistencia, de paredes gruesas y pigmentadas que contienen en su interior glóbulos lipídicos que constituyen su material de reserva. En la imagen de *Glomus desertícola* se observa una espora globosa a subglobosa, con un tamaño que oscila entre 70 y 115  $\mu\text{m}$  de diámetro. Ocasionalmente, pueden adoptar formas ovoides o en forma de pera. Cada espora está conectada a una hifa subtendiente. Esta imagen coincide con el gráfico reportado por el (INVAM, 2024) donde establece que *Glomus desertícola* tiene una forma globosa a subglobosa, pero a veces irregular, un tamaño variable que oscila entre 60 -140  $\mu\text{m}$  y una hifa subtendiente robusta que no se rompe fácilmente. En la imagen de *Glomus constrictum* se observa una espora con un color que varía de naranja parduzco a marrón oscuro. Es globosa a subglobosa, con un diámetro de 100-220  $\mu\text{m}$ , aunque en ocasiones pueden ser ovoides. Cada espora está conectada a una hifa subtendiente. Estas características coinciden con las características reportadas por el (INVAM, 2024) que establecen que la espora presenta una forma globosa a subglobosa, raramente irregular, una hifa subtendiente y un color que va desde marrón rojizo hasta casi negro.

Se pudo notar claramente el predominio del género *Glomus*. Boya et al. (2023) mencionan que el género *Glomus* domina en la mayoría de los suelos debido a que es altamente adaptable a las variaciones ecológicas y puede formar asociaciones micorrízicas con plantas en una amplia gama de propiedades del suelo. El hecho de que no se hayan observado más especies puede deberse a que cuanto mayor sea el contenido de nutrientes del suelo, menos será adecuado para el crecimiento de algunas especies de micorrizas (Zhang et al., 2021).

## 4.2. Fase de Campo

### 4.2.1. Altura de planta de espinaca 4,6,8,10 semanas después de la siembra

Tabla 6. Análisis de varianza para altura de planta a las 4,6,8 y 10 semanas.

F de V	G de L	4 S.D.S.		6 S.D.S.		8 S.D.S.		10 S.D.S.	
		F	p %	F	p %	F	p %	F	p %
Repeticiones	2	2.40	0.1224	7.22	0.0058	0.19	0.8319	3.00	0.0784
Factor A	2	74.47	<0.0001**	1.46	0.2614NS	1.39	0.2778NS	28.53	<0.0001**
Factor B	2	17.21	0.0001**	23.90	<0.0001**	0.53	0.5969NS	5.52	0.0151*
A x B	4	152.19	<0.0001**	17.26	<0.0001**	2.29	0.1049NS	6.65	0.0024**
Error	16								
Total	26								
C.V. %		0.77		2.01		1.64		1.66	

Coefficiente de Variación

Elaborado por: (El autor, 2024)

S.D.S: semanas después de la siembra

Factor A: Dosis de fertilización, Factor B: Dosis de micorriza

El Análisis de Varianza para la variable Altura de planta de espinaca, presentó diferencias estadísticas significativas durante todo el ciclo de cultivo, a excepción de la evaluación a las 8 semanas, donde no se detectaron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las fuentes de variación. Sin embargo, a la semana 10 se distinguieron nuevamente diferencias entre los tratamientos. El CV oscila entre 0.77 a 2.01%, estos valores indican que las condiciones del cultivo fueron controladas. Los valores están dentro de los estipulados para este tipo de estudios agronómicos que van de 1.0 hasta 12%, dando confiabilidad a los datos obtenidos.

Tabla 7. Promedios de las interacciones para altura de planta a las 4,6,8 y 10 semanas.

Tratamientos	Dosis de fertilizante x Dosis de micorriza	Altura de planta 4 semanas (cm)	Altura de planta 6 semanas (cm)	Altura de planta 8 semanas (cm)	Altura de planta 10 semanas (cm)	Significación a las 10 semanas.
T1	F1M1	6.60	19.26	35.10	51.41	a
T2	F1M2	7.17	22.68	36.20	50.55	a b
T3	F1M3	6.66	21.78	36.39	50.79	a
T4	F2M1	7.29	20.72	36.21	50.60	a b
T5	F2M2	7.27	21.20	35.98	49.19	b c
T6	F2M3	6.75	21.09	35.58	46.78	e
T7	F3M1	6.78	20.79	35.55	47.53	d e
T8	F3M2	6.61	20.46	35.51	48.57	c d
T9	F3M3	7.26	21.48	35.47	48.20	c d e
	Promedio	6.93	21.05	35.77	49.29	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Nota: FQ= fertilizante químico; M= micorriza, T1 (300 kg/ha fertilizante químico + 0 kg/ha micorriza), T2 (300 kg/ha fertilizante químico + 10 kg/ha micorriza), T3 (300 kg/ha fertilizante químico + 20 kg/ha micorriza), T4 (240 kg/ha fertilizante químico + 0 kg/ha micorriza), T5 (240 kg/ha fertilizante químico + 10 kg/ha micorriza),

T6 (240 kg/ha fertilizante químico + 20 kg/ha micorriza), T7 (180 kg/ha fertilizante químico + 0 kg/ha micorriza), T8 (180 kg/ha fertilizante químico + 10 kg/ha micorriza), T9 (180 kg/ha fertilizante químico + 20 kg/ha micorriza).

Elaborado por: (El autor, 2024)

Como se observa en la Tabla 7 de promedios para la variable altura de planta, la mayor altura se obtuvo en los tratamientos: F1M1 (300 kg/ha de fertilizante químico + 0 kg/ha de micorriza) con 51.41 cm; seguido de F1M3 (300 kg/ha de fertilizante químico + 20 kg/ha de micorriza) con 50.79 cm. y finalmente el tratamiento F2M3 con (240 kg/ha de fertilizante químico + 20 kg/ha de micorriza) con 46.78 cm de altura.

El tratamiento T1 con mayor dosis de fertilizante sin micorriza obtuvo la mejor altura en comparación a los otros tratamientos, posiblemente porque los fertilizantes químicos fueron capaces de suministrar rápidamente los elementos NPK a las plantas, esto afectó las características de las micorrizas en la rizosfera (Susanti et al., 2021). La mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo después de la fertilización química hace que las plantas reduzcan su dependencia a la simbiosis con micorrizas. La planta reduce la asignación de fotosintatos y se reduce la colonización de las micorrizas después de aplicar dosis elevadas de fertilizantes químicos (Fall et al., 2023).

#### 4.2.2. Longitud de hoja de espinaca a las 4,6,8,10 semanas después de la siembra

Tabla 8. Longitud de hoja a las 4,6,8 y 10 semanas después de la siembra

F de V	G de L	4 S.D.S.		6 S.D.S		8 S.D.S		10 S.D.S.	
		F	p %	F	p %	F	p %	F	p %
Repeticiones	2	1.08	0.3626	3.79	0.0450	3.07	0.0745	0.98	0.3969NS
Factor A	2	9.63	0.0018**	4.96	0.0211*	16.48	0.0001**	10.11	0.0015**
Factor B	2	31.33	<0.0001**	1.92	0.1794NS	0.49	0.6211NS	17.11	0.0001**
A x B	4	21.59	<0.0001**	4.75	0.0102*	47.52	<0.0001**	7.12	0.0017**
Error	16								
Total	26								
C.V. %		2.65		1.60		0.9		1.35	

Coefficiente de Variación

S.D.S: semanas después de la siembra

Factor A: Dosis de fertilización, Factor B: Dosis de micorriza

Elaborado por: (El autor, 2024)

En el Análisis de Varianza para la variable longitud de hoja de espinaca, se pudo observar que durante todo el ciclo la respuesta de las plantas a los fertilizantes químicos determinó que

existan diferencias estadísticas significativas y altamente significativas. Las micorrizas influyeron al inicio y al final del ciclo de cultivo obteniendo diferencias altamente significativas, sin embargo, en el proceso de desarrollo del cultivo, es decir, en las semanas 6 y 8 de evaluación, no influyeron de ninguna manera. La interacción dosis de fertilizante químico x dosis de micorriza determinó que la acción conjunta de los 2 factores en estudio fue complementarios para que se produzcan diferencias entre los tratamientos. Los coeficientes de variación oscilaron entre 0.90 a 2.65% determinando que los resultados obtenidos son confiables.

Tabla 9. Promedios de las interacciones para longitud de hoja a las 4,6,8 y 10 semanas

Tratamientos	Dosis de fertilizante x Dosis de micorriza	Longitud de hoja 4 semanas (cm)	Longitud de hoja 6 semanas (cm)	Longitud de hoja 8 semanas (cm)	Longitud de hoja 10 semanas (cm)	Significación a las 10 semanas.
T1	F1M1	5.47	11.15	14.92	19.24	a
T2	F1M2	5.23	11.44	14.96	18.11	b c
T3	F1M3	4.61	11.43	15.49	18.64	a b
T4	F2M1	5.03	11.31	15.20	18.54	a b
T5	F2M2	5.14	11.48	16.05	18.61	a b
T6	F2M3	4.59	11.42	15.21	17.76	c
T7	F3M1	5.14	11.31	15.82	18.51	b
T8	F3M2	4.41	10.80	14.83	17.92	b c
T9	F3M3	4.97	11.33	15.05	18.01	b c
	Promedio	4.95	11.29	15.28	18.42	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Elaborado por: (El autor, 2024)

Como se puede observar en la tabla 9 de promedios de longitud de hoja de planta, se observó que el mejor resultado se obtuvo con la mayor dosis de fertilizante químico sin estar asociada con micorriza F1M1 (300 kg/ha de fertilizante químico + 0 kg/ha de micorriza), con 19.24 cm de longitud de hoja, seguido de F1M3 (300 kg/ha de fertilizante químico + 20 kg/ha de micorriza) con 18.64 cm de longitud de hoja, mientras que, el resultado más bajo se obtuvo con el tratamiento F2M3 (240 kg/ha de fertilizante químico + 20 kg/ha de micorriza) 17.76 cm de longitud de hoja. Estos resultados se corroboran con los estudios realizados por Zaman et al. (2018) donde el tratamiento con la más alta dosis de NP (100-150 kg/ha) obtuvo la longitud de

hoja más alta (27.0 cm) mientras que el tratamiento sin NP obtuvo la longitud más baja (16.0 cm).

No se observaron efectos de las micorrizas en la variable longitud de hoja. Sin embargo, estudios realizados por Jabborova et al. (2021b) observaron efectos positivos en longitud de hojas de espinaca cuando la micorriza se inoculó al momento de la siembra en un suelo con biocarbón. Por lo tanto, en este estudio la aplicación conjunta de micorriza con el fertilizante de base, a las 3 semanas después de la siembra no fue la mejor manera de inocular la micorriza al cultivo.

#### 4.2.3. Diámetro del tallo de espinaca 4,6,8 y 10 semanas después de la siembra

Tabla 10. Análisis de varianza para diámetro de tallo a las 4,6,8 y 10 semanas.

F de V	G de L	4 S.D.S.		6 S.D.S		8 S.D.S		10 S.D.S.	
		F	p %	F	p %	F	p %	F	p %
Repeticiones	2	4.94	0.0213	1.51	0.2505	0.51	0.6081	3.10	0.0726
Factor A	2	4.21	0.0339*	24.47	<0.0001**	38.16	<0.0001**	147.28	<0.0001**
Factor B	2	144.07	<0.0001**	26.06	<0.0001**	15.16	0.0002**	109.12	<0.0001**
A x B	4	40.89	<0.0001**	3.21	0.0409*	62.85	<0.0001**	10.46	0.0002**
Error	16								
Total	26								
C.V. %		1.58		2.52		1.05		0.76	

C.V.: Coeficiente de variación

Elaborado por: (El autor, 2024)

El Análisis de Varianza (ADEVA), para la variable diámetro de tallo de espinaca, detectó diferencias estadísticas significativas y altamente significativas durante todo el ciclo de evaluaciones. Los coeficientes de variación menores al 3.00% indican que los resultados obtenidos no fueron influenciados por factores externos y fueron la respuesta a la aplicación de los tratamientos en estudio.

Tabla 11. Promedios de las interacciones para diámetro de tallo a las 4,6,8 y 10

Tratamientos	Dosis de fertilizante x Dosis de micorriza	Diámetro de tallo 4 semanas (cm)	Diámetro de tallo 6 semanas (cm)	Diámetro de tallo 8 semanas (cm)	Diámetro de tallo 10 semanas (cm)	Significación a las 10 semanas.
T1	F1M1	2.36	4.02	6.30	8.21	a
T2	F1M2	2.37	4.13	6.29	7.83	b c
T3	F1M3	2.14	3.82	7.02	7.72	c d
T4	F2M1	2.47	4.24	6.57	7.97	b
T5	F2M2	2.47	4.53	6.70	7.62	d e

T6	F2M3	1.99	4.23	6.68	7.61	d e
T7	F3M1	2.22	3.93	6.55	7.63	d e
T8	F3M2	2.32	4.43	6.40	7.22	f
T9	F3M3	2.24	4.10	6.16	7.49	e
	Promedio	2.28	4.15	6.51	7.70	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Elaborado por: (El autor, 2024)

Como se puede observar en los datos de la Tabla 11, los mejores resultados, es decir, los tallos con mayor diámetro se obtuvieron cuando las dosis de fertilizante actuaron solos, sin asociación con micorriza; es así que, los mejores tratamientos fueron F1M1 con un diámetro de tallo al final del cultivo de 8.21 mm y F2M1 con 7.97 mm; F3M1 se ubicó unos niveles más bajos que los anteriores, pero seguramente expresa la menor dosis de fertilizante que recibió. Los resultados más bajos se obtuvieron con los tratamientos en asociación con micorrizas, siendo el tratamiento F3M2 el que obtuvo los tallos más delgados con 7.22 mm de diámetro y, seguido se ubicaron los demás tratamientos con incorporación de micorrizas en su fertilización.

El diámetro de tallo en el tratamiento con la más alta dosis de fertilizante sin micorriza (F1M1) fue ligeramente mayor a los otros tratamientos. Este factor pudo haber sido influenciado por las altas densidades de siembra. En este ensayo la densidad de siembra fue de 2000.000 de semillas por hectárea. Las altas densidades de siembra y competencia por luz entre las mismas plantas y con las malezas generan elongación en los tallos reduciendo su grosor (Lagunes et al., 2021). Además, las altas densidades de siembra pudieron haber reducido el efecto de las micorrizas. Estudios en trigo realizados por Duan et al. (2021) mencionan que la tasa de colonización de micorrizas se vio afectada significativamente por la disponibilidad de agua y la densidad de las plantas. Por otro lado, la fertilización complementaria de Nitrato de amonio realizado a las 8 semanas después de la siembra pudo haber influenciado en el aumento del diámetro del tallo en el tratamiento F1M1. Estudios en yuca realizados por Mashuubu et al. (2024) demostraron que la aplicación de 150N-20P-40K obtuvo el valor más alto (2.78 cm) de diámetro de tallo cuando se lo comparó con otros tratamientos.

#### 4.2.4. Número de hojas de espinaca 4,6,8 y 10 semanas después de la siembra

Tabla 12. Análisis de varianza para número de hojas 4,6,8 y 10 semanas.

F de V	G de L	4 S.D.S.		6 S.D.S		8 S.D.S		10 S.D.S.	
		F	p %	F	p %	F	p %	F	p %
Repeticiones	2	1.89	0.1828	8.17	0.0036	5.29	0.0172	13.96	0.0003
Factor A	2	12.15	0.0006**	0.04	0.9587NS	4.55	0.0272*	16.84	0.0001**
Factor B	2	5.56	0.0147*	9.8E-04	0.9990NS	50.71	<0.0001**	0.11	0.8978NS
A x B	4	3.91	0.0212*	0.31	0.8644NS	12.31	0.0001**	1.70	0.1985NS
Error	16								
Total	26								
C.V. %		1.37		6.51		0.51		2.08	

C.V.: coeficiente de variación

Elaborado por: (El autor, 2024)

El Análisis de Varianza (ADEVA), para Número de hojas de espinaca durante el ciclo de cultivo, determinó un comportamiento inestable de los factores en estudio, pues si bien detectó diferencias estadísticas significativas en algunos momentos del desarrollo de la planta, en otros permaneció invariable. Los coeficientes de variación, presentaron porcentajes bajos, siendo el mayor 6.51% obtenido en la evaluación de la semana 6 después de la siembra, sin embargo de esto, se considera muy aceptable e indica que los resultados son efecto directo de los tratamientos y no se deben a la influencia de factores externos.

Tabla 13. Promedios de interacciones para número de hojas a las 4,6,8,10 semanas.

Tratamientos	Dosis de fertilizante x Dosis de micorriza	Número de hojas 4 semanas (cm)	Número de hojas 6 semanas (cm)	Número de hojas 8 semanas (cm)	Número de hojas 10 semanas (cm)	Significación a las 10 semanas.
T1	F1M1	5.80	9.20	10.80	12.67	a
T2	F1M2	5.87	9.53	10.73	12.33	a b
T3	F1M3	5.73	9.40	10.63	12.67	a
T4	F2M1	5.57	9.47	10.90	12.23	a b
T5	F2M2	5.50	9.27	10.70	12.47	a b
T6	F2M3	5.63	9.60	10.43	12.20	a b
T7	F3M1	5.73	9.60	10.63	11.73	b
T8	F3M2	5.60	9.47	10.77	12.00	a b
T9	F3M3	5.63	9.30	10.53	11.87	b
	Promedio	5.67	9.42	10.68	12.24	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Elaborado por: (El autor, 2024)

Como se puede observar en la Tabla 13, el número de hojas por planta de espinaca, más bien respondieron a una condición genética de la variedad, ésta va emitiendo un número hasta predecible de hojas según va evolucionando en el tiempo. Es así que a las 4 semanas después

de la siembra presentó entre 5-6 hojas por planta, a las 6 semanas se observaron entre 9-10 hojas/planta, a las 8 semanas después de la siembra entre 10-11 hojas/planta y, finalizan su ciclo entre 11-12 hojas por planta, pudiendo este número incrementarse si se le deja más tiempo en campo.

Estos resultados difieren con los estudios realizados por Zaman et al. (2018) donde esta variable fue proporcional a las dosis de fertilizante utilizado, obteniendo el máximo número de hojas de espinaca (21 hojas) con el tratamiento 6 (125N-90P kg/ha), cabe destacar que el estudio se realizó con una variedad local.

Estudios con dos variedades de arroz realizados por Elidio et al. (2022) sostienen que el número de hojas se deben a condiciones genéticas de la variedad ya que el número de hojas del tipo de arroz híbrido (Indica) aumentó con altas dosis de nitrógeno, y disminuyó considerablemente con la menor tasa de nitrógeno. Mientras que la variedad de arroz (Japónica) no tuvo diferencias significativas en todas las tasas de nitrógeno aplicado.

#### 4.2.5. Rendimiento de espinaca en toneladas por hectárea

Tabla 14. Análisis de varianza para rendimiento de espinaca en t/ha.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor de F	p-valor
Repeticiones	0.96	2	0.48	0.33	0.7236
Factor A	55.85	2	27.92	19.19	0.0001**
Factor B	17.32	2	8.66	5.95	0.0117*
Factor A x B	13.35	4	3.34	2.29	0.1043NS
Error	23.29	16	1.46		
Total	110.76	26			
<b>CV (%)</b>	<b>1.85</b>				

C.V.:coeficiente de variación

Elaborado por: (El autor, 2024)

Para esta variable, se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas para el factor A (dosis de fertilizante); diferencias significativas al 5% de probabilidad para el factor B (dosis de micorriza); la interacción dosis de fertilizante x dosis de micorriza (A x B), no presentó diferencias estadísticas significativas. La media general fue 65.14 t/ha y el coeficiente de variación 1.85% dando confiabilidad a los datos obtenidos.

Tabla 15. Comparación de promedios de rendimiento en t/ha de espinaca por efecto de dosis de fertilización.

Dosis Fertilizante Químico	Rendimiento (t/ha)	Significación
F1 (300 kg/ha)	67.16	a
F2 (240 kg/ha)	63.95	b
F3 (180 kg/ha)	64.30	b

Elaborado por: (El autor, 2024)

Como se puede observar en la Tabla 15, el mejor tratamiento fue la dosis F1 (300 kg/ha de fertilizante químico), pues con él se obtuvieron 67.16 t/ha de espinaca para procesamiento, por lo que ocupó el primer rango en la prueba de significación estadística. Las dosis F2 (240 kg/ha de fertilizante químico) y F3 (180 kg/ha de fertilizante químico) con 63.95 y 64.30 t/ha respectivamente, compartieron un mismo rango inferior.

La más alta dosis de fertilizante químico obtuvo el mayor rendimiento de espinaca, lo que concuerda con lo expresado por Zaman et al. (2018), quienes en experimentos realizados en espinaca donde la dosis más alta de fertilizante químico (150-100 kg/ha de NP) obtuvo el rendimiento más alto (23.15 t/ha) en comparación con otros tratamientos que incluyeron dosis más bajas. En maíz (*Zea mays*) se probaron 3 dosis de fertilización, siendo D1:100-80-100 kg/ha de NPK; D2: 150-80-100 kg/ha de NPK y D3: 200-80-100 kg/ha de NPK con lo cual se obtuvieron 13.606 kg/ha de maíz con la fertilización D1; 13.971 kg/ha de maíz con D2 y 14.720 kg/ha con D3 por lo cual se concluyó que el incremento de las dosis de fertilización influye en un mayor rendimiento de los cultivos (López et al.,2024).

Tabla 16. Comparación de promedios de rendimiento en t/ha de espinaca por efecto de dosis de micorrizas

Dosis de Micorriza	Rendimiento (t/ha)	Significación
M1 (0 kg/ha)	64.07	b
M2 (10 kg/ha)	65.35	ab
M3 (20 kg/ha)	66.00	a

Elaborado por: (El autor, 2024)

La respuesta del cultivo a la aplicación de micorriza también fue diferente. El mejor rendimiento se obtuvo con la dosis M3 (20 kg/ha de micorriza) con 66.00 t/ha de espinaca; la dosis M2 (10 kg/ha de micorriza) con 65.35 t/ha se ubicó en un rango intermedio y, la dosis M1 (0 kg/ha de micorriza) con 64.07 t/ha, ocupó el rango inferior en la prueba de separación de medias de Tukey al 5% de probabilidad. Las micorrizas influyeron en el rendimiento debido a que la simbiosis micorrízica también afecta la fotosíntesis (Chen et al., 2023). Las micorrizas son capaces de modificar el intercambio gaseoso e inducir mayor tasa fotosintética en sus hospedantes, haciendo más eficiente el uso del agua y la actividad de la enzima rubisco para captar CO<sub>2</sub> (Alarcón et al., 2003). El aumento de la tasa de fotosíntesis favorece el rendimiento de los cultivos, pues la materia seca producida depende de este proceso (Rodríguez et al., 2023). Estudios en agave (*Agave tequilana*) realizados por Barrios et al. (2009) mencionan que la inoculación con micorrizas incrementó la fotosíntesis, lo cual se relacionó con un aumento en el grosor del mesófilo. En el presente estudio se observó una respuesta tardía de las micorrizas, debido quizá a que las micorrizas en las primeras semanas no encuentran las condiciones ideales para colonizar y proliferarse lo necesario para expresar un mejor desarrollo comparado al testigo (Abarca & Gómez, 2020). Según la Cámara de comercio de Bogotá et al. (2016) la demanda de macro y microelementos de la espinaca es alto durante las tres últimas semanas debido a que en esa etapa aumenta el peso (peso seco). Se puede inferir que en esta etapa del cultivo las micorrizas colonizaron la raíz de espinaca y una vez colonizadas las hifas de la raíz expandieron la región de absorción de agua y nutrientes permitiendo que la planta huésped obtenga más agua y nutrientes minerales. Koberniuk et al. (2024) mencionan que la colonización de micorrizas en las raíces de maíz fue más activa durante la etapa de desarrollo del tallo, cuando las plantas requirieron una cantidad significativa de nitrógeno para desarrollar masa vegetativa. El tipo de fertilizante complementario también pudo haber influenciado en las micorrizas. En un metaanálisis realizado por Wu et al. (2024) mencionaron que la inoculación

de micorrizas tuvo mayores efectos positivos en la biomasa de la planta cuando se agregó  $\text{NO}_3$  y los efectos menos positivos de las micorrizas sobre la biomasa de la planta se observaron cuando se agregó  $\text{NH}_4$ .

#### **4.2.7. Análisis económico**

Tabla 17. Análisis económico según Perrin et al.

DESCRIPCIÓN	TRATAMIENTOS								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Rendimiento medio (kg/ha)	65.170,00	68.390,00	67.930,00	63.713,00	64.017,00	64.133,00	63.330,00	63.633,00	65.937,00
Rendimiento ajustado (kg/ha)	52.136,00	54.712,00	54.344,00	50.970,40	51.213,60	51.306,40	50.664,00	50.906,40	52.749,60
Beneficio Bruto (Rend. Ajustado x 0.32 USD)	16.683,52	17.507,84	17.390,08	16.310,53	16.388,35	16.418,05	16.212,48	16.290,05	16.879,87
<b>COSTOS QUE VARÍAN</b>									
Costo del fertilizante (USD. 0.82 x kg).	246.00	246.00	246.00	196.80	196.80	196.80	147.60	147.60	147.60
Costo de la micorriza (USD. 2.00 x kg)	0.00	30.00	60.00	0.00	30.00	60.00	0.00	30.00	60.00
Costo de mezclar fertilizante + micorriza	0.00	2.82	2.82	0.00	2.82	2.82	0.00	2.82	2.82
Total de Costos que varían	246.00	278.82	308.82	196.80	229.62	259.62	147.60	180.42	210.42
<b>Beneficio Neto (US\$).</b>									
Beneficio Bruto - Total de costos que varían	16.437,52	17.229,02	17.081,26	16.113,73	16.158,73	16.158,43	16.064,88	16.109,63	16.669,45
VALOR ESPINACA 1 (Kg producto comercial)	0.82								
VALOR MICORRIZA (kg producto comercial)	3.00								
VALOR JORNAL (HORA DE TRABAJO).	2.82								

El Análisis económico de Presupuesto Parcial demanda que el Rendimiento medio de cada tratamiento se ajuste, en vista de que las condiciones de una parcela experimental no son las mismas que las de una explotación agrícola propiamente dicha. A los valores de Rendimiento medio se descontó un 20% para obtener el Rendimiento Ajustado; así, en T1 el rendimiento medio fue 65.17 t/ha, restándole el 20% a este valor resultó 52.14 t/ha.

Luego se obtuvo el Beneficio Bruto que resulta de multiplicar el valor del Rendimiento Ajustado x USD\$ 320.00 que es el valor de la tonelada de espinaca. Así, en T1 las 52.14 t/ha x USD 320.00 por tonelada de espinaca = USD 16683.52. Posteriormente se obtuvieron los Costos que Varían, en los que constan los costos “diferentes” de cada tratamiento. En T1 los costos que varían fueron el resultado del valor del fertilizante, en este caso 300 kg/ha de la fórmula ESPINACA 1, a un valor de USD 0.82 el kg = USD\$ 246.00.

En los tratamientos en los que se redujo la fertilización química y se inoculó micorriza, se tomaron en cuenta el valor del fertilizante, el valor de la micorriza y el valor del jornal para realizar la mezcla; así, en T9 se utilizaron 180 kg/ha de la fórmula ESPINACA 1, a un valor de USD 0.82 kg, es decir  $180 \times 0.82 = \text{USD } 147.60$ . A este valor se sumó el valor de la micorriza, USD 3.00 el kg x 20 kg que se utilizó en el tratamiento = USD 60.00. Y, el valor del jornal que realizó la mezcla de los 2 productos, considerando que el tiempo que 1 jornal se demoró en mezclar los productos para 1 hectárea fue de 1 hora, se obtuvo el valor de USD 2.82. Sumados estos tres valores se obtuvo que los costos que varían para T9 fueron de:  $147.60 + 60.00 + 2.82 = \text{USD } 210.42$ . Este mismo procedimiento se realizó para todos los tratamientos. Obtenidos estos valores se calculó el Beneficio Neto, que resulta de restar el Beneficio bruto – Total de costos que varían; es decir, si se toma como ejemplo T1, Beneficio Bruto: USD 16683.52 – Total de Costos que varían: USD 246.00 = USD 16437.52. El mismo procedimiento se realizó para todos los tratamientos (Tabla 15).

## 5. Conclusiones

- El número de UFP/10g de suelo obtenidos en laboratorio fue de 11 en la muestra con micorriza, y de 7 en la muestra sin muestra sin micorriza revelando la presencia de micorriza autóctona con altas tasas de sobrevivencia y que también pudo haber influenciado en el rendimiento del cultivo.
- Se identificaron 3 micorrizas autóctonas: *Sclerocystis* sp., *Glomus* sp., *Glomus desertícola*
- Se identificaron y comprobaron la presencia de las 3 especies de micorrizas presentes en el producto comercial, siendo el género *Glomus* la especie más representativa señalando que está adaptada a condiciones adversas en el cultivo de la espinaca.
- Para las variables agronómicas altura de planta, número de hojas, longitud de hoja, grosor del tallo se evidenció la influenciada directa de la fertilización química, ayudando a que se desarrolle el cultivo en una forma adecuada.
- Para el rendimiento en toneladas métricas se observa que las micorrizas combinadas con una menor dosis de fertilizante obtienen la misma la cantidad de materia seca que con el testigo comercial.
- La aplicación de materia orgánica influye directamente en el incremento del número de micorrizas y mejora el ambiente para su desarrollo y efectividad.

## **6. Recomendaciones**

- Incorporar micorrizas desde el inicio de la siembra para mejorar la simbiosis, obtener mejores rendimientos y disminuir problemas fitosanitarios en el cultivo
- Realizar rotación de cultivos por lo menos una vez al año con abonos verdes para mantener la fertilizada del suelo y mejorar el aporte de materia orgánica.
- Aplicar fuentes de materia orgánica junto con las micorrizas para mejorar su acción y simbiosis con las plantas.
- Dejar que las micorrizas se adapten al suelo y desarrollen hifas antes de aplicar el fertilizante.
- Multiplicar y aplicar micorrizas autóctonas

## 7. Bibliografía

- Abarca, X., & Gómez, S. (2020). *Efecto de la inoculación de micorrizas benéficas Mycoral® en patrones de cacao (Theobroma cacao L.) en la etapa de desarrollo vegetativo* [Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana].  
<https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6786>
- Abbott, L. (1982). Comparative Anatomy of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizas Formed on Subterranean Clover. *Australian Journal of Botany*, 30(5), 485.  
<https://doi.org/10.1071/BT9820485>
- Ade, S., Dirgahani, P., Refa, F., Abi Mayu, W., & Muhammad Rafi, W. P. (2024). Seed germination and adaptation of several national and introduced varieties of spinach plants (*Spinacia oleracea* L.) in tropical lowlands. *Open Science and Technology*, 4(1).  
<https://opscitech.com/journal/article/view/111>
- Alarcón, A., González, M. del C., & Ferrera, R. (2003). *CRECIMIENTO Y FISIOLOGÍA DE Citrus volkameriana Tan & Pasq EN SIMBIOSIS CON HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES*. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57321406.pdf>
- Altamirano, C. del P. (2010). *ESTABLECIMIENTO Y EVALUACIÓN DE DIEZ ESPECIES HORTÍCOLAS EN HUERTOS FAMILIARES EN DOS COMUNIDADES DE LA PARROQUIA LICTO*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Álvarez-Manjarrez, J., Solís Rodríguez, A. U., Villarruel-Ordaz, J. L., Ortega-Larrocea, M. del P., & Garibay-Orijel, R. (2021). Micorrizas del bosque tropical caducifolio y otras simbiosis fúngicas. *Acta Botanica Mexicana*, 128.  
<https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1906>
- Avendaño-Abarca, V. H., González-Sandoval, D. C., Munguía-López, J. P., Hernández-Cuevas, R., Luna-Maldonado, A. I., Vidales-Contreras, J. A., Niño-Medina, G., & Rodríguez Fuentes, H. (2020). Crecimiento y absorción total nutrimental de lechuga romana tipo baby cultivada con iluminación led bajo sistema fábrica de plantas. *Informacion Tecnica Economica Agraria*. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.011>
- Banu, Most. B., Mian, M. H., Rahman, M. M., Moslehuddin, A. Z. Md., & Matin, M. Q. I. (2023). Identification and Characterization of Arbuscular Mycorrhizal Strains from the Roots and Rhizospheres of Tomato, Brinjal, Chilli and Onion. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 21(1), 1–12.  
<https://doi.org/10.9734/ajaar/2023/v21i1398>

- Barrios, E., Zañudo, J., & López, E. (2009). EFECTO DE LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES EN EL CRECIMIENTO, FOTOSÍNTESIS Y ANATOMÍA FOLIAR DE PLANTAS JÓVENES DE *Agave tequilana*. *Acta Botánica Mexicana*. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-71512009000400005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512009000400005)
- Bengono Nyimiebolo, A. M., Djeuani, A. C., Mbouobda, H. D., Tiki, A. M. K., Moma, T. A., Manuela, D. M., Adounga, S. B., Panguoko, C. F., Nshanji, J., Nguetrapouna, I., Moutamal, R. T. D. D., Amang, A. Z. A., & Niemenak, N. (2024). Morphological Characterization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with the Rhizosphere According to the Age of *Xanthosoma sagittifolium*; L. Schott Plants in the Field. *American Journal of Plant Sciences*, *15*(03), 161–179. <https://doi.org/10.4236/ajps.2024.153012>
- Bennett, A. E., & Groten, K. (2022). The Costs and Benefits of Plant–Arbuscular Mycorrhizal Fungal Interactions. *Annual Review of Plant Biology*, *73*(1), 649–672. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820-124504>
- Bouchentouf, H., Chafai, W., Rejmil, E. hassane, Bechchari, A., & Ahmed, K. (2024). Diversity of endomycorrhizal and ectomycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Helianthemum ledifolium* in the Bni Guil area (Eastern Morocco). *Australian Journal of Crop Science*, *18*(06):2024, 359–364. <https://doi.org/10.21475/ajcs.24.18.06.pne93>
- Boya, S., Puttaswamy, P., Mahadevappa, N., Sharma, B., & Othumbamkat, R. (2023). Enumerating Indigenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Associated with Three Permanent Preservation Plots of Tropical Forests in Bangalore, Karnataka, India. *Bacteria*, *2*(1), 70–80. <https://doi.org/10.3390/bacteria2010006>
- Briceño, L., & Diaz, M. (2012). *FERTILIZACIÓN BIOLÓGICA Y ORGÁNICA DEL Agave cocui (Trelease). Inoculación con hongos micorrízicos arbúsculares y aplicación de abonos orgánicos fermentados sobre la productividad*. <https://www.researchgate.net/publication/273058548>
- Cámara de comercio de Bogotá, Vicepresidencia de Fortalecimiento Empresarial, & Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial. (2016). *Manual Espinaca*. <http://hdl.handle.net/11520/14310>
- Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botanica Mexicana*, *129*. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Chen, W., Mou, X., Meng, P., Chen, J., Tang, X., Meng, G., Xin, K., Zhang, Y., & Wang, C. (2023). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus inoculation on the growth and nitrogen metabolism of *Catalpa bungei* C.A.Mey. under different nitrogen levels. *Frontiers in Plant Science*, *14*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1138184>
- DANESH, Y. R., KARIMAN, K., KESKİN, N., & NAJAFI, S. (2022). Characterization of arbuscular mycorrhizal fungal communities associated with vineyards in northwestern Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *46*(3), 271–279. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3001>

- Darakeh, S. A. S. S., Weisany, W., Tahir, N. A.-R., & Schenk, P. M. (2022). Physiological and biochemical responses of black cumin to vermicompost and plant biostimulants: Arbuscular mycorrhizal and plant growth-promoting rhizobacteria. *Industrial Crops and Products*, 188, 115557. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115557>
- Delgado-Iniesta, M. J., Girona-Ruíz, A., & Sánchez-Navarro, A. (2023). Agro-Ecological Impact of Irrigation and Nutrient Management on Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Grown in Semi-Arid Conditions. *Land*, 12(2), 293. <https://doi.org/10.3390/land12020293>
- DIN. (1981). *DIN 38405-17:1981-03 | Normas AENOR*. <https://tienda.aenor.com/norma-din-38405-17-1981-03-890941>
- Droh, G., Meliton Djezou, K., Tuo, S., Touré, M., & Kouassi, A.-B. (2023). Morphometric Characterization of Endomycorrhizal Fungi (Glomeraceae and Acaulosporaceae) from the Bouaflé and Niellé Areas in Côte d’Ivoire. *American Journal of BioScience*. <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20231101.11>
- Duan, H., Luo, C., Li, J., Wang, B., Naseer, M., & Xiong, Y. (2021). Improvement of wheat productivity and soil quality by arbuscular mycorrhizal fungi is density-and moisture-dependent. *Agronomy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00659-8/Published>
- Ebbisa, A. (2023). Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Optimizing Nutrient Bioavailability and Reducing Agrochemicals for Maintaining Sustainable Agroecosystems. In *Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agriculture - New Insights*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.106995>
- Elidio, C. D., Ding, C., Zhu, X., & Li, G. H. (2022). Different developments of rice leaf and their response to nitrogen. *Technology in Agronomy*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.48130/tia-2022-0002>
- EPA. (1986). *SW-846 Test Method 9081: Cation-Exchange Capacity of Soils (Sodium Acetate)*. <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-9081-cation-exchange-capacity-soils-sodium-acetate>
- EPA. (1998). *METHOD 7010 GRAPHITE FURNACE ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/epa-7010.pdf>
- EPA. (2004). *Method 9045D: Soil and Waste pH, part of Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/9045d.pdf>
- EPA. (2007). *METHOD 7000B FLAME ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETRY*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/7000b.pdf>
- EPA. (2011). *3500-Na SODIUM*. <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.062>
- EPA. (2020). *4500-Cl G. DPD Colorimetric Method*. [https://www.nemi.gov/methods/method\\_summary/7431/](https://www.nemi.gov/methods/method_summary/7431/)

- Fall, A. F., Nakabonge, G., Ssekandi, J., Founoune-Mboup, H., Badji, A., Ndiaye, A., Ndiaye, M., Kyakuwa, P., Anyoni, O. G., Kabaseke, C., Ronoh, A. K., & Ekwangu, J. (2023). Combined Effects of Indigenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and NPK Fertilizer on Growth and Yields of Maize and Soil Nutrient Availability. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032243>
- Figueiredo, A. F., Boy, J., & Guggenberger, G. (2021). Common Mycorrhizae Network: A Review of the Theories and Mechanisms Behind Underground Interactions. *Frontiers in Fungal Biology*, 2. <https://doi.org/10.3389/ffunb.2021.735299>
- Frerichs, C., Key, G., Broll, G., & Daum, D. (2022). Nitrogen fertilization strategies to reduce the risk of nitrate leaching in open field cultivation of spinach (*Spinacia oleracea* L.)#. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2, 264–281. <https://doi.org/10.1002/jpln.202100275>
- Gabr, D. G., & Al-Taisan, W. A. (2023). Taxonomic distribution and morphology of some flowering plants belonging to family Chenopodiaceae. *Pakistan Journal of Botany*, 55(1). [https://doi.org/10.30848/PJB2023-1\(29\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-1(29))
- Genre, A., Lanfranco, L., Perotto, S., & Bonfante, P. (2020). Unique and common traits in mycorrhizal symbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 18(11), 649–660. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0402-3>
- George, N. P., & Ray, J. G. (2023). The inevitability of arbuscular mycorrhiza for sustainability in organic agriculture—A critical review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1124688>
- Giménez Martínez, A. (2020). *Sustainable production of baby leaf lettuce and spinach through the use of compost and its extracts* [Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://doi.org/10.31428/10317/9221>
- Gutierrez, R. M. P., Velazquez, E. G., & Carrera, S. P. P. (2019). *Spinacia oleracea* Linn Considered as One of the Most Perfect Foods: A Pharmacological and Phytochemical Review. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 19(20), 1666–1680. <https://doi.org/10.2174/1389557519666190603090347>
- Hashimi, R., Khalil Afghani, A., Rahman Karimi, M., Khan Habibi, H., & Rahmatullah Hashimi, C. (2019). *Effect of organic and inorganic fertilizers levels on spinach (Spinacia oleracea L.) production and soil properties in Khost Province, Afghanistan*. 5(7), 83–87. [www.allresearchjournal.com](http://www.allresearchjournal.com)
- Hodge, A. (2017). Accessibility of Inorganic and Organic Nutrients for Mycorrhizas. In *Mycorrhizal Mediation of Soil: Fertility, Structure, and Carbon Storage* (pp. 129–148). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804312-7.00008-5>
- Huey, C. J., Gopinath, S. C. B., Uda, M. N. A., Zulhaimi, H. I., Jaafar, M. N., Kasim, F. H., & Yaakub, A. R. W. (2020). Mycorrhiza: a natural resource assists plant growth under varied soil conditions. *3 Biotech*, 10(5), 204. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02188-3>

- Hussain, F., Rashid Kayani, H. ur, & Bashir, S. (2022). Antioxidant, Antidiabetic and Structural Analysis of Spinacia Oleracea Leaf. *Pakistan Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 3(1), 1–11. <https://doi.org/10.52700/pjbb.v3i1.61>
- IDEAM. (2017a). *INSTRUCTIVO DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN AGUA. SM 2510B*. <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/97658415/M-S-LC-I022+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACI%C3%93N+DE+CONDUCTIVIDAD+ELECTRICA+EN+AGUA.pdf/88035e32-9f84-483b-b932-41805047f77a?version=1.0>
- IDEAM. (2017b). *STRUCTIVO DE ENSAYO. DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD EN AGUA MÉTODO 2320-B* . <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/97658415/M-S-LC-I029+INSTRUCTIVO+DETERMINACI%C3%93N+DE+ALCALINIDAD+EN+AGUA.pdf/ef03d61e-cdeb-409b-9ea6-0787b1aafe56?version=1.0>
- IDEAM. (2020). *DETERMINACIÓN DE SULFATO. SM 4500 SO4 -2 E. MÉTODO TURBIDIMETRICO*. <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I055+INSTRUCTIVO+DE+ENSAYO+DETERMINACI%C3%93N+DE+SULFATOS+POR+TURBIEDAD+v4.pdf/baa360c2-5b96-4d1e-b33e-ec352f84764a?version=1.0>
- Iftikhar, M., Rashid, M., Yousaf, Z., Tufail, A., Noreen, Z., Ahmad, H. U., & Hannan, A. (2023). Taxonomic Evaluation of Spinacia oleracea L. Accessions by Morphological and Anatomical Markers. *Journal of Plant and Environment*, 5(2), 135–150. <https://doi.org/10.33687/jpe.005.02.4571>
- INVAM. (2024). *Septoglomus deserticola*.
- ISO. (1986). *Water quality - Determination of nitrate -Part 1: 2,6 Dimethylphenol spectrometric method* . <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/14840/1bc5162b497e4a96ab26e44023758271/ISO-7890-1-1986.pdf>
- Jaborova, D., Annapurna, K., Paul, S., Kumar, S., Saad, H. A., Desouky, S., Ibrahim, M. F. M., & Elkelish, A. (2021a). Beneficial Features of Biochar and Arbuscular Mycorrhiza for Improving Spinach Plant Growth, Root Morphological Traits, Physiological Properties, and Soil Enzymatic Activities. *Journal of Fungi*, 7(7), 571. <https://doi.org/10.3390/jof7070571>
- Jaborova, D., Annapurna, K., Paul, S., Kumar, S., Saad, H. A., Desouky, S., Ibrahim, M. F. M., & Elkelish, A. (2021b). Beneficial features of biochar and arbuscular mycorrhiza for improving spinach plant growth, root morphological traits, physiological properties, and soil enzymatic activities. *Journal of Fungi*, 7(7). <https://doi.org/10.3390/jof7070571>
- Jiménez, J., Arias, L., Espinosa, L., Fuentes, L., Garzón, C., Gil, R., Niño, N., & Rodríguez, M. (2010). *El cultivo de la espinaca (Spinacia oleracea L.) y su manejo fitosanitario en Colombia* (Vol. 1). [www.utadeo.edu.co](http://www.utadeo.edu.co)

- Kariman, K., Scanlan, C., Boitt, G., & Rengel, Z. (2020). Feremycorrhizal symbiosis confers growth and nutritional benefits to mycorrhizal and non-mycorrhizal crops. *Soil Biology and Biochemistry*, *151*, 108060. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108060>
- Kaumbu, J.-M. K., Sene, G., Stefani, F., & Khasa, D. P. (2023). Characterization of the arbuscular mycorrhizal fungal community associated with rosewood in threatened Miombo forests. *Mycorrhiza*, *33*(4), 277–288. <https://doi.org/10.1007/s00572-023-01115-7>
- Kirika, B., Tshibangu, A., Lwalaba, J., Assani Bin, M., Ngoy, M., Baert, G., Haesaert, G., & Mukobo, R. (2023). Effects of NPK10-20-10 Chemical Fertilizer and Arbuscular Mycorrhizae on the Response of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in an Acidic Soil of Lubumbashi Region. *Gesunde Pflanzen*, *75*(6), 2723–2732. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00879-4>
- Koberniuk, O., Hryhoriev, V., Nebaba, K., Havrylianchyk, R., & Plhtiy, D. (2024). *The role of arbuscular fungi in enhancing fertiliser efficiency in agriculture*. <https://sciencehorizon.com.ua/uk>
- Kuila, D., & Ghosh, S. (2022). Aspects, problems and utilization of Arbuscular Mycorrhizal (AM) application as bio-fertilizer in sustainable agriculture. *Current Research in Microbial Sciences*, *3*. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2022.100107>
- Lagunes, E., Villanueva, C., Lagunes, E., Zamora, E., Ávila, N., & Villanueva, E. (2021). La densidad de siembra en el crecimiento de la verdolaga. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2848>
- Lopez, M., & Frezza, D. (2022). Espinaca. *INTA*, *1*. [https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Kirschbaum/publication/364305743\\_Lechuga\\_Fichas\\_tecnicas\\_regionales\\_Tucuman/links/6344b0702752e45ef6a9a038/Lechuga-Fichas-tecnicas-regionales-Tucuman.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Kirschbaum/publication/364305743_Lechuga_Fichas_tecnicas_regionales_Tucuman/links/6344b0702752e45ef6a9a038/Lechuga-Fichas-tecnicas-regionales-Tucuman.pdf)
- Martin, F. M., & van der Heijden, M. G. A. (2024). The mycorrhizal symbiosis: research frontiers in genomics, ecology, and agricultural application. *New Phytologist*, *242*(4), 1486–1506. <https://doi.org/10.1111/nph.19541>
- Mashuubu, Y., Mourice, S., Kudra, A., & Bajjukya, F. (2024). Effect of fertilizer, planting density and variety on growth and yield of stem cuttings of cassava. *Journal of Current Opinion in Crop Science*, *5*(1), 27–40. <https://doi.org/10.62773/jcocs.v5i1.226>
- Maússe-Sitoe, S., & Dames, J. (2024). Characterization of arbuscular mycorrhizal fungal species associating with *Zea mays*. *Frontiers in Plant Science*, *15*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1345229>
- Molina, N. (2017). *Niveles de nitrógeno y densidades de siembra en el rendimiento de espinaca (Spinacea oleracea L.) bajo riego en Lagunilla - Ayacucho* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3580>
- Moreiras, O., Carbajal, Á., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). Tablas de composición de alimentos. *Ediciones Pirámide*. <https://fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/espinacas.pdf>

- Murcia, M. A., Jiménez-Monreal, A. M., Gonzalez, J., & Martínez-Tomé, M. (2020). Spinach. In *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 181–195). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00011-8>
- Nadiah, N. S. H., Nursyahidah, R., Jaafar, N. M., Zaharah, S. S., & Muharam, F. M. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and NPK Fertilisation Rate on the Growth of Soursop (*Annona muricata* L.) Seedlings. In *Malaysian Journal of Soil Science* (Vol. 24). <https://cabidigitallibrary.org>
- Nazareno Saparrat, M. C., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2020). *Micorrizas arbusculares* (1st ed.). [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/145772/CONICET\\_Digital\\_Nro.d00873bd-f602-4d0e-b669-f48af868bdf3\\_B.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/145772/CONICET_Digital_Nro.d00873bd-f602-4d0e-b669-f48af868bdf3_B.pdf?sequence=8&isAllowed=y)
- NEMI. (1997a). 3500-K *POTASSIUM*. <https://es.scribd.com/doc/316358155/DownloadFile-3500-K>
- NEMI. (1997b). SM4500-NH3. [https://www.edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Waste\\_SM4500-NH3.pdf](https://www.edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Waste_SM4500-NH3.pdf)
- NEMI. (1999). 4500-P *PHOSPHORUS*. [https://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/SoilsBiosolids\\_SM4500-P.pdf](https://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/SoilsBiosolids_SM4500-P.pdf)
- Oba, M., Rivera, R., Luna, A., Murillo, A., Oba, A., Ramos, J., Rodríguez, A., Rangel, A., Ortiz, J., & Benítez, G. (2021). Evaluación de biol, bocashi, composta y vermicomposta en las variables morfológicas del cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) / Evaluation of digestate, bocashi, compost and vermicompost on the morphological variables in spinach crop (*Spinacia oleracea* L.). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4, 3649–3662. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n3-070>
- Palta, Ş., Özel, H. B., Kanbur, S., & de Souza, T. A. F. (2024). Impact of wildfire on soil characteristics and arbuscular mycorrhizal fungi. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(7), 681. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12779-9>
- Perrin, R., Winkelmann, D. L., Moscardi, E., & Anderson, J. (1983). *FORMULACION DE RECOMENDACIONES A PARTIR DE DATOS AGRONOMICOS Un Manual Metodologico de Evaluacion Economica*.
- Ramaiyan, B., Kour, J., Nayik, G. A., Anand, N., & Alam, M. S. (2020). Spinach (*Spinacia oleracea* L.). In *Antioxidants in Vegetables and Nuts - Properties and Health Benefits* (pp. 159–173). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-7470-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-7470-2_8)
- Rodríguez, J. F. B., Prieto, J. C., Moya, E. S., Ramirez, L. L., Figueroa, S. S. G., Bueno, A. M., López, H. C. C., & Vázquez, A. J. G. (2023). EFFECT OF WATER STRESS ON YIELD, CLOROPHYLL AND BIOMASS IN WHEAT. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(3), 245–254. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.3.245>
- Saldaña, A., Cano, L., Espitia, M., Hernández, C., & Velasco, M. (2021). HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVOS EN LA GRANJA AGROECOLÓGICA DE UNIMINUTO, VILLAVICENCIO META NATIVE ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN THE AGROECOLOGICAL FARM OF

- UNIMINUTO, VILLAVICENCIO META. *Sociedad Colombiana de La Ciencia de Suelo*. [https://doi.org/10.47864/SE\(52\)2022p13-30\\_160](https://doi.org/10.47864/SE(52)2022p13-30_160)
- Saparrat, M., Ruscitti, M., & Arango, M. (2020). *Micorrizas arbusculares* (M. C. N. Saparrat, M. F. Ruscitti, & M. C. Arango, Eds.). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/99599>
- Sen, R., & Hepper, C. M. (1986). Characterization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp) by selective enzyme staining following polyacrylamide gel electrophoresis. *Soil Biology and Biochemistry*, 18(1), 29–34. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(86\)90099-4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90099-4)
- Shi, J., Wang, X., & Wang, E. (2023). Mycorrhizal Symbiosis in Plant Growth and Stress Adaptation: From Genes to Ecosystems. *Annual Review of Plant Biology*, 74(1), 569–607. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-061722-090342>
- Sosa, A., Muro, J., Gordillo, G., West, H., Xiaozhong, L., Ruíz, G., Etchevers, J., & Padilla, J. (2015). Demanda de macro y micronutrientes por espinaca (*Spinacia oleracea* L.) cultivada en El Llano en Llamas de Jalisco, México. *International Plant Nutrition Institute (IPNI)*. <https://www.researchgate.net/publication/301566683>
- Soto Sogamoso, J. E., Pinto Lopera, J. E., & Millán Rojas, E. E. (2022). Micorrizas arbusculares y las técnicas de visión artificial para su identificación. *TecnoLógicas*, 25(54), e2348. <https://doi.org/10.22430/22565337.2348>
- Souleymane, K., & Fallaye, K. (2021). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated to Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in soils of Sikasso region (Mali). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 15(6), 223–229. <https://doi.org/10.5897/AJEST2020.2888>
- Sportes, A., Hériché, M., Boussageon, R., Noceto, P.-A., van Tuinen, D., Wipf, D., & Courty, P. E. (2022). Correction to: A historical perspective on mycorrhizal mutualism emphasizing arbuscular mycorrhizas and their emerging challenges. *Mycorrhiza*, 32(5–6), 497–497. <https://doi.org/10.1007/s00572-022-01094-1>
- Stürmer, L., Heinz, K., Marascalchi, M., Giongo, A., & Siqueira, J. (2022). Wildfire does not affect spore abundance, species richness, and inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in ferruginous Canga ecosystems. *Acta Botanica Brasilica*, 36. <https://doi.org/10.1590/0102-33062021abb0218>
- Stürmer, S., Bever, J., Schultz, P., & Bentivenga, S. (2021). *Celebrating INVAM: 35 years of the largest living culture collection of arbuscular mycorrhizal fungi*. *Mycorrhiza*. <https://invam.ku.edu/species-descriptions>
- Susanti, A., Aziz, A., & Muhibuddin, A. (2021). *THE EFFECTIVENESS OF ADDING MYCORRHIZES AND FERTILIZER COMPOSITION ON THE GROWTH OF SPINACH (Amaranthus sp)*. 3(2), 135–147. <https://doi.org/10.36378/juatika.v%vi%i.1396>
- Thakur, V., Mal, D., Soga, K., & Gandhi, A. (2022). A Review on Nutritional Quality of Green Leafy Vegetables. *School of Agriculture*, 28. [https://www.researchgate.net/profile/Vishal-Thakur-33/publication/365229849\\_A\\_Review\\_on\\_Nutritional\\_Quality\\_of\\_Green\\_Leafy\\_Vegeta](https://www.researchgate.net/profile/Vishal-Thakur-33/publication/365229849_A_Review_on_Nutritional_Quality_of_Green_Leafy_Vegeta)

bles/links/6635eee808aa54017ad9f605/A-Review-on-Nutritional-Quality-of-Green-Leafy-Vegetables.pdf

USDA, & NRCS. (2024). *The PLANTS Database*. <http://plants.usda.gov>

Viva Rini, M., Yelli, F., Tambunan, D. L., & Damayanti, I. (2021). Morphological and molecular identifications of three native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from the rhizosphere of *Elaeis guineensis* and *Jatropha curcas* in Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(11). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221128>

Wahua, C., & Agogbua, J. U. (2024). Taxonomic characteristics of *Spinacia oleracea* L. *Scientia Africana*, 22(3), 261–268. <https://doi.org/10.4314/sa.v22i3.23>

Wu, Y., Chen, C., & Wang, G. (2024). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves plant biomass and nitrogen and phosphorus nutrients: a meta-analysis. *BMC Plant Biology*, 24(1), 960. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05638-9>

Yildirim, E., & Ekinci, M. (2022). *Vegetable Crops - Health Benefits and Cultivation* (E. Yildirim & M. Ekinci, Eds.). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95704>

Zaman, Q., Hamid, F. S., Islam, S., Ahmad, F., & Ahmad, N. (2018). Impact of Various Levels of Nitrogen and Phosphorus on Growth and Yield of Spinach (*Spinacea oleracea* L.) under Conditions of Mansehra (Pakistan). *Open Academic Journal of Advanced Science and Technology*, 2(1), 5–8. <https://doi.org/10.33094/5.2017.2018.21.5.8>

Zhang, S., Luo, P., Yang, J., Irfan, M., Dai, J., An, N., Li, N., & Han, X. (2021). Responses of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Diversity and Community to 41-Year Rotation Fertilization in Brown Soil Region of Northeast China. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.742651>

Zhu, B., Gao, T., Zhang, D., Ding, K., Li, C., & Ma, F. (2022). Functions of arbuscular mycorrhizal fungi in horticultural crops. In *Scientia Horticulturae* (Vol. 303). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111219>

## 7. Anexos

### Anexo 1. Convenio



## PRODUCTOS ECOLOGICOS PARA EL AGRO S.A.

Distribuidores Exclusivos de **ZEOLITA**  
Fertilizantes Orgánico-Minerales  
Asesoría Agrícola

### CARTA DE AUSPICIO Y AUTORIZACIÓN PUBLICACIÓN TRABAJO EXPERIMENTAL

Machachi, 13 de Mayo de 2024

Señora Doctora  
LAURA HUACHI E.  
TUTORA TRABAJO DE GRADUACIÓN DE LA UPS

Presente.-

De mi consideración:

Yo, Ing. Agr. Milton Freddy Armando Haro Álvarez, en mi calidad de Gerente General de PRODECOAGRO (Productos Ecológicos para el Agro), nos comprometemos a otorgar auspicio al señor Milton Andrés Haro Altamirano con C.I: 1726823949, para que realice su trabajo experimental, titulado: "Eficiencia de las micorrizas arbusculares como agente sinérgico del sistema radicular de la espinaca (*Spinacea oleracea*), para una mejor absorción de los fertilizantes de síntesis química", bajo el proyecto Producción de espinaca para exportación, a ser desarrollado por nuestra empresa en colaboración con Sociedad Civil de Hecho Agrícola Cayo Boyero, durante 6 meses bajo las siguientes condiciones:

- PRODECOAGRO apoyará al estudiante en la elaboración del Proyecto de investigación que cumpla los objetivos tanto de la empresa y sea avalado con las correcciones y dirección de tutor o tutores de la Universidad Politécnica Salesiana.
- PRODECOAGRO proporcionará al estudiante los recursos necesarios para la adquisición de los insumos requeridos para la elaboración del proyecto de investigación.
- PRODECOAGRO se compromete a presta todas las facilidades para que el estudiante se movilice al lugar de ejecución del experimento y colaborará con el recurso humano y materiales para su instalación y supervisión.
- PRODECOAGRO prestará colaboración con el estudiante y tutor (s), cuando sea requerido supervisión del experimento durante la fase de cultivo.
- Sociedad Civil de Hecho Agrícola Cayo Boyero, facilitará el campo, maquinaria, trabajadores, riegos, etc., para que en sus predios se ejecute el experimento.
- El estudiante se comprometerá a realizar la investigación aplicando todos sus conocimientos, investigaciones bibliográficas y, sobre todo, responsabilidad en las tareas que demanda el cultivo.
- El estudiante hará seguimiento del cultivo y tomará datos pertinentes por lo menos 1 (una) vez a la semana durante el ciclo.
- El estudiante proporcionará una copia de los resultados de la investigación y éstos podrán ser usados, en caso de ser positivos, en beneficio de la empresa.

Lasso, Panamericana Norte Km. 20 Barrio La Cienega  
Telefax: 032719367 / 095450397 / 098203128 e-mail:prodeco@pontonet.ec Lasso-Ecuador



## PRODUCTOS ECOLOGICOS PARA EL AGRO S.A.

Distribuidores Exclusivos de **ZEOLITA**  
Fertilizantes Orgánico-Minerales  
Asesoría Agrícola

Adicionalmente, al firmar el presente documento, AUTORIZO la posterior publicación del documento escrito final del trabajo experimental (según formato de la universidad), en el repositorio digital DSpace de la Universidad Politécnica Salesiana, y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación e investigación.

Atentamente:



Ing. Agr. Milton Freddy Armando Haro Álvarez  
**GERENTE GENERAL**  
PRODECOAGRO (Productos Ecológicos para el Agro)

Tel.: 0995450-397 / 0998203-128  
Mail: prodecoagro@andinanet.net

MHA/mch.

Lasso, Panamericana Norte Km. 20 Barrio La Cienega  
Telefax: 032719367 / 095450397 / 098203128 e-mail:prodeco@pontonet.ec Lasso-Ecuador

## Anexo 2. Procedimiento de muestreo de suelo para análisis fisicoquímicos

- Realizar el muestreo en cualquier época del año, siempre y cuando el muestreo se realice un mes después de la última aplicación superficial de fertilizantes.
- Limpiar la superficie del suelo a ser muestreado; se debe georreferenciar el área donde se tomarán las muestras, el área no debe ser mayor a 5 hectáreas, luego tomar de 20 a 25 submuestras, efectuando un recorrido en zig-zag.
- Cavar un hoyo con la ayuda de un azadón en forma de V con una profundidad de 20 cm.
- Realizar una tajada de suelo de 5 cm de grosor en una de las paredes del hoyo.
- Eliminar los extremos del bloque de suelo con un cuchillo, obteniendo una tajada de 5 cm de ancho
- Introducir las submuestras en un balde y homogenizar manualmente.
- Esparcir las submuestras sobre una superficie nivelada y realizar el proceso de cuarteo dejando alrededor de 1 kg de muestra representativa.
- Colocar la muestra obtenida en fundas plásticas herméticas con el fin de evitar la pérdida por humedad. El tiempo transcurrido entre la recolección de la muestra y el envío al laboratorio no debe superar los 15 días

Nota: Adaptado de Instructivo para análisis de suelos (Agrocalidad, 2018). Elaborado por: El autor, 2024.

### Anexo 3. Procedimientos de los análisis fisicoquímicos del suelo

Análisis	Metodologías
<p><b>Determinación del pH del suelo</b></p>	<p><b>Método:</b> EPA 9045 D</p> <p>Este procedimiento indica que se debe mezclar 20 mL de agua con 20 g de suelo en un vaso de precipitados de 50 mL, tapar y agitar durante 5 min. (Se pueden realizar diluciones en suelos higroscópicos).</p> <p>Posteriormente dejar reposar la suspensión de suelo durante 1 hora para que sedimente la mayor parte de la arcilla en suspensión, o filtre o centrifugue la fase acuosa para la medición del pH.</p> <p>Luego se ajustó los electrodos en las abrazaderas del portaelectrodos de forma que el electrodo de vidrio quede sumergido lo suficiente en la solución sobrenadante transparente para que haga un buen contacto eléctrico a través de la unión esmerilado-vidrio o del orificio fibra-capilar cuando se baje al vaso de precipitados. Finalmente introducir los electrodos en la solución de muestra. Registrar los resultados del pH del suelo (EPA, 2004).</p>
<p><b>Determinación de la conductividad eléctrica del suelo</b></p>	<p><b>Método:</b> SM 2510 B</p> <p>Las muestras fueron tomadas de recipientes que se llenarán directamente en la fuente hídrica en la sección media del ancho de la corriente. Para este proceso, se colocará la boca del recipiente a contracorriente, evitando generar turbulencia o alterar las condiciones naturales del agua.</p> <p>Se preparará un formato para la captura de datos. En el equipo de medición, se configurarán las unidades de conductividad y se ajustarán los parámetros. Para el análisis de muestras se transferirá una alícuota de la muestra perfectamente homogenizada a un vaso y se introducirá el electrodo, asegurándose de que la muestra esté a temperatura ambiente. Se esperará a que la lectura se estabilice y se registrarán los datos en el formato de captura correspondiente. El análisis incluirá también duplicados, y los resultados serán registrados. Finalmente se lavará el electrodo y la celda de medición, secándolos con cuidado mediante sacudidas suaves para eliminar las gotas (IDEAM, 2017a).</p>
<p><b>Determinación de Nitrato (NO<sub>3</sub>)</b></p>	<p><b>Método:</b> DIN-38405-D9-2 /ISO 7890-1</p> <p>Las muestras de laboratorio deben recogerse en viales de vidrio o plástico y analizarse lo más rápido posible. Mantener las muestras entre 2 y 5 °C. Antes de tomar la alícuota para el análisis, las muestras de laboratorio con materia en suspensión deben sedimentarse o filtrarse con papel de fibra de vidrio.</p> <p>Pipetear 35 mL de la mezcla en cada uno de una serie de seis matraces Erlenmeyer secos de 100 mL, utilizando una pipeta de seguridad. Pipetear 100 mL de las muestras en cada matraz. Pipetear en cada matraz 5 mL de</p>

	<p>solución de 2,6-dimetilfenol. Mezclar bien el contenido de los matraces agitando y dejar reposar entre 10 y 60 minutos.</p> <p>Medir la absorbancia de cada solución de calibración a 324 nm en una cubeta de 10 mm de longitud de paso, frente al agua en la cubeta de referencia (ISO, 1986).</p>
<p><b>Determinación de Amonio (NH<sub>4</sub>)</b></p>	<p><b>Método:</b> SM 4500-NH<sub>3</sub> D</p> <p>Hacer soluciones estándar de 1000, 100, 10, 1, y 0.1, o similares de una solución madre de NH<sub>4</sub>Cl. Calibrar los electrómetros poniendo 100 mL de cada solución patrón en un vaso de 150 mL. Insertar el electrodo en el estándar de menor concentración y agitar con un agitador magnético. Reducir la velocidad de agitación para reducir las fugas de amoníaco. Mantener la velocidad de agitación y la temperatura a 25°C durante toda la calibración y el ensayo. Aumentar el pH por encima de 11 con 1 mL de solución de NaOH 10N. Utilice NaOH/EDTA en lugar de NaOH si hay plata o mercurio. Si añade más de 1 mL de solución de NaOH o NaOH/EDTA, registre el volumen utilizado para futuros cálculos. Mantenga el electrodo en la solución hasta que la lectura de milivoltios se estabilice. La solución de NaOH puede perder amoníaco, por lo que no debe añadirse antes de sumergir el electrodo. Proceder de menor a mayor concentración usando los estándares restantes. Antes de registrar milivoltios para estándares y muestras con 1 mg NH<sub>3</sub>-N/L, espere 2-3 min para que la lectura se estabilice.</p> <p>Para la preparación de la curva estándar comenzar trazando la concentración de amoníaco en mg de NH<sub>3</sub>-N por L en el eje logarítmico y el potencial en milivoltios en el eje lineal en papel cuadrado semilogarítmico con la concentración más baja en la parte inferior. Un cambio de diez veces en la concentración de NH<sub>3</sub>-N causa un cambio de potencial de 59 mV si el electrodo funciona.</p> <p>Para la medición de la muestra, diluir NH<sub>3</sub>-N al rango de la curva de calibración. Llenar un vaso de 150 mL con 100 mL de muestra, sumergir los electrodos y realizar la lectura (NEMI, 1997b).</p>
<p><b>Determinación de Fosfato (PO<sub>4</sub>)</b></p>	<p><b>Método:</b> SM 4500-P C</p> <p>Se ajustará el pH de las muestras antes de iniciar los análisis. En caso de que el pH sea superior a 10, se añadirá 0.05 mL (1 gota) de indicador de fenolftaleína a 50.0 mL de muestra. Posteriormente, se descargará el color rojo empleando HCl 1 M y se diluirá el volumen total a 100 mL.</p> <p>Se eliminará el color de las muestras agitándolas en un matraz Erlenmeyer durante 5 minutos con 200 mg de carbón activado en 50 mL de solución. Luego, se procederá a filtrar para retirar el carbón. Antes del análisis, se</p>

	<p>verificará que cada lote de carbón activado esté libre de fosfato, ya que algunos lotes podrían generar valores altos en los blancos de reactivo.</p> <p>Se desarrollará el color de las muestras colocando 35 mL o menos de solución que contenga entre 0.05 y 1.0 mg de fósforo (P) en un matraz aforado de 50 mL. Se diluirán 10 mL de reactivo de vanadato-molibdato con agua destilada hasta completar la marca del matraz. Para establecer un blanco, se reemplazarán los 35 mL de muestra con 35 mL de agua destilada. Después de un tiempo de reacción de 10 min, se medirá la absorbancia de la muestra en comparación con el blanco a longitudes de onda entre 400 y 490 nm, según el nivel de sensibilidad requerido. La intensidad del color permanecerá estable durante varios días y no se verá afectada por la temperatura ambiente (NEMI, 1999).</p>
<b>Determinación de Potasio (K)</b>	<p><b>Método:</b> SM 3500-K B</p> <p>Primero se prepararán blancos y patrones de calibración de potasio con concentraciones escalonadas de 0 a 1.0, 10 o 100 mg/L. La intensidad de emisión se medirá a una longitud de onda de 766.5 nm. Se aspirarán los estándares de calibración y las muestras (35 mL) en suficientes repeticiones para obtener un promedio exacto. Los estándares de potasio se utilizarán para construir una curva de calibración, la cual servirá para calcular la concentración de sodio en las muestras. Dicha curva será lo suficientemente precisa para analizar múltiples muestras de manera eficiente (NEMI, 1997a).</p>
<b>Determinación de Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Zinc (Zn)</b>	<p><b>Método:</b> EPA 7000 B</p> <p>Se tratarán los residuos acuosos y sólidos presentes en las matrices de las muestras debido a su complejidad y variabilidad. Los sólidos, lodos y materiales en suspensión se solubilizarán antes de proceder al análisis, de acuerdo con el tipo de metales y muestra involucrados.</p> <p>Se analizarán los elementos objetivo utilizando patrones estándar. Se trazará una curva de calibración graficando las concentraciones estándar frente a las absorbancias obtenidas. Para instrumentos de lectura directa, se ajustará el corrector de curvas para obtener concentraciones precisas.</p> <p>Se aspirarán las muestras y se medirán las concentraciones directamente o empleando la curva de calibración. Durante el análisis de cada muestra o conjunto de muestras, se incluirán patrones estándar como referencia para garantizar la precisión del procedimiento (EPA, 2007).</p>
<b>Determinación de Sulfato (SO<sub>4</sub>)</b>	<p><b>Método:</b> SM 4500-SO<sub>4</sub> E</p> <p>Para la preparación de cada muestra se tomarán 10 mL de cada muestra, blanco de reactivo y estándar de control, asegurándose de que estén a temperatura ambiente. Se añadirán 2 mL de la solución tampón correspondiente: Tampón A: Para concentraciones <math>\geq 10</math> mg/L., Tampón B:</p>

	<p>Para concentraciones <math>\leq 10</math> mg/L (La solución se homogenizará agitando suavemente).</p> <p>Para la lectura inicial se verterá la mezcla en una celda del turbidímetro, que será limpiada y secada antes de realizar la lectura inicial. Los datos se registrarán, y la solución se devolverá al tubo de ensayo.</p> <p>Se añadirá una cucharada (0.2-0.3 mL) de cristales de <math>\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}</math> a la mezcla. Inmediatamente se comenzará a cronometrar y se agitará durante <math>60 \pm 2</math> segundos a velocidad constante. La solución se dejará reposar por <math>5 \pm 0.5</math> minutos. Se transferirá la mezcla nuevamente a la celda del turbidímetro. Se medirá la turbidez final y los valores serán registrados. Se determinará la concentración de sulfatos comparando los valores de turbidez con la curva de calibración. Si la turbidez supera el rango de calibración, se diluirá la muestra y se repetirá el análisis (IDEAM, 2020).</p>
<p><b>Determinación de Sodio (Na)</b></p>	<p><b>Método:</b> SM 3500-Na B</p> <p>Primero se preparará un blanco y estándares de calibración de sodio en rangos aplicables: 0 a 1.0, 0 a 10, o 0 a 100 mg/L. Se medirá la intensidad de emisión a 589 nm. Los estándares de calibración y las muestras serán aspirados repetidamente para obtener un promedio confiable. A partir de los estándares de sodio, se construirá una curva de calibración. Se determinará la concentración de sodio en las muestras utilizando esta curva. Para análisis rutinarios de muchas muestras, la curva de calibración garantizará precisión adecuada. Si se requiere mayor exactitud y menor sesgo, y se dispone de tiempo, se empleará el método de encuadre descrito a continuación.</p> <p>Se seleccionarán y prepararán estándares de sodio a partir de la curva de calibración, de forma que rodeen inmediatamente la intensidad de emisión de la muestra (uno ligeramente menor y otro ligeramente mayor). Se medirán las intensidades de emisión de los estándares de encuadre y de la muestra de manera casi simultánea. Las mediciones se repetirán tanto para los estándares como para la muestra. La concentración de sodio se calculará utilizando la ecuación descrita a continuación y se promediarán los resultados obtenidos (EPA, 2011).</p>

	$\text{mg Na/L} = \left[ \frac{(B - A)(s - a)}{(b - a)} + A \right] D$ <p>where:</p> <p><i>B</i> = mg Na/L in upper bracketing standard,  <i>A</i> = mg Na/L in lower bracketing standard,  <i>b</i> = emission intensity of upper bracketing standard,  <i>a</i> = emission intensity of lower bracketing standard,  <i>s</i> = emission intensity of sample, and  <i>D</i> = dilution ratio</p> $= \frac{\text{mL sample} + \text{mL water}}{\text{mL sample}}$ <p>Fuente: (EPA, 2011)</p>
<p><b>Determinación de Cloruro (Cl)</b></p>	<p><b>Método:</b> SM 4500-Cl G/SM-450-CL-D Método Potenciométrico</p> <p>Primero seleccionará un volumen de muestra que no requiera más de 2 mL de titrante de óxido de fenilarsina. Para concentraciones de cloro de 2 mg/L o menos, se tomará una muestra de 200 mL; para concentraciones superiores a 2 mg/L, se utilizarán 100 mL o una cantidad proporcionalmente menor.</p> <p>Se ajustará el pH de la muestra, si no se conoce que esté entre 6.5 y 7.5, añadiendo 1 mL de solución amortiguadora de fosfato pH 7 para alcanzar un pH de entre 6.5 y 7.5. Se titulará con el titrante estándar de óxido de fenilarsina, observando los cambios de corriente en un microamperímetro. Se agregará el titrante en incrementos cada vez más pequeños hasta que se detenga el movimiento de la aguja. Se realizarán lecturas sucesivas de la bureta cuando la aguja se mueva lentamente, indicando que se está cerca del punto final. Se restará el último incremento que no cause respuesta en la aguja debido a una sobre-titulación (EPA, 2020).</p>
<p><b>Determinación de Boro (B)</b></p>	<p><b>Método:</b> DIN-38405-D17</p> <p>Primero se tomará una muestra representativa del agua que se desea analizar. Si la muestra contiene partículas suspendidas, se filtrará a través de un filtro de membrana de 0.45 µm para obtener un líquido claro y libre de sólidos.</p> <p>Se preparará la solución de Azometina-H según las especificaciones del fabricante, ya que esta solución será clave para la formación del complejo borato. Se ajustará el pH de la muestra a un valor adecuado (usualmente entre 8 y 9) utilizando ácido clorhídrico (HCl) o hidróxido de sodio (NaOH), dependiendo de la necesidad de la muestra.</p> <p>Se añadirá la cantidad requerida de la solución de Azometina-H a la muestra filtrada. La cantidad exacta dependerá de la concentración esperada de borato en la muestra.</p>

	<p>Se permitirá que la reacción ocurra durante unos minutos para que el complejo borato-Azometina-H se forme. La formación del complejo generará un cambio en la coloración de la solución, típicamente de color amarillo. Se utilizará un espectrofotómetro para medir la absorbancia de la solución a la longitud de onda específica (generalmente 420 nm).</p> <p>Se realizará una calibración del espectrofotómetro utilizando soluciones estándar de borato. Se prepararán diferentes concentraciones conocidas de borato para obtener una curva de calibración que relacione la absorbancia con la concentración de borato. Se comparará la absorbancia de la muestra con la curva de calibración para determinar la concentración de borato en la muestra (DIN, 1981).</p>
<p><b>Determinación de Molibdeno (Mo), Silicio (Si), Aluminio (Al)</b></p>	<p><b>Método:</b> EPA 7010</p> <p>Cuando se utilice la técnica de horno en combinación con un espectrofotómetro de absorción atómica, se colocará una alícuota representativa de la muestra en el tubo de grafito del horno, se evaporará hasta secarse, se carbonizará y luego se atomizará. Al aumentar el porcentaje de átomos de analito disponibles que se vaporizarán y disociarán para su absorción en el tubo, en lugar de en la llama, se permitirá el uso de volúmenes más pequeños de muestra o la detección de concentraciones más bajas de elementos.</p> <p>El principio será básicamente el mismo que con la aspiración directa en la absorción atómica, salvo que se usará un horno en lugar de una llama para atomizar la muestra. La radiación de un elemento excitado pasará a través del vapor que contendrá átomos en estado fundamental de ese elemento. La intensidad de la radiación transmitida disminuirá en proporción a la cantidad de átomos del elemento en su estado fundamental en el vapor.</p> <p>Los átomos metálicos a medir se colocarán en el haz de radiación al aumentar la temperatura del horno, lo que provocará que la muestra inyectada se volatilice. Un monocromador aislará la radiación característica de la lámpara de cátodo hueco o de la lámpara de descarga sin electrodos, y un dispositivo fotosensible medirá la radiación transmitida atenuada (EPA, 1998).</p>
<p><b>Determinación de Bicarbonatos (HCO<sub>3</sub>)</b></p>	<p><b>Método:</b> SM 2320 B</p> <p>Se usarán botellas de vidrio borosilicato o polietileno para recolectar las muestras. Estas serán llenadas completamente y cerradas de manera hermética, almacenándolas a baja temperatura. El análisis de las muestras se llevará a cabo dentro de las 24 horas si el pH supera 8.3, para evitar alteraciones por procesos microbiológicos o cambios en los niveles de CO<sub>2</sub> y otros gases al estar expuestas al aire.</p>

	<p>Al preparar la bureta digital, se cargará con solución de ácido sulfúrico 0.02 N y se realizarán recirculaciones para eliminar burbujas del émbolo. Entre muestras, se borrará la lectura en pantalla y se rellenará el émbolo.</p> <p>Los volúmenes de muestra se seleccionarán según la alcalinidad: Para alcalinidad menor a 50 mg/L: 100 mL., Para alcalinidad entre 50 y 100 mg/L: 50 mL., Para alcalinidad mayor a 100 mg/L: 50 o 25 mL, asegurando la inmersión adecuada del electrodo.</p> <p>Durante la titulación, se titulará la muestra hasta alcanzar un pH de 8.3. A medida que el pH se aproxime a este valor, se realizarán adiciones pequeñas de ácido, permitiendo la estabilización antes de añadir más titulante. El volumen de ácido gastado a pH 8.3 se registrará para calcular carbonatos e hidróxidos.</p> <p>La titulación continuará hasta llegar a un pH de 4.5, agregando ácido en cantidades menores a medida que se acerque al valor final. El volumen de ácido utilizado a pH 4.5 será registrado para cálculos posteriores (IDEAM, 2017b).</p>
<p><b>Determinación de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)</b></p>	<p><b>Método:</b> EPA 9081</p> <p>Se pesarán 4 g de suelo de textura fina o media, o 6 g de suelo grueso, y se colocará la muestra en un tubo de centrífuga de 50 mL con fondo redondeado y cuello estrecho. Se considerará suelo fino si más del 50% de las partículas son menores a 0.074 mm, suelo medio si más del 50% son menores a 0.425 mm, y suelo grueso si más del 50% de las partículas superan los 2 mm.</p> <p>Se añadirán 33 mL de solución de NaOAc 1.0 N al tubo, se cerrará y se agitará en un agitador mecánico durante 5 minutos. Luego, se centrifugará hasta obtener un sobrenadante claro. Se decantará el líquido y se repetirá este procedimiento tres veces más.</p> <p>Se añadirán 33 mL de alcohol isopropílico al 99%, se cerrará el tubo, se agitará en un agitador mecánico durante 5 minutos y se centrifugará hasta obtener un sobrenadante claro. Repetir dos veces más este proceso.</p> <p>Se añadirá 33 mL de solución de NH<sub>4</sub>OAc al tubo, se cerrará y se agitará en un agitador mecánico por 5 minutos. Luego, se centrifugará hasta obtener un sobrenadante claro. El líquido se decantará en un matraz volumétrico de 100 mL. El líquido decantado se diluirá hasta la marca de 100 mL con solución de acetato de amonio. Finalmente, se medirá la concentración de sodio utilizando espectrometría de absorción atómica, espectrometría de emisión o un método equivalente (EPA, 1986).</p>

Nota: Adaptado de métodos estándar para análisis de aguas residuales. Elaborado por: El autor, 2024.

## Anexo 4. Resultados de los análisis fisicoquímicos del suelo

### 3.A. Antes de la siembra



Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

Agrarprojekt S.A.  
Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito  
Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148  
info@agrarprojekt.com  
www.agrarprojekt.com

### RESULTADOS

Código Agrarprojekt: ACY-051023

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS			
Tipo de Muestra:	Suelo		
Cultivo:	Pastos		
Número de Muestra:	# 1	# 2	# 3
Información Proporcionada por el Cliente:	Muestra # 1, Muestra Parte Baja, Caseta Pivote 1 y San José Acequia	Muestra # 2, Parte Alta, San Carlos 2 y Santa Lucía	Parte Media

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

Análisis	Unidad	*Método de Extracción	*Niveles Óptimos para Pastos - Cultivo Intensivo	Resultado	Resultado	Resultado	
Características del Suelo	Materia Orgánica	%	-	5 - 15	6,3	3,8	4,5
	% de Saturación de Bases	%	-	> 65	56 % (Calificación: moderado en bases)	54 % (Calificación: moderado en bases)	60 % (Calificación: moderado en bases)
	Distribución de Bases en el % de Saturación	%	-	-	Ca: 37 %, Mg: 13 %, K: 4 %, Na: 2 %	Ca: 40 %, Mg: 11 %, K: 2 %, Na: 1 %	Ca: 44 %, Mg: 12 %, K: 3 %, Na: 1 %
	**Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	meq/100g	-	> 15	10,7	9,0	8,1
	Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0,2 - 0,5	0,26	0,17	0,34
	pH (en H <sub>2</sub> O)	-	Vol. 1:2	-	7,7	7,5	7,0
	pH (en KCl)	-	Vol. 1:2	5,5 - 7,5	6,7	6,5	6,2
Macronutrientes	Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	mg/kg	Extracto Agua	-	18,2	12,0	34,9
	Amonio (NH <sub>4</sub> -N)	mg/kg	NaCl 0.05 M	-	7,1	5,9	5,8
	(NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> )-N	mg/kg	-	30 - 50	25,3	17,9	40,7
	Fósforo (P)	mg/kg	NaHCO <sub>3</sub> 0.5M	20 - 35	33,3	20,1	42,0
	Potasio (K)	mg/kg	NaCl 0.05 M	125 - 250	148	64,5	106
	Magnesio (Mg)	mg/kg	NaCl 0.05 M	45 - 90	130	96,0	97,5
	Calcio (Ca)	mg/kg	NaCl 0.05 M	400 - 1200	318	302	311
Azufre (SO <sub>4</sub> -S)	mg/kg	Extracto Agua	10 - 20	11,3	6,9	8,7	
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	20 - 50	179	131	117
	Manganeso ( Mn)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	4 - 20	8,7	11,4	6,3
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	1,3 - 5,0	2,6	2,0	1,4
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	2,5 - 10	7,7	8,0	7,1
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0,15 - 0,60	0,44	0,31	0,32
Peligro de Salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	< 140	36,5	21,0	26,0
	Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/kg	Extracto Agua	< 210	14,7	5,8	16,4
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	< 2000	220	138	282

\* Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp.

\*\* CIC-Potencial, utilizando Acetato de Amonio 1M pH= 7,0

- = No Aplica

**Nota:** - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.

- La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.

- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.

- Prohibida la reproducción total o parcial de los resultados. No procede copia.

Agrarprojekt S.A.  
Dr. Karl Sponagel  
Director del Laboratorio

### 3.B. Después de la cosecha



Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

Agrarprojekt S.A.  
Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito  
Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148  
info@agrارprojekt.com  
www.agrarprojekt.com

## RESULTADOS

Código Agrarprojekt:

MAH-261124

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS	
Información Adicional:	Hcda. Cayo Boyera, Dirección: Mulaló- Cotopaxi, Fecha: 17-09-24
Tipo de Muestra:	Suelo
Cultivo:	Espinaca
Número de Muestra:	# 1
Información Proporcionada por el Cliente:	Lote 26

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

Análisis	Unidad	*Método de Extracción	*Niveles Óptimos para Espinaca - Cultivo Intensivo	Resultado	
Materia Orgánica	%	-	3 - 10	4,0	
	Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0,3 - 0,8	0,61
	pH (en H <sub>2</sub> O)	-	Vol. 1:2	-	6,4
	pH (en KCl)	-	Vol. 1:2	6,0 - 7,2	6,0
Macronutrientes	Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	mg/kg	Extracto Agua	-	38,6
	Amonio (NH <sub>4</sub> -N)	mg/kg	NaCl 0,05 M	-	1,9
	(NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> )-N	mg/kg	-	35 - 60	40,5
	Fósforo (P)	mg/kg	NaHCO <sub>3</sub> 0,5M	35 - 55	80,8
	Potasio (K)	mg/kg	NaCl 0,05 M	140 - 320	235
	Magnesio (Mg)	mg/kg	NaCl 0,05 M	45 - 120	116
	Calcio (Ca)	mg/kg	NaCl 0,05 M	350 - 800	415
Azufre (SO <sub>4</sub> -S)	mg/kg	Extracto Agua	12 - 20	58,1	
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	25 - 50	73,5
	Manganeso ( Mn)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	6 - 30	9,8
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	0,8 - 4,0	2,0
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	1,2 - 6,0	8,0
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0,15 - 1,20	1,9
Peligro de Salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	< 140	40,7
	Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/kg	Extracto Agua	< 210	47,7
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	< 2000	509

\* Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp.

- = No Aplica

**Nota:** - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.

- La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
- Prohibida la reproducción total o parcial de los resultados. No procede copia.

Agrarprojekt S.A.  
Dr. Karl Sponagel  
Director del Laboratorio

## Anexo 5. Fotografías del ensayo

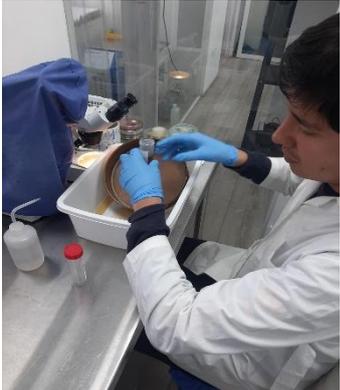
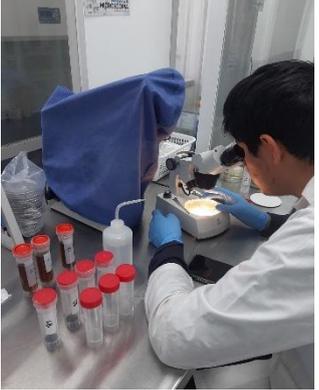
### 4.A. Fase de campo

		
<p>a. Elaboración de camas</p>	<p>b. Siembra directa con sembradora neumática SUTTON AG en 6 hileras</p>	<p>c. Aplicación de fertilizante y micorrizas al voleo</p>
		
<p>d. Análisis a las 4 semanas después de la siembra</p>	<p>e. Análisis a las 6 semanas después de la siembra</p>	<p>f. Análisis a las 8 semanas después de la siembra</p>
		
<p>g. Análisis a las 8 semanas después de la siembra</p>	<p>h. Pesaje en balanza electrónica al momento de la cosecha</p>	

Nota: La elaboración de camas se realizó una semana antes de la siembra. La aplicación de fertilizante y micorrizas se realizó a las 3 semanas después de la siembra.

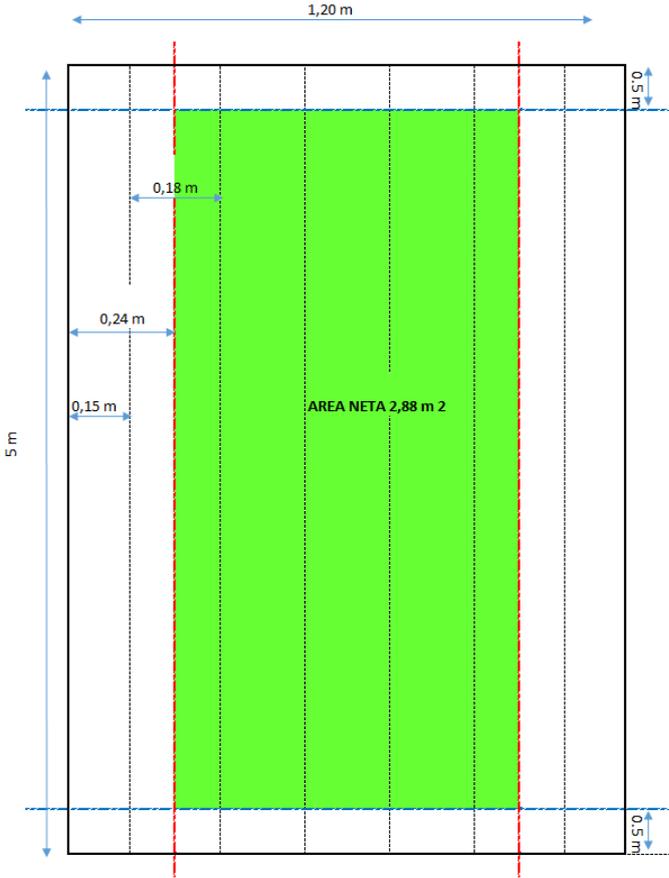
Elaborado por: (El autor, 2024)

#### 4.B. Fase de laboratorio. Aislamiento de las esporas de micorrizas.

 A person wearing blue gloves is using a spatula to mix a dark brown soil sample in a white tray. A digital scale and several small white plastic cups are visible on the lab bench.	 A digital scale is used to weigh soil samples into four white plastic cups. The scale is on a lab bench with other equipment.	 A person in blue gloves is pouring a liquid suspension from a glass beaker through a stack of sieves into a white bucket.
<p>a. Homogenización de la muestra</p>	<p>b. Pesaje 10 g de 4 muestras</p>	<p>c. Decantación sobre tamices</p>
 A person in blue gloves is pouring a dark liquid from a sieve into a clear plastic Falcon tube.	 A person is using a pipette to transfer liquid into several small vials with red caps. A bottle of sucrose is also visible.	 A centrifuge rotor is shown with four tubes in purple holders. The rotor is black and has safety instructions printed on it.
<p>d. Recolección en tubo Falcon de 50 mL</p>	<p>e. Preparación de una solución de sacarosa al 80%</p>	<p>f. Centrifugación durante 5 minutos a 3500 rpm</p>
 A person in a white lab coat and blue gloves is decanting the contents of a tube through a sieve into a white tray.	 A person in a white lab coat and blue gloves is using a pipette to transfer liquid into a Petri dish. Several vials are visible on the bench.	 A Petri dish containing a yellowish agar medium with several dark brown spots and fine, branching structures, representing different morphotypes of mycorrhizal spores.
<p>g. Decantación de cada tubo sobre tamiz de 45 µm</p>	<p>h. Transferencia a placa Petri con cuadrícula dibujada en la parte inferior para su cuantificación</p>	<p>i) Visualización de morfotipos</p>

Elaborado por: (El autor, 2024)

Anexo 6. Diseño de la parcela neta



Nota: La evaluación de las variables se realizó en 10 plantas seleccionadas al azar dentro de la parcela neta  
Elaborado por: (El autor, 2024)

## Anexo 7. Análisis de presupuesto parcial

### 6.A. Descripción del análisis de presupuesto parcial

El análisis de presupuesto parcial es una herramienta que permite determinar el impacto de un cambio en la rentabilidad de una empresa o negocio agrícola. Se utiliza para calcular el efecto financiero de una inversión propuesta, y para predecir los resultados que se obtendrán. Se basa en un formato de planificación y toma de decisiones que comparan los costos y beneficios de las alternativas que enfrenta un negocio. Se centra en los cambios en los ingresos y gastos que se derivarían de la implementación de una alternativa específica. Algunas de las ventajas de análisis de presupuesto parcial son:

- Es más rápido de elaborar que un presupuesto de toda la explotación.
- Permite ignorar todos los aspectos de las ganancias que no hayan sido modificados por la decisión.
- Representa una ventaja importante en virtud de la menor cantidad de información económica necesaria para llegar a conclusiones relevantes.

El análisis económico de Perrin et al., es un método que se utiliza para calcular la Tasa de Retorno Marginal (TRM). Este método se basa en el cálculo de un presupuesto parcial, análisis de dominancia y análisis marginal.

La metodología considera que hay diferencias entre los resultados que se extraen de unidades experimentales y los que se obtienen en el campo, a nivel de explotación agrícola propiamente dicha, por tanto, es menester que los rendimientos se “ajusten hacia abajo”. En general es adecuado un ajuste total que va del 5 al 30%. Un ajuste del rendimiento mayor que el 30% indicaría que las condiciones experimentales fueron muy distintas a la realidad, cosa que no sucede, pues los ensayos experimentales se los realizan para mejorar o innovar algún detalle en la metodología del cultivo y no difiere mayormente. Para la presente investigación se consideró conveniente ajustar los rendimientos restándole el 20% al rendimiento bruto.

Nota: Adaptado de análisis de presupuesto parcial (Perrin et al., 1983). Elaborado por: (El autor,2024).

6.B. Análisis de dominancia de los tratamientos

TRATAMIENTO	COSTO QUE VARÍA US\$	BENEFICIO NETO US\$	DOMINANCIA
T7	147.60	16064.88	ND
T8	180.42	16109.63	ND
T4	196.80	16113.73	ND
T9	210.42	16669.45	ND
T5	229.62	16158.73	D
T1	246.00	16437.52	D
T6	259.62	16158.43	D
T2	278.82	17229.02	ND
	308.82	17081.26	D

Elaborado por: (El autor,2024).

6.C. Análisis marginal de tratamientos no dominados

TRATAMIENTOS	COSTOS QUE VARÍAN US\$	COSTOS MARGINALES US\$	BENEFICIO NETO US\$	BENEFICIO NETO MARGINAL US\$	TRM %
T7	147.60		16064.88		
		32.82		44.75	136.35
T8	180.42		16109.63		
		16.38		4.10	25.03
T4	196.80		16113.73		
		13.62		555.72	4080.18
T9	210.42		16669.45		
		68.40		559.57	818.08
T2	278.82		17229.02		

Elaborado por: (El autor,2024).

6.D. Análisis marginal entre el testigo comercial y el mejor tratamiento

TRATAMIENTOS	COSTOS QUE VARÍAN US\$	COSTOS MARGINALES US\$	BENEFICIO NETO US\$	BENEFICIO NETO MARGINAL US\$	TRM %
T1	246.00		16437.52		
		32.82		791.50	2411.64
T2	278.82		17229.02		

Elaborado por: (El autor,2024).



Anexo 8. Valores promedios obtenidos en campo de las variables de estudio

7.A. Altura de planta a las 4, 6, 8 y 10 semanas después de la siembra

Tratamientos	4 S.D.S				6 S.D.S				8 S.D.S				10 S.D.S			
	R1 (cm)	R2 (cm)	R3 (cm)	Prom (cm)												
T1	6.59	6.60	6.60	6.60	19,66	19,07	19,05	19,26	35,68	35,23	34,40	35,10	52,20	52,20	49,83	51,41
T2	7.17	7.15	7.19	7.17	23,38	22,82	21,83	22,68	35,94	36,65	36,00	36,20	51,40	51,50	48,76	50,55
T3	6.70	6.65	6.64	6.66	22,65	21,70	21,00	21,78	36,88	36,55	35,75	36,39	50,20	51,40	50,78	50,79
T4	7.25	7.29	7.32	7.29	21,30	20,35	20,51	20,72	36,85	35,22	36,55	36,21	49,40	51,40	51,00	50,60
T5	7.20	7.31	7.30	7.27	21,36	20,90	21,35	21,20	36,23	35,79	35,93	35,98	48,78	49,40	49,40	49,19
T6	6.75	6.80	6.71	6.75	21,25	21,56	20,45	21,09	35,66	35,80	35,28	35,58	47,30	46,40	46,63	46,78
T7	6.70	6.74	6.90	6.78	21,28	20,64	20,45	20,79	35,67	35,08	35,90	35,55	46,60	48,20	47,80	47,53
T8	6.60	6.53	6.70	6.61	20,83	20,67	19,89	20,46	35,07	35,92	35,55	35,51	48,30	49,00	48,40	48,57
T9	7.20	7.28	7.29	7.26	21,45	21,05	21,93	21,48	34,87	35,15	36,40	35,47	47,80	48,96	47,84	48,20

Elaborado por: (El autor, 2024)

7.B. Número de hojas por planta a las 4, 6, 8 y 10 semanas después de la siembra

Tratamientos	4 S.D.S				6 S.D.S				8 S.D.S				10 S.D.S			
	R1 (cm)	R2 (cm)	R3 (cm)	Prom (cm)												
T1	5,80	5,80	5,80	5,80	10,70	8,50	8,40	9,20	10,80	10,80	10,80	10,80	13,00	13,00	12,00	12,67
T2	5,90	5,90	5,80	5,87	10,10	9,50	9,00	9,53	10,80	10,70	10,70	10,73	13,00	12,00	12,00	12,33
T3	5,80	5,80	5,60	5,73	9,70	9,70	8,80	9,40	10,70	10,70	10,50	10,63	12,80	12,60	12,60	12,67
T4	5,80	5,70	5,80	5,77	9,50	9,50	9,40	9,47	10,90	10,90	10,90	10,90	12,50	12,20	12,00	12,23
T5	5,50	5,50	5,50	5,50	9,80	8,40	9,60	9,27	10,70	10,70	10,70	10,70	12,60	12,80	12,00	12,47
T6	5,70	5,70	5,50	5,63	10,20	9,60	9,00	9,60	10,50	10,40	10,40	10,43	12,60	12,00	12,00	12,20
T7	5,80	5,80	5,60	5,73	10,50	10,10	8,20	9,60	10,70	10,70	10,50	10,63	12,00	11,60	11,60	11,73
T8	5,50	5,60	5,70	5,60	9,70	9,90	8,80	9,47	10,80	10,80	10,70	10,77	12,60	11,80	11,60	12,00
T9	5,60	5,70	5,60	5,63	10,40	8,40	9,10	9,30	10,50	10,60	10,50	10,53	12,00	12,00	11,60	11,87

Elaborado por: (El autor, 2024)

7.C. Longitud de las hojas a las 4, 6, 8 y 10 semanas después de la siembra

Tratamientos	4 S.D.S				6 S.D.S				8 S.D.S				10 S.D.S			
	R1 (cm)	R2 (cm)	R3 (cm)	Prom (cm)												
T1	5,15	5,39	5,87	5,47	11,22	11,14	11,10	11,15	14,98	14,77	15,00	14,92	19,18	19,54	19,00	19,24
T2	5,20	5,20	5,30	5,23	11,50	11,52	11,29	11,44	14,83	15,05	15,00	14,96	18,00	18,30	18,02	18,11
T3	4,60	4,64	4,59	4,61	11,50	11,65	11,13	11,43	15,43	15,40	15,64	15,49	18,90	18,52	18,50	18,64
T4	5,00	4,97	5,11	5,03	11,51	11,26	11,15	11,31	15,35	15,11	15,15	15,20	18,40	18,62	18,60	18,54
T5	5,19	5,11	5,11	5,14	11,70	11,15	11,60	11,48	15,81	16,04	16,29	16,05	18,46	18,38	18,98	18,61
T6	4,65	4,60	4,52	4,59	11,44	11,64	11,17	11,42	15,15	15,22	15,26	15,21	17,80	17,47	18,00	17,76
T7	5,15	5,16	5,11	5,14	11,37	11,26	11,29	11,31	15,89	15,62	15,95	15,82	18,46	18,38	18,70	18,51
T8	4,39	4,36	4,47	4,41	10,95	11,02	10,42	10,80	14,84	14,71	14,95	14,83	18,00	17,56	18,20	17,92
T9	5,02	4,92	4,98	4,97	11,40	11,23	11,36	11,33	15,27	14,87	15,00	15,05	18,30	17,76	17,98	18,01

Elaborado por: (El autor, 2024)

7.E. Grosor de tallos centrales a las 4, 6, 8 y 10 semanas después de la siembra

Tratamientos	4 S.D.S				6 S.D.S				8 S.D.S				10 S.D.S			
	R1 (cm)	R2 (cm)	R3 (cm)	Prom (cm)												
T1	2,30	2,41	2,38	2,36	4,30	4,07	3,68	4,02	6,31	6,36	6,23	6,30	8,20	8,28	8,14	8,21
T2	2,40	2,41	2,31	2,37	4,10	4,16	4,14	4,13	6,20	6,32	6,34	6,29	7,84	7,92	7,72	7,83
T3	2,14	2,15	2,12	2,14	3,82	3,83	3,81	3,82	6,99	7,00	7,07	7,02	7,70	7,70	7,76	7,72
T4	2,45	2,51	2,46	2,47	4,21	4,27	4,25	4,24	6,65	6,54	6,53	6,57	7,90	8,00	8,00	7,97
T5	2,46	2,47	2,47	2,47	4,53	4,54	4,53	4,53	6,63	6,71	6,75	6,70	7,50	7,70	7,66	7,62
T6	2,03	2,04	1,90	1,99	4,24	4,26	4,19	4,23	6,65	6,71	6,67	6,68	7,56	7,62	7,66	7,61
T7	2,26	2,24	2,16	2,22	3,92	3,98	3,88	3,93	6,58	6,43	6,63	6,55	7,58	7,64	7,66	7,63
T8	2,32	2,34	2,31	2,32	4,44	4,42	4,42	4,43	6,46	6,30	6,44	6,40	7,17	7,20	7,28	7,22
T9	2,24	2,25	2,23	2,24	4,09	4,12	4,08	4,10	6,17	6,16	6,16	6,16	7,50	7,50	7,48	7,49

Elaborado por: (El autor, 2024)

## 7.F. Rendimiento en t/ha

TRATAMIENTOS	R 1 (t)	R 2(t)	R 3(t)	SUMANTORIA	PROMEDIO (t)
T1	67,05	65,90	62,56	195,51	65,17
T2	66,59	68,77	69,81	205,17	68,39
T3	68,77	68,43	66,59	203,79	67,93
T4	63,60	63,83	63,71	191,14	63,71
T5	64,63	63,71	63,71	192,05	64,02
T6	63,60	64,17	64,63	192,40	64,13
T7	63,83	64,06	62,10	189,99	63,33
T8	63,02	63,48	64,40	190,90	63,63
T9	65,32	65,90	66,59	197,81	65,94

Elaborado por: (El autor, 2024)