

## ARTICULO - DANIELA RUBIO2.docx

 My Files My Files Universidad Peruana Union

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:514836799

Fecha de entrega

18 oct 2025, 7:40 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

18 oct 2025, 9:27 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

ARTICULO - DANIELA RUBIO2.docx

Tamaño del archivo

700.4 KB

20 páginas

8025 palabras

45.929 caracteres

# 11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

## Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

## Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

### Fuentes principales

- 8% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

|    |                     |                                                                                  |     |
|----|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1  | Trabajos entregados | Universidad TecMilenio on 2024-10-17                                             | 1%  |
| 2  | Internet            | www.researchgate.net                                                             | <1% |
| 3  | Trabajos entregados | Universidad Estatal Amazonica- on 2025-02-17                                     | <1% |
| 4  | Internet            | www.coursehero.com                                                               | <1% |
| 5  | Trabajos entregados | Universidad Católica de Santa María on 2025-10-10                                | <1% |
| 6  | Internet            | www.dspace.uce.edu.ec                                                            | <1% |
| 7  | Internet            | repositorio.unc.edu.pe                                                           | <1% |
| 8  | Internet            | hal.science                                                                      | <1% |
| 9  | Internet            | revistadigital.uce.edu.ec                                                        | <1% |
| 10 | Trabajos entregados | Costa Rica Institute of Technology on 2025-06-19                                 | <1% |
| 11 | Publicación         | #N/A. "PMR de la Municipalidad Distrital Independencia 2017-IGA0003903", Orde... | <1% |

|    |                     |                                                          |     |
|----|---------------------|----------------------------------------------------------|-----|
| 12 | Trabajos entregados | Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2024-11-04 | <1% |
| 13 | Internet            | dspace.ups.edu.ec                                        | <1% |
| 14 | Internet            | faz.ujed.mx                                              | <1% |
| 15 | Internet            | ojs.revistagesec.org.br                                  | <1% |
| 16 | Internet            | www.sabiia.cnptia.embrapa.br                             | <1% |
| 17 | Internet            | livrosdeamor.com.br                                      | <1% |
| 18 | Trabajos entregados | Universidad Nacional Agraria de la Selva on 2025-08-14   | <1% |
| 19 | Internet            | colposdigital.colpos.mx:8080                             | <1% |
| 20 | Internet            | gestion-repo.undc.edu.pe                                 | <1% |
| 21 | Internet            | patents.google.com                                       | <1% |
| 22 | Internet            | alicia.concytec.gob.pe                                   | <1% |
| 23 | Internet            | irriga.fca.unesp.br                                      | <1% |
| 24 | Internet            | repository.unad.edu.co                                   | <1% |
| 25 | Internet            | www.scielo.br                                            | <1% |

|    |                     |                                                                                        |     |
|----|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 26 | Trabajos entregados | Colegio Salcantay on 2025-08-22                                                        | <1% |
| 27 | Trabajos entregados | Servizo de Xestión de Estudos de Posgrao on 2025-10-01                                 | <1% |
| 28 | Trabajos entregados | Universidad Estatal Amazonica- on 2025-09-19                                           | <1% |
| 29 | Trabajos entregados | Universidad Europea de Madrid on 2022-03-25                                            | <1% |
| 30 | Internet            | docs.google.com                                                                        | <1% |
| 31 | Internet            | www.fmcn.org                                                                           | <1% |
| 32 | Internet            | www.foyel.com                                                                          | <1% |
| 33 | Internet            | www.slideshare.net                                                                     | <1% |
| 34 | Internet            | www.urn.uson.mx                                                                        | <1% |
| 35 | Trabajos entregados | Agronomski fakultet / Faculty of Agriculture                                           | <1% |
| 36 | Publicación         | Javier Gerardo Zuzunaga Rosas. "Evaluación del producto bioestimulante BALOX ...       | <1% |
| 37 | Publicación         | R. Zurita, A. Cadenillas, M. Gallardo. "Influence of Rhizobium and Mycorrhizae in t... | <1% |
| 38 | Trabajos entregados | Universidad Nacional de Cajamarca on 2025-09-22                                        | <1% |
| 39 | Trabajos entregados | Universidad Nacional de Colombia on 2016-09-14                                         | <1% |

|    |          |                                  |     |
|----|----------|----------------------------------|-----|
| 40 | Internet | issuu.com                        | <1% |
| 41 | Internet | repositorio.ucundinamarca.edu.co | <1% |
| 42 | Internet | repositorio.ucv.edu.pe           | <1% |
| 43 | Internet | repositorioacademico.upc.edu.pe  | <1% |
| 44 | Internet | sedici.unlp.edu.ar               | <1% |
| 45 | Internet | www.przetargi.info               | <1% |
| 46 | Internet | www.spps.org                     | <1% |
| 47 | Internet | www.teses.usp.br                 | <1% |
| 48 | Internet | www.yumpu.com                    | <1% |

# Biofertilización con hongos micorrízicos en suelos de las plántulas *Catharanthus roseus* (Chavelitas) en el Vivero Municipal del Distrito de Independencia, Lima-2024

Rubio Dávila, Daniela<sup>1</sup> Hugo Fernandez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Lima, Perú.

## RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de diferentes concentraciones de hongos micorrízicos arbusculares sobre las propiedades físico-químicas del suelo en el cultivo de *Catharanthus roseus* (Chavelitas) en el Vivero Municipal del distrito de Independencia; donde se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones, aplicando dosis del biofertilizante al 100 %, 75 %, 50 %, 25 % y 0 %; donde las variables analizadas incluyeron temperatura del suelo, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, fósforo, potasio y nitrógeno, evaluadas cada 15 días durante un periodo de 45 días.

Los resultados mostraron que el tratamiento con 100 % de micorrizas (T1) obtuvo los mejores valores en materia orgánica (27.37 %), fósforo (902.5 ppm) y nitrógeno (307.5 ppm), así como una disminución progresiva del pH hacia niveles más neutros; pero aunque la temperatura y la conductividad eléctrica no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, sí mostraron variaciones temporales; por lo que se concluye que la biofertilización con micorrizas mejora significativamente la calidad del suelo, promoviendo un entorno favorable para el desarrollo de plántulas, y representa una alternativa sostenible frente al uso exclusivo de fertilizantes químicos.

**Palabras clave:** Suelos, micorrizas, *Catharanthus Roseus*

## ABSTRACT

The present investigation evaluated the effect of different concentrations of arbuscular mycorrhizal fungi on the physical-chemical properties of the soil in the cultivation of *Catharanthus roseus* (Chavelitas) in the Municipal Nursery of the district of Independencia; where a Completely Randomized Design (CRD) was used with five treatments and four replications, applying doses of biofertilizer at 100%, 75%, 50%, 25% and 0%; where the variables analyzed included soil temperature, organic matter, pH, electrical conductivity, phosphorus, potassium and nitrogen, evaluated every 15 days for a period of 45 days.

The results showed that the treatment with 100 % mycorrhizae (T1) obtained the best values in organic matter (27.37 %), phosphorus (902.5 ppm) and nitrogen (307. 5 ppm), as well as a progressive decrease in pH towards more neutral levels; but although temperature and electrical conductivity did not show significant differences between treatments, they did show temporal variations; therefore, it is concluded that biofertilization with mycorrhizae significantly improves soil quality, promoting a favorable environment for seedling development, and represents a sustainable alternative to the exclusive use of chemical fertilizers.

**Keywords:** Soils, mycorrhizae, *Catharanthus Roseus*

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso fundamental que sostiene la vida en la tierra, de este depende la agricultura y el cubrimiento de áreas verdes urbanas, satisface las necesidades humanas en el presente siglo y a su vez nos brinda múltiples beneficios ambientales (Núñez, 2021; Ramírez et al., 2023). Sin embargo, la degradación o daño a los suelos siguen siendo actualmente un problema. La actividad agrícola puede tornarse insostenible debido a malas prácticas culturales, tales como: el uso y abuso de fertilizantes, pesticidas y equipos agrícolas. Deteriorando de tal forma las propiedades físicas, químicas y biológicas de la tierra (Hernandez et al., 2020; Montatixe & Eche, 2021)

Según Ariza et al., (2020), la extensión de la degradación de los suelos alcanza actualmente cifras preocupantes: el 33% del recurso suelo en el mundo se encuentra entre moderado y altamente degradado. En el Perú, se posee una diversidad biológica entre el 60 % y el 70 %, la cual cada año se ve afectada debido a la mala gestión de sus recursos. Esto ha provocado niveles críticos de deterioro, que se manifiestan en problemáticas de índole ambiental como la desertización, la salinización, deforestación y extinción de especies de fauna y flora (Gamboa Arenas, 2019).

El Vivero Municipal del distrito de Independencia es reconocido por su amplia variedad de plantas disponibles para el sector industrial y doméstico, siendo las Chavelitas (*Catharanthus roseus*) uno de sus principales productos. Esta planta popularmente conocida como pervinca de Madagascar, se cultiva en diferentes partes del mundo y posee propiedades medicinales como decorativas (Ferreira et al., 2022; Terreros et al., 2024)

Asimismo, el estrés por salinidad en las plantas, como *Catharanthus roseus*, no solo afecta su productividad y rendimiento económico, sino que también tiene implicaciones ambientales como la reducción de la biodiversidad, contaminación de cuerpos de agua y alteración de los ciclos biogeoquímicos. Cuando las plantas experimentan este tipo de estrés, se producen estos tipos de efectos que son negativos para el ecosistema circundante y la calidad del suelo (Sharma et al., 2023).

Para lograr una renovación eficiente en las áreas de cultivo de *Catharanthus roseus*, es indispensable contar con plántulas vigorosas y de alta calidad. No obstante, en diversos viveros, especialmente en regiones como la zona Norte, se ha observado que muchos productores propagan ejemplares con escaso desarrollo radicular, limitada fortaleza vegetativa y deficiencias nutricionales (Fabbri et al., 2023). Esta situación se atribuye principalmente a la escasa presencia de nutrientes esenciales en los suelos, lo que provoca que, al ser trasplantadas al terreno definitivo, las plántulas presenten alta susceptibilidad frente a patógenos, plagas y enfermedades, comprometiendo su desarrollo futuro (Timmis & Ramos, 2021). En consecuencia, el crecimiento de las plantas adultas se ve afectado negativamente, disminuyendo considerablemente su capacidad productiva, reflejándose esto en los bajos niveles de rendimiento durante las cosechas iniciales; donde esta problemática está ligada, en gran parte, al desconocimiento o la falta de uso de microorganismos benéficos, como bacterias y hongos promotores del crecimiento, durante la etapa de vivero (Contreras et al., 2023).

Si bien la aplicación de fertilizantes químicos representa una herramienta tecnológica ampliamente empleada en la agricultura moderna, su efectividad puede verse limitada por factores que dificultan la absorción adecuada de nutrientes por parte de las plantas (Barlóg et al., 2022). Además, prácticas inadecuadas como la sobredosificación o subdosificación, junto con el uso sin diagnóstico previo del suelo, incrementan el riesgo de contaminación ambiental, sobre todo en países en desarrollo; por lo que, en este contexto, surge la alternativa de los biofertilizantes, cuyo



uso permite mejorar la disponibilidad y asimilación de nutrientes mediante mecanismos naturales como la solubilización mineral y la fijación biológica de nitrógeno (Gunasekara et al., 2023). Esta estrategia biotecnológica, además de reducir residuos químicos en los cultivos, promueve una producción más sostenible, rentable y respetuosa con el ambiente, motivo por el cual su empleo en combinación con fertilizantes tradicionales cobra cada vez mayor relevancia

En tiempos recientes, se ha renovado el interés por el rol funcional de la biota edáfica, reconociéndose la relevancia de los microorganismos en los mecanismos de nutrición vegetal; donde su intervención favorece el enriquecimiento de la fertilidad del suelo, al mismo tiempo que optimiza la capacidad de las plantas para asimilar nutrientes y facilita la disponibilidad de nitrógeno dentro del sistema (Nath et al., 2021).

Los hongos micorrícicos, que son organismos naturales, ayudan a contrarrestar este problema, forman una simbiosis de mutualismo sobre las raíces de las plantas, lo que favorece la absorción de nutrientes, en particular, el fósforo, y mejora la estructura y fertilidad del suelo, lo que facilita el proceso de retención de agua y promoción de un entorno microbiano beneficioso (Ruiz et al., 2021)

La aplicación de hongos micorrícicos arbusculares en cultivos como *Catharanthus roseus* (Chavelitas) se presenta como una alternativa prometedora y sostenible para recuperación de suelos degradados por el uso excesivo de fertilizantes químicos. Estos hongos establecen una simbiosis beneficiosa con las raíces de las plantas, promoviendo la absorción eficiente de nutrientes, especialmente el fósforo, y mejorando la estructura y la salud del suelo.

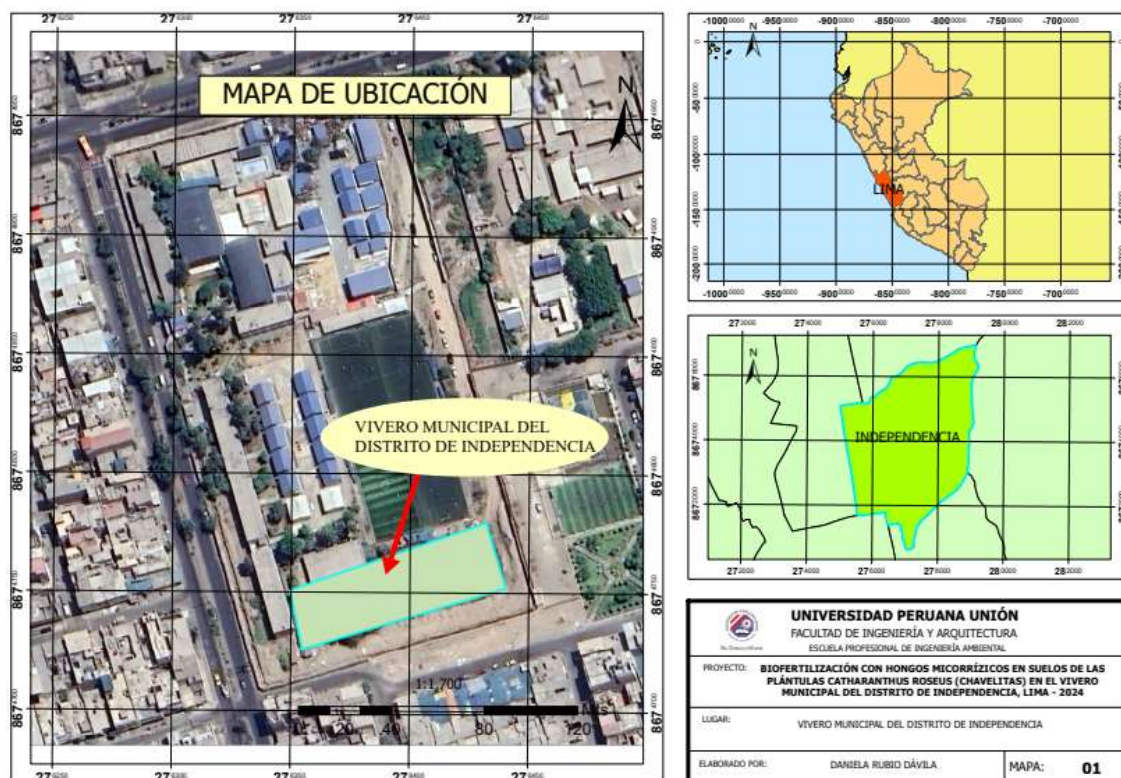
La presente investigación buscó demostrar los efectos de la biofertilización con hongos micorrícicos en suelos de cultivo de las plántulas *Catharanthus roseus* (Chavelitas) en el Vivero Municipal del Distrito de Independencia, Lima-2024, abriéndose de esta forma nuevas perspectivas para la implementación de alternativas ecoamigables con el ambiente que mejoren la calidad del suelo. Esto no solo beneficiaría al Vivero Municipal de Independencia y a la producción de *Catharanthus roseus*, sino que también proporcionaría información valiosa para otros viveros o agricultores en general para la recuperación y/o mejoramiento de suelos degradados.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Descripción del lugar de estudio

El lugar de desarrollo del estudio se realizó en el vivero Municipal del distrito de Independencia, se encuentra dentro del Colegio Libertador San Martín, ubicada en la avenida Indoamerica 752 – Tahuantinsuyo. Su ubicación geográfica es: Latitud Sur: 1.979858°, Longitud Oeste: 77.053625° y Altitud: 436 msnm.

En la siguiente figura, se presenta la ubicación exacta del área de estudio (Ver Figura N°1).



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio, elaboración propia (ArcGIS, 2025).

## 2.2. Características climáticas

El Vivero Municipal del distrito de Independencia, ubicado dentro del Colegio **Libertador San Martín** en la **avenida Indoamérica 752 – Tahuantinsuyo**, se encuentra en una zona que presenta un clima característico de la costa central peruana, clasificado como subtropical árido con marcada influencia marítima; donde esta condición climática se ve influenciada por la Corriente de Humboldt, lo que genera una alta humedad relativa durante gran parte del año, especialmente en los meses de invierno, cuando se presentan neblinas matinales conocidas como “garúa”; además la temperatura media anual oscila entre los 15 °C y 28 °C, con mínimas que rara vez descienden por debajo de los 13 °C y máximas que casi nunca superan los 30 °C; y durante el verano, que abarca desde diciembre hasta abril, el clima es cálido y ligeramente húmedo, con cielos parcialmente despejados; pero en contraste, el invierno, que se extiende de junio a septiembre, se caracteriza por cielos cubiertos y una sensación térmica fresca debido a la constante nubosidad (Weather Spark, 2025). Las precipitaciones en esta zona son prácticamente inexistentes, con registros menores a los 10 mm anuales, concentrándose en forma de lloviznas esporádicas; por lo que esta escasez hídrica implica la necesidad de implementar sistemas de riego controlado para garantizar el adecuado desarrollo de las plántulas; y los vientos predominantes provienen del sur y suroeste, siendo en su mayoría suaves, aunque ocasionalmente se intensifican (EDUCCA, 2025).

## 2.3. Materiales biológicos

Para el desarrollo del experimento se empleó como material vegetal de plántulas de *Catharanthus roseus* (Chavelitas) en etapa de vivero, las cuales fueron seleccionadas con características morfológicas uniformes (altura entre 8 y 10 cm, presencia de hojas y sistema radicular en estado

saludable); de las cuales estas plántulas fueron obtenidas del mismo Vivero Municipal del distrito de Independencia, garantizando condiciones homogéneas de origen y edad fisiológica.

Como inoculante Biológico se utilizó el producto MICORRIZAS de la marca Pacha de uso agrícola, constituidos por esporas, fragmentos de hifas y raíces colonizadas del tipo Glomus intraradices, reconocidos por su capacidad simbiótica con raíces de plantas herbáceas.

Además, como sustrato para el trasplante y mantenimiento de las plántulas, se utilizó un sustrato mezcla de suelo agrícola y compost orgánico, con relación 2:1, previamente tamizado, desinfectado y caracterizado en laboratorio para asegurar ausencia de patógenos y homogeneidad en las condiciones iniciales del ensayo; donde este sustrato sirvió como medio físico para evaluar los efectos de la aplicación de los diferentes tratamientos de micorrizas en el suelo.

## 2.4. Metodología

### 2.4.1. Método de investigación

La investigación empleó un método de tipo experimental, en el cual se llevó a cabo la observación sistemática, la manipulación controlada y el registro de las variables independiente y dependiente que influyen directamente en el fenómeno objeto de análisis.

### 2.4.2. Diseño de la investigación

La presente investigación se estructuró bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con la finalidad de evaluar el efecto de la aplicación de hongos micorrícicos arbusculares sobre plántulas de *Catharanthus roseus* en condiciones de vivero. Se consideraron 5 tratamientos correspondientes a diferentes concentraciones del biofertilizante micorrícico (100 %, 75 %, 50 %, 25 % y 0 %), con 4 repeticiones por tratamiento, las cuales constituyeron las unidades experimentales.

El modelo estadístico que se aplicó fue un modelo lineal aditivo, representado de la siguiente forma:

$$X_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- $X_{ij}$  es la observación correspondiente al  $i$ -ésimo tratamiento en la  $j$ -ésima repetición,
- $\mu$  representa la media general de la población experimental,
- $\tau_i$  es el efecto del tratamiento  $i$ ,
- $\varepsilon_{ij}$  corresponde al error aleatorio asociado a dicha observación,
- $i = 1, 2, \dots, 5$  (número total de tratamientos aplicados),
- $j = 1, 2, \dots, 4$  (número de repeticiones por tratamiento)

### 2.4.3. Tratamientos

**Tabla 1**

*Tratamientos y Repeticiones*

| Dosis de las Micorrízicas (gr) | Plántulas <i>Catharanthus roseus</i> (Repeticiones) |   |   |   |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|---|---|---|
|                                | 1                                                   | 2 | 3 | 4 |
| A 100% (120gr)                 | X                                                   | X | X | X |
| B 75% (90gr)                   | X                                                   | X | X | X |
| C 50 % (60gr)                  | X                                                   | X | X | X |
| D 25% (30gr)                   | X                                                   | X | X | X |
| E 0 % (0gr)                    | X                                                   | X | X | X |

### 2.4.4. Métodos de registro y análisis de datos

Para el desarrollo del experimento se realizó un seguimiento sistemático a lo largo de un periodo de 45 días; donde el registro de datos se llevó a cabo cada 15 días, evaluando los efectos de los tratamientos con hongos micorrízicos arbusculares en las plántulas de *Catharanthus roseus* (Chavelitas); además las variables analizadas fueron: temperatura del suelo, porcentaje de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, y concentración de macronutrientes.

Las mediciones se realizaron mediante técnicas estándar de laboratorio, para el cual las muestras fueron llevadas al laboratorio de Medio ambiente de la Universidad Peruana Unión para su respectivo análisis.

### 2.4.5. Análisis estadístico

Para el tratamiento y análisis de los datos obtenidos en el experimento, se empleó un enfoque estadístico cuantitativo; donde en primer lugar, se verificó los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Bartlett, respectivamente, con un nivel de confianza del 95 %; por lo que estas pruebas permitieron validar la aplicabilidad del análisis de varianza.

Posteriormente, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con el objetivo de determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados con distintas concentraciones de hongos micorrízicos arbusculares; por lo que las variables evaluadas fueron: temperatura del suelo, porcentaje de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, y niveles de fósforo, potasio y nitrógeno.

Además, cuando el ANOVA arrojó resultados significativos ( $p < 0.05$ ), se aplicó el test de comparaciones múltiples LSD de Fisher, con la finalidad de identificar cuáles tratamientos diferían entre sí en cada variable medida; donde el análisis estadístico fue procesado utilizando el software estadístico RStudio y se representaron gráficamente los resultados para una mejor visualización de las tendencias y diferencias.

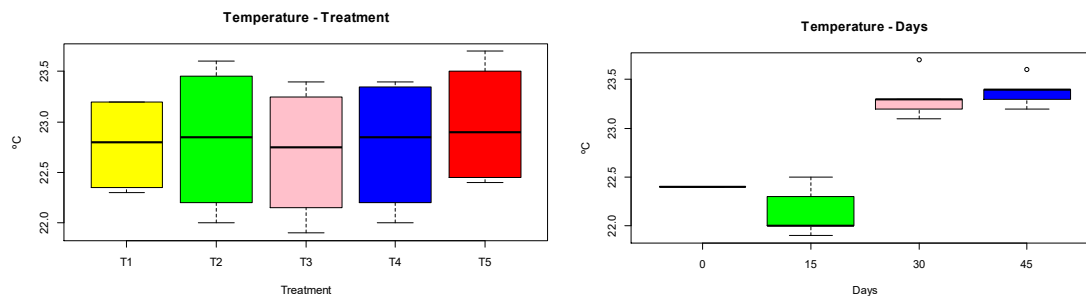
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### Temperatura

El análisis de varianza (ANOVA) de la temperatura nos indica que los tratamientos dados en el proceso de recuperación de suelos degradados por fertilizantes químicos no tienen efecto significativo sobre la temperatura porque el  $p\text{-value} = 0.316 > 0.05$ , es decir que la temperatura obtenida por cada tratamiento resulta ser estadísticamente semejante. Sin embargo, en los días aplicados durante la investigación, si existe diferencias significativas porque el  $p\text{-value} = 1.26e-07 < 0.05$  en el resultado para la temperatura. Es decir que a medida que pase los días en la investigación, la temperatura es diferente o varía.

#### Gráfico 1.

Cambio de temperatura por cada factor.



Después de aplicar la prueba de Shapiro – Wilk nos indicó que los datos provienen de una distribución normal porque el  $p\text{-valor} = 0.2691$  y es mayor a 0.05, y la homogeneidad de varianza de los datos cumplen que son homocedásticos o de varianza constante, porque el  $p\text{-valor} = 0.62414$  y es mayor a 0.05.

Luego de aplicar las comparaciones múltiples con la prueba de LSD de Fisher podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que no existe diferencia significativa entre las medias de las temperaturas obtenidas con los tratamientos aplicados, ya que nos arroja dos grupos que son semejantes (a, b). Esto indica que las temperaturas son estadísticamente semejantes ya que se ha obtenido una mínima diferencia entre ellas. Pero durante los días de la investigación se han obtenido diferentes temperaturas, obteniéndose una temperatura mayor (23.38 °C) a los 45 días que la temperatura que se inició (22.4 °C) y teniendo un descenso a los 15 días (22.14 °C).

**Tabla 2**

*Comparaciones múltiples LSD de Fisher respecto a Temperatura*

| Treatment | °C     | Groups | Days | °C    | Groups |
|-----------|--------|--------|------|-------|--------|
| T5        | 22.975 | a      | 45   | 23.38 | a      |
| T2        | 22.825 | ab     | 30   | 23.32 | a      |
| T1        | 22.775 | ab     | 0    | 22.40 | b      |
| T4        | 22.775 | ab     | 15   | 22.14 | c      |
| T3        | 22.700 | b      |      |       |        |

Los elementos meteorológicos, tales como: la radiación solar y la temperatura del aire, intervienen en la variación de la temperatura del suelo, puesto que se intercambia el calor entre la atmósfera



y el suelo. Siendo la radiación solar el factor con más relevancia para el cambio de temperatura en el suelo (Carro et al., 2020).

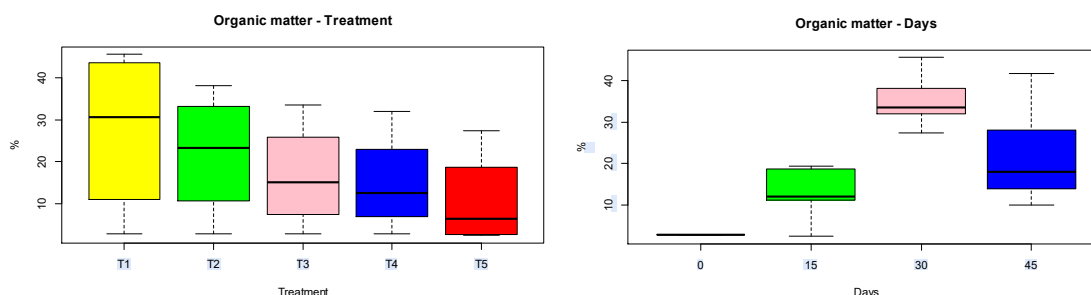
Cabe destacar que el incremento progresivo de la temperatura del suelo hacia el día 45 (23.38 °C), a pesar de no haber diferencias significativas entre tratamientos, podría estar influenciado por el cambio de estación climática en la ciudad de Lima, pasando de los meses fríos (invierno) a los más cálidos (verano), como lo describe Weather Spark (2025); por lo que este fenómeno estacional ha sido reportado como determinante en la variación térmica superficial del suelo debido al aumento de la radiación solar y la temperatura ambiental (Carro et al., 2020); así mismo resultados similares fueron reportados por Lyu et al. (2020), quienes observaron aumentos térmicos correlacionados con la transición estacional en viveros urbanos de la costa central peruana, lo que refuerza la importancia de considerar los factores ambientales como coadyuvantes en las dinámicas edáficas. En una línea similar, Jaramillo (2021) destacó que las variaciones de la temperatura edáfica vienen explicadas en buena medida por la radiación que incide o por los estados del tiempo, constatando que los cambios estacionales se constituyen en el causante más importante durante el comportamiento térmico del suelo. Lo que refuerza la idoneidad de interpretar los factores ambientales como coadyuvantes en los cambios que sufre la edafología.

### Materia Orgánica

El análisis de varianza (ANOVA) para la materia orgánica nos indica que los tratamientos dados en el proceso de recuperación de suelos degradados por fertilizantes químicos si tienen efecto significativo sobre la materia orgánica porque el  $p\text{-value} = 0.00882 < 0.05$ , es decir que la materia orgánica obtenida por cada tratamiento resulta ser estadísticamente diferente. Además, en los días aplicados durante la investigación, si existe diferencias significativas porque el  $p\text{-value} = 5.12e-06 < 0.05$  en el resultado para la materia orgánica. Es decir que a medida que pase los días en la investigación, la materia orgánica es diferente o varía.

### Gráfico 2.

Porcentaje de materia orgánica por cada factor.



Después de aplicar la prueba de Shapiro – Wilk nos indicó que los datos provienen de una distribución normal porque el  $p\text{-valor} = 0.5875$  y es mayor a 0.05, y la homogeneidad de varianza de los datos cumplen que son homocedásticos o de varianza constante, porque el  $p\text{-valor} = 0.51818$  y es mayor a 0.05 con ello se cumple los requisitos.

Luego de aplicar las comparaciones múltiples con la prueba de LSD de Fisher podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que, existe diferencia significativa entre las medias en los porcentajes de las materias orgánicas obtenidas con los tratamientos aplicados, ya que nos arroja tres grupos que son diferentes. Esto indica que las materias orgánicas son estadísticamente diferentes ya que se ha obtenido diferencia entre ellas siendo mayor con el T1, lo que indica que a mayores micorrizas se obtiene mayor materia orgánica. Asimismo, durante los días de la investigación se han obtenido diferentes materias orgánicas, obteniéndose mayor materia orgánica a los 30 días obteniéndose un pequeño descenso a los 45 días, en resumen, nos indica que la aplicación de micorrizas durante los días tiene un efecto positivo en el suelo degradado.

**Tabla 3***Comparaciones múltiples LSD de Fisher respecto a Materia Orgánica*

| Treatment | %OM     | Groups | Days | %OM    | Groups |
|-----------|---------|--------|------|--------|--------|
| T1        | 27.3700 | a      | 30   | 35.306 | a      |
| T2        | 21.9325 | ab     | 45   | 22.356 | b      |
| T3        | 16.6500 | bc     | 15   | 12.790 | c      |
| T4        | 15.0250 | bc     | 0    | 2.900  | d      |
| T5        | 10.7125 | c      |      |        |        |

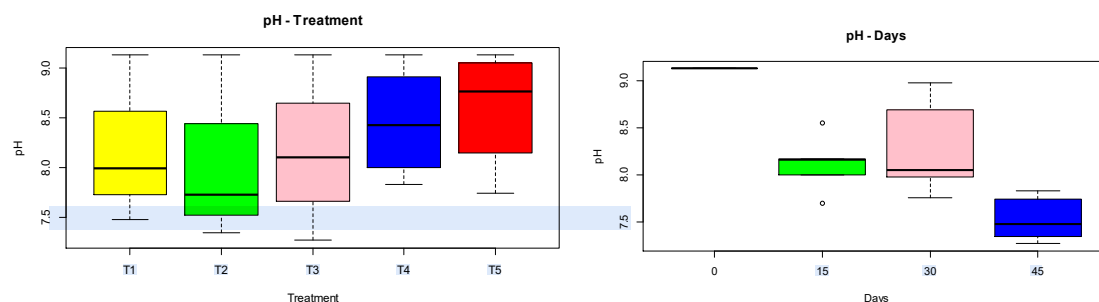
Un incremento notorio de la materia orgánica (MO) fue descrito en igual medida para los suelos tratados con micorrizas, lo que podría asociarse al aporte de la biomasa fúngica, exudados y mejora en la formación de agregados estables. En la misma línea, Wu et al. (2023) señalaron que los suelos inoculados con micorrizas arbusculares incrementaron la materia orgánica en un 18 % en promedio respecto a suelos no tratados, atribuyendo este efecto a la deposición de glomalina y a la mejora de la agregación del suelo. Un meta-análisis en conjunto publicado por Tao y Liu (2024) también corroboró que la inoculación con AMF incrementaba notablemente el stock de carbono orgánico del suelo (SOC) entre 15 % y 30 % dependiendo del cultivo y las condiciones edáficas. Y no sólo eso, Wu et al. (2024) referenciaron que la acción de AMF en cultivos agrícolas incrementó el carbono estable en el suelo en 22.5 Mg C ha<sup>-1</sup> adicionales, evidenciando que las asociaciones simbióticas tienen una importancia caracterizada por su rol decisivo en la dinámica y retención del carbono orgánico.

**pH**

El análisis de varianza (ANOVA) para el pH nos indica que los tratamientos dados en el proceso de recuperación de suelos degradados por fertilizantes químicos si tienen efecto significativo sobre el pH porque el  $p\text{-value} = 0.0188 < 0.05$ , es decir que el pH obtenido por cada tratamiento resulta ser estadísticamente diferente. Además, en los días aplicados durante la investigación, si existe diferencias significativas porque el  $p\text{-value} = 1.9e-06 < 0.05$  en el resultado para el pH. Es decir que a medida que pase los días en la investigación, el pH es diferente o varía.

**Gráfico 3.**

Cambio de pH por cada factor.



Después de aplicar la prueba de Shapiro – Wilk nos indicó que los datos provienen de una distribución normal porque el  $p\text{-valor} = 0.4175$  y es mayor a 0.05, y la homogeneidad de varianza de los datos cumplen que son homocedásticos o de varianza constante, porque el  $p\text{-valor} = 0.10631$  y es mayor a 0.05 con ello se cumple los requisitos.

Luego de aplicar las comparaciones múltiples con la prueba de LSD de Fisher podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que, existe diferencia significativa entre las medias de los pH obtenidos con los tratamientos aplicados, ya que nos arroja tres grupos que son diferentes. Asimismo, durante los días de la investigación se han obtenido diferentes pH, siendo el más alto al inicio del tratamiento (0 días) con un valor de 9.130, que posteriormente fue en descenso hasta el final del tratamiento (45 días) con un valor de 7.534.

**Tabla 4**

*Comparaciones múltiples LSD de Fisher respecto al pH*

| Treatment | pH     | Groups | Days | pH    | Groups |
|-----------|--------|--------|------|-------|--------|
| T5        | 8.6000 | a      | 0    | 9.130 | a      |
| T4        | 8.4550 | ab     | 30   | 8.292 | b      |
| T3        | 8.1525 | bc     | 15   | 8.116 | b      |
| T1        | 8.1475 | bc     | 45   | 7.534 | c      |
| T2        | 7.9850 | C      |      |       |        |

Estudios demuestran que la inoculación con micorrizas arbusculares (AMF) mejora la actividad bacteriana, lo que favorece la producción de metabolitos alcalinizantes, aumentando ligeramente el pH inicial del suelo relativamente ácido o neutro (Mulyadi & Jiang, 2023); además, se ha observado que diferentes especies de AMF presentan preferencias por distintos rangos de pH; por ejemplo, *Gigaspora margarita* creció eficazmente en pH 4.7, mientras que *Glomus etunicatum* fue menos eficiente, sugiriendo un potencial para modular el pH del suelo mediante la selección de especies específicas (Rohyadi et al., 2014); así mismo en suelos calizos, las AMF también pueden reducir la fracción cálcica, influenciando la neutralización ácido-básica a través de la liberación de ioni de  $\text{Ca}^{2+}$  (Burak et al., 2024); por lo que estos mecanismos resaltan cómo la colonización micorrícica, según el tipo de suelo, puede ser un factor coadyuvante en la estabilización y ajuste del pH, reduciendo su acidificación o contribuyendo a mantenerlo en un rango óptimo (pH 6.0–7.5)

### Conductividad Eléctrica

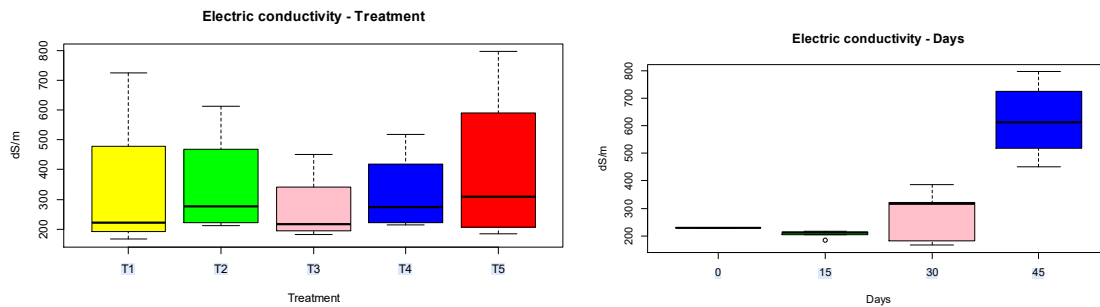
El análisis de varianza (ANOVA) de la conductividad eléctrica nos indica que los tratamientos dados en el proceso de recuperación de suelos degradados por fertilizantes químicos no tienen efecto significativo sobre la conductividad eléctrica porque el  $p\text{-value} = 0.317 > 0.05$ , es decir que la conductividad eléctrica obtenida por cada tratamiento resulta ser estadísticamente semejante. Sin embargo, en los días aplicados durante la investigación, si existe diferencias significativas porque el  $p\text{-value} = 1.14\text{e-}05 < 0.05$  en el resultado para la conductividad eléctrica. Es decir que a medida que pase los días en la investigación, la conductividad eléctrica es diferente o varía.

### Gráfico 4.

Cambio de la conductividad eléctrica por cada factor.

12  
3





Después de aplicar la prueba de Shapiro – Wilk nos indicó que los datos provienen de una distribución normal porque el p-valor = 0.4779 y es mayor a 0.05, y la homogeneidad de varianza de los datos cumplen que son homocedásticos o de varianza constante, porque el p-valor=0.055406 y es mayor a 0.05.

Luego de aplicar las comparaciones múltiples con la prueba de LSD de Fisher podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que no existe diferencia significativa entre las medias de la conductividad eléctrica obtenidas con los tratamientos aplicados, ya que nos arroja dos grupos que son semejantes (a, b). Esto indica que las conductividades eléctricas son estadísticamente semejantes ya que se ha obtenido una mínima diferencia entre ellas. Asimismo, durante los días de la investigación se han obtenido diferentes valores de conductividad eléctrica, obteniéndose una conductividad eléctrica mayor (620.78) a los 45 días que la conductividad eléctrica que se inició (230.50) y teniendo un descenso a los 15 días (206.34).

**Tabla 5**

*Comparaciones múltiples LSD de Fisher respecto a la conductividad eléctrica*

| Treatment | EC      | Groups | Days | EC     | Groups |
|-----------|---------|--------|------|--------|--------|
| T5        | 399.450 | a      | 45   | 620.78 | a      |
| T2        | 344.325 | ab     | 30   | 274.68 | b      |
| T1        | 334.275 | ab     | 0    | 230.50 | b      |
| T4        | 319.875 | ab     | 15   | 206.34 | b      |
| T3        | 267.450 | b      |      |        |        |

Se observó que la CE del suelo aumentó ligeramente en los tratamientos con micorrizas, lo que podría reflejar una movilización moderada de iones inorgánicos resultado de la mayor actividad microbiana y de solubilización fúngica. En ambientes salinos–alcálicos, estudios han encontrado que la CE y el pH constituyen factores predominantes que condicionan tanto la composición como la diversidad de las comunidades de AMF (Fang et al., 2023); y además, en un experimento con inoculación combinada de AMF y bacterias promotoras del crecimiento, se reportó una disminución significativa de la CE tras la colonización fúngica, probablemente debido a la bioacumulación o transformación de ciertos iones; y otro estudio en suelos contaminados mostró que la aplicación de AMF redujo las fracciones salinas y la CE, lo que sugiere que estas micorrizas pueden ayudar a mejorar la calidad del suelo al regular el equilibrio iónico (Li et al., 2018).

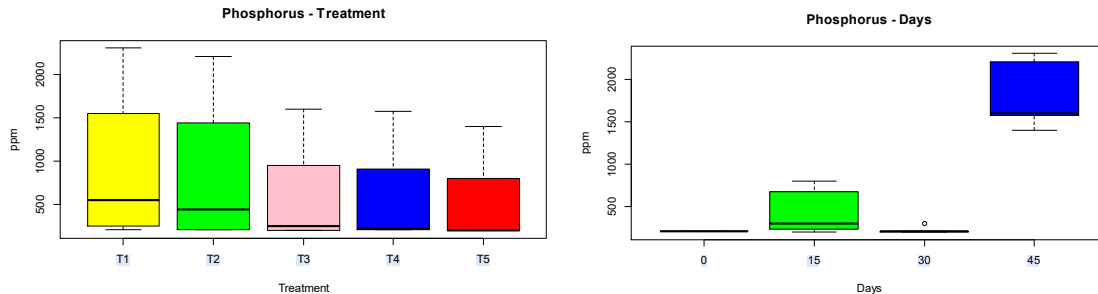
### Fosforo

El análisis de varianza (ANOVA) para el fósforo nos indica que los tratamientos dados en el proceso de recuperación de suelos degradados por fertilizantes químicos si tienen efecto

significativo sobre el fósforo porque el  $p\text{-value} = 0.0487 < 0.05$ , es decir que el fósforo obtenido por cada tratamiento resulta ser estadísticamente diferente. Además, en los días aplicados durante la investigación, si existe diferencias significativas porque el  $p\text{-value} = 4.4\text{e-}08 < 0.05$  en el resultado para el fósforo. Es decir que a medida que pase los días en la investigación, el fósforo es diferente o varía.

### Gráfico 5.

Cambio del fósforo por cada factor.



Después de aplicar la prueba de Shapiro – Wilk nos indicó que los datos provienen de una distribución normal porque el  $p\text{-valor} = 0.1653$  y es mayor a 0.05, y la homogeneidad de varianza de los datos cumplen que son homocedásticos o de varianza constante, porque el  $p\text{-valor} = 0.11574$  y es mayor a 0.05 con ello se cumple los requisitos.

Luego de aplicar las comparaciones múltiples con la prueba de LSD de Fisher podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que, existe diferencia significativa entre las medias de los fósforos obtenidos con los tratamientos aplicados, ya que nos arroja tres grupos que son diferentes (a, b y c). Esto indica que los fósforos son estadísticamente diferentes ya que se ha obtenido diferencia entre ellas siendo mayor con el T1, lo que indica que a mayores micorrizas se obtiene mayor fósforo. Asimismo, durante los días de la investigación se han obtenido diferentes valores de fósforo, obteniéndose mayor fósforo a los 45 días (1814 mg/L (ppm)) y un valor mínimo de 210 mg/L (ppm) al inicio del tratamiento (0 días), en resumen, nos indica que la aplicación de micorrizas durante los días tiene un efecto positivo en el suelo degradado.

**Tabla 6**

*Comparaciones múltiples LSD de Fisher respecto al fósforo*

| Treatment | Phosphorus | Groups | Days | Phosphorus | Groups |
|-----------|------------|--------|------|------------|--------|
| T1        | 902.5      | a      | 45   | 1814       | a      |
| T2        | 825.0      | ab     | 15   | 444        | b      |
| T3        | 577.5      | bc     | 30   | 224        | b      |
| T4        | 557.5      | bc     | 0    | 210        | b      |
| T5        | 502.5      | c      |      |            |        |

Se detectó un incremento significativo del P disponible en los suelos tratados con micorrizas, lo cual se explica por la acción combinada de la extensa red de hifas y las enzimas liberadas al rizosfera; por lo que un estudio de 2022 demostró que las AMF mejoran la absorción de fósforo en condiciones de deficiencia al movilizar P insoluble y transferirlo eficientemente a la planta mediante su red de hifas extrarradicular (Qi et al., 2022); y por su parte, un meta-análisis de 2024

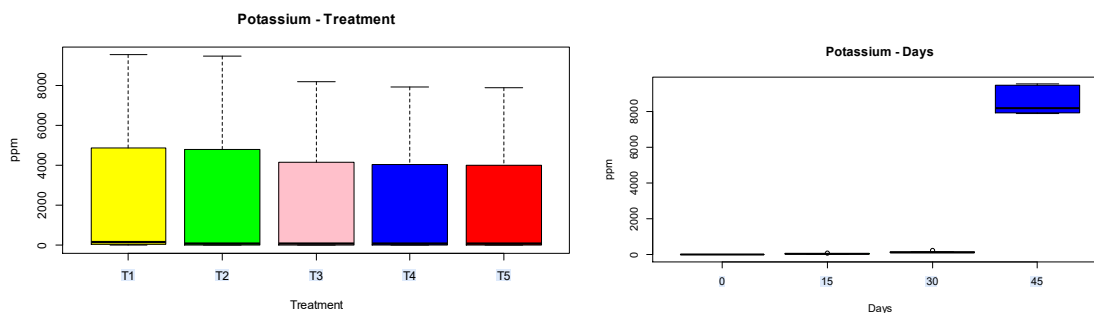
encontró que la inoculación con AMF aumenta el contenido de P en plantas un promedio del 27 % y la absorción total de P en un 105 % (Wu et al., 2024); y en cultivos agrícolas, como el arroz en condiciones aerobias con deficiencia de P, la inoculación con AMF incrementó la absorción de este nutriente entre 16 y 29 % y elevó la actividad de enzimas fosfatasas en el suelo (Mitra et al., 2023); y finalmente, en alfalfa se ha comprobado que la simbiosis AMF estimula la secreción de ácidos orgánicos y fosfatasas por la planta y el hongo, activando las formas menos disponibles de P (Ca-P, Fe-P y P orgánico), lo que favorece la absorción y acumulación del nutriente (Pan et al., 2025).

### Potasio

El análisis de varianza (ANOVA) del potasio nos indica que los tratamientos dados en el proceso de recuperación de suelos degradados por fertilizantes químicos no tienen efecto significativo sobre el potasio porque el  $p\text{-value} = 0.37 > 0.05$ , es decir que el potasio obtenido por cada tratamiento resulta ser estadísticamente semejante. Sin embargo, en los días aplicados durante la investigación, si existe diferencias significativas porque el  $p\text{-value} = 4.3e-13 < 0.05$  en el resultado para el potasio. Es decir que a medida que pase los días en la investigación, el potasio es diferente o varía.

### Gráfico 6.

Cambio del potasio por cada factor.



Después de aplicar la prueba de Shapiro – Wilk nos indicó que los datos provienen de una distribución normal porque el  $p\text{-valor} = 0.08098$  y es mayor a 0.05. Además, la homogeneidad de varianza de los datos del tratamiento cumple que son homocedásticos o de varianza constante, porque el  $p\text{-valor} = 0.7792$  y es mayor a 0.05. Mientras que, durante los días aplicados no son homocedásticos o de varianza constante, puesto que el  $p\text{-valor} = 0.04568$  y es menor a 0.05.

Luego de aplicar las comparaciones múltiples con el test de LSD de Fisher podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que no existe diferencia significativa entre las medias del potasio obtenido con los tratamientos aplicados, ya que nos arroja un solo grupo (a). Esto indica que los valores del potasio son estadísticamente semejantes ya que se ha obtenido similitud entre ellas. Pero durante los días de la investigación se han obtenido diferentes valores de potasio, se inició el tratamiento (0 días) con un valor de 0, y este ascendió obteniéndose un potasio de 8620.0 a los 45 días.

### Tabla 7

Comparaciones múltiples LSD de Fisher respecto al potasio

| Treatment | Potassium | Groups | Days | Potassium | Groups |
|-----------|-----------|--------|------|-----------|--------|
| T1        | 2467.50   | a      | 45   | 8620.0    | a      |
| T2        | 2425.75   | a      | 30   | 154.2     | b      |

|    |         |   |    |      |   |
|----|---------|---|----|------|---|
| T3 | 2093.75 | a | 15 | 51.6 | b |
| T4 | 2030.25 | a | 0  | 0.0  | b |
| T5 | 2015.00 | a |    |      |   |

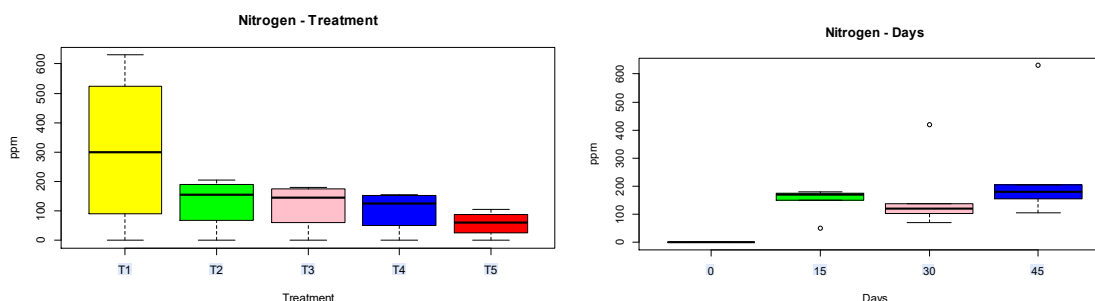
El ANOVA del potasio indica que no hay diferencias entre tratamientos a nivel general (p-value = 0.37). Pero sí hay un efecto temporal significativo (p-value = 4.3e-13) en los que el incremento relacionado con el tiempo es de 0 a 8620 unidades a los 45 días, lo que indica que el potasio varía con el tiempo sin considerar el tratamiento aplicado. En materia de los resultados fisiológicos y moleculares, es coherente con lo reportado recientemente, tal es el caso de Wu et al. (2024), donde se argumenta que la inoculación con AMF en maíz bajo estrés de potasio aumenta la expresión de 92 genes importantes en la absorción de K (incluyendo familias HAK/HKT/KUP, CBL, CIPK), lo que refuerza los mecanismos de captación de este ion. En batata, por ejemplo, Yuan et al. (Yuan et al., 2023) afirman que una simbiosis con AMF y potasio mejora significativamente la morfología de raíz (longitud, volumen y número de puntas) que esta mejora también genera mayor acumulación de K en raíces. También Jones et al. (2025) muestran que en soja bajo salinidad el suministro externo de K y AMF es determinante para mantener la absorción de potasio y poder obtener relaciones  $K^+/Na^+$  favorables, lo que refleja ajustes fisiológicos importantes asociados al tiempo transcurrido en la investigación.

### Nitrógeno

El análisis de varianza (ANOVA) del Nitrógeno nos indica que los tratamientos dados en el proceso de recuperación de suelos degradados por fertilizantes químicos si tienen efecto significativo sobre el Nitrógeno porque el p-value = 0.0392 > 0.05, es decir que el Nitrógeno obtenido por cada tratamiento resulta ser estadísticamente semejante. Además, en los días aplicados durante la investigación, si existe diferencias significativas porque el p-value = 0.0140 < 0.05 en el resultado para el Nitrógeno. Es decir que a medida que pase los días en la investigación, el Nitrógeno es diferente o varía.

### Gráfico 7.

Cambio del Nitrógeno por cada factor.



Después de aplicar la prueba de Shapiro – Wilk nos indicó que los datos provienen de una distribución normal porque el p-valor = 0.5247 y es mayor a 0.05. Sin embargo, la homogeneidad de varianza de los datos del tratamiento no cumple que son homocedásticos o de varianza constante, porque el p-valor=0.038 y es menor a 0.05. Mientras que, durante los días aplicados si cumple que son homocedásticos o de varianza constante, puesto que el p-valor=0.4207 y es mayor a 0.05.

Luego de aplicar las comparaciones múltiples con la prueba de LSD de Fisher podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que, si existe diferencia significativa entre las medias del Nitrógeno obtenido con los tratamientos aplicados, ya que nos arroja dos grupos diferentes (a, b). Esto indica que los valores del Nitrógeno son estadísticamente diferentes ya que se ha obtenido

diferencia entre ellas. Asimismo, durante los días de la investigación se han obtenido diferentes valores de Nitrógeno, se inició el tratamiento (0 días) con un valor de 0, y este ascendió obteniéndose un Nitrógeno de 255.0 a los 45 días.

**Tabla 8**

*Comparaciones múltiples LSD de Fisher respecto al Nitrógeno*

| Treatment | Nitrogen | Groups | Days | Nitrogen | Groups |
|-----------|----------|--------|------|----------|--------|
| T1        | 307.500  | a      | 45   | 255.0    | a      |
| T2        | 129.625  | b      | 30   | 170.0    | a      |
| T3        | 117.500  | b      | 15   | 145.2    | a      |
| T4        | 101.875  | b      | 0    | 0.0      | b      |
| T5        | 56.250   | b      |      |          |        |

El análisis comparativo de los tratamientos aplicados con distintas concentraciones de hongos micorrízicos arbusculares (0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 %) demostró que el tratamiento T1 (100 %) obtuvo los mejores resultados en la mayoría de las variables edáficas evaluadas; específicamente, el T1 presentó el mayor porcentaje de materia orgánica (27.37 %), el contenido más alto de fósforo disponible (902.5 ppm) y la mayor concentración de nitrógeno (307.5 ppm), lo que indica una notable mejora en la fertilidad del suelo; de igual manera, logró reducir el pH del suelo desde niveles alcalinos hacia un valor más cercano a la neutralidad (pH 8.15), condición favorable para el desarrollo radicular de las plántulas.

Aunque la temperatura del suelo, la conductividad eléctrica y el potasio no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, sí se observó una tendencia general de mejora en los valores conforme aumentaba la dosis de micorrizas; y en contraste, el tratamiento T5 (0 %) sin aplicación de micorrizas presentó los valores más bajos en casi todos los parámetros, evidenciando la baja calidad inicial del suelo y la eficacia de la biofertilización con micorrizas como estrategia de restauración.

**Tabla 9**

*Análisis comparativo de los tratamientos*

| Variable                       | T1<br>(100%) | T2<br>(75%) | T3<br>(50%) | T4<br>(25%) | T5<br>(0%) |
|--------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Temperatura del suelo (°C)     | 22.775       | 22.825      | 22.7        | 22.775      | 22.975     |
| Materia orgánica (%)           | 27.37        | 21.93       | 16.65       | 15.03       | 10.71      |
| pH                             | 8.15         | 7.99        | 8.15        | 8.46        | 8.6        |
| Conductividad eléctrica (S/cm) | 334.275      | 344.325     | 267.45      | 319.875     | 399.45     |
| Fósforo (ppm)                  | 902.5        | 825         | 577.5       | 557.5       | 502.5      |
| Potasio (ppm)                  | 2467.5       | 2425.75     | 2093.75     | 2030.25     | 2015       |
| Nitrógeno (ppm)                | 307.5        | 129.625     | 117.5       | 101.875     | 56.25      |

Los tratamientos con diferentes concentraciones de hongos micorrícicos no generaron diferencias significativas en la temperatura del suelo, lo cual indica que este parámetro no se ve influenciado directamente por la biofertilización; sin embargo, el factor tiempo sí mostró variaciones significativas, observándose un incremento progresivo de temperatura hasta los 45 días, lo que podría atribuirse a condiciones ambientales del vivero.

Se evidenció un efecto positivo y estadísticamente significativo de los hongos micorrícicos sobre el contenido de materia orgánica; donde el tratamiento con 100 % de micorizas (T1) presentó el mayor porcentaje (27.37 %), confirmando que la aplicación de estos microorganismos favorece la mejora de la calidad biológica del suelo; además, se observó que la materia orgánica alcanzó su punto máximo a los 30 días, antes de estabilizarse.

La biofertilización con micorizas también generó cambios significativos en el pH del suelo; donde se observó una disminución progresiva desde un valor inicial alcalino de 9.13 hasta un valor cercano a neutro (7.53) al día 45, lo cual es beneficioso para la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo radicular de las plántulas.

Aunque no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos respecto a la Conductividad Eléctrica, sí se registró variaciones significativas a lo largo del tiempo, alcanzando un valor máximo de 620.78  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a los 45 días; donde esto reflejó una acumulación gradual de sales solubles en el suelo, que deberá ser monitoreada en estudios posteriores para evitar niveles críticos de salinidad.

El contenido de fósforo en el suelo se vio significativamente incrementado por los tratamientos con micorizas, siendo el tratamiento T1 el que obtuvo el mayor valor (902.5 ppm), y observándose un máximo de 1814 ppm al día 45; por lo que esto confirma que los hongos micorrícicos mejoran la solubilización y disponibilidad de este macronutriente clave para el crecimiento vegetal.

Aunque no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en cuanto al potasio, sí se observó un incremento marcado a lo largo del tiempo; se evidencia que el valor pasó de 0 ppm al inicio a 8620 ppm al día 45, lo que indica una acumulación progresiva del nutriente en el sustrato, posiblemente favorecida por la interacción planta-micorriza.

Así mismo, se comprobó un efecto estadísticamente significativo de los tratamientos sobre los niveles de nitrógeno; donde el tratamiento T1 obtuvo la concentración más alta (307.5 ppm), lo que demuestra que la aplicación de micorizas mejora la disponibilidad de este nutriente esencial, probablemente a través de la promoción de microorganismos fijadores de nitrógeno.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la aplicación de hongos micorrícicos arbusculares en diferentes concentraciones genera efectos diferenciados sobre las propiedades físico-químicas del suelo en el cultivo de *Catharanthus roseus* (Chavelitas), donde entre los tratamientos evaluados, el T1 (100 % de micorizas) evidenció el mejor desempeño general, presentando los mayores niveles de materia orgánica, fósforo y nitrógeno disponible, además de una mejora progresiva en la acidez del suelo, alcanzando un pH más cercano a condiciones óptimas para el desarrollo vegetal.

Aunque en variables como temperatura del suelo, conductividad eléctrica y potasio no se identificaron diferencias significativas entre tratamientos, sí se observó variaciones temporales importantes que evidencian el efecto acumulativo de los biofertilizantes a lo largo del tiempo; por lo que en conjunto, los tratamientos con mayores dosis de micorizas presentaron tendencias más

favorables en la mejora de la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, mientras que el tratamiento sin micorrizas (T5) mostró los valores más bajos en casi todas las variables.

Por tanto, se confirma que el uso de micorrizas, particularmente en su concentración máxima, representa una alternativa sostenible y eficiente para optimizar las condiciones del suelo en viveros, promoviendo un crecimiento más saludable y vigoroso de las plántulas, y reduciendo la dependencia de insumos químicos tradicionales.

#### 4. CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de hongos micorrícicos arbusculares en suelos degradados, ya que el tratamiento con 100 % de micorrizas (T1) alcanzó los mayores valores en las variables edáficas: 27.37 % de materia orgánica, 902.5 ppm de fósforo y 307.5 ppm de nitrógeno, además de una disminución progresiva del pH desde 9.13 al inicio hasta 7.53 a los 45 días, condiciones favorables para el desarrollo de *Catharanthus roseus*.

Respecto al objetivo de determinar la variación temporal de las propiedades del suelo, se evidenció que las variables temperatura, conductividad eléctrica y potasio no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ), pero sí a lo largo del tiempo ( $p < 0.05$ ). La temperatura aumentó de 22.4 °C a 23.38 °C, la conductividad eléctrica de 230.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 620.78  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y el potasio de 0.0 a 8620.0 ppm en los 45 días de evaluación, reflejando el efecto acumulativo de la biofertilización y la dinámica edáfica.

En relación con el tratamiento sin micorrizas (T5), este presentó los valores más bajos en casi todas las variables (ej. 10.71 % de materia orgánica, 502.5 ppm de fósforo, 56.25 ppm de nitrógeno), lo que confirma que la ausencia de AMF limita la mejora de las propiedades del suelo y resalta la eficacia de los tratamientos biofertilizados.

Finalmente, se concluye que la aplicación de micorrizas, particularmente en su concentración máxima, constituye una alternativa sostenible y eficiente para la recuperación de suelos degradados y el fortalecimiento de viveros urbanos, contribuyendo a la reducción de la dependencia de fertilizantes químicos y asegurando un crecimiento más vigoroso de plántulas ornamentales como la *Catharanthus roseus*.

#### 5. REFERENCIAS

- Ariza, S., González, O., & López, J. (Medellín, Enero). Evaluación de fijadores biológicos de nitrógeno libres sobre el crecimiento de gramíneas en suelo degradado. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 22(1), pp. 87-97. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.78019>
- Barlóg, P., Grzebisz, W., & Lukowiak, R. (2022). Fertilizers and Fertilization Strategies Mitigating Soil Factors Constraining Efficiency of Nitrogen in Plant Production. *Plants*, 11(14), 1855. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants11141855>
- Burak, K., Halil, I., Gómez, M., Faz, Á., Yalcin, H., & Sakin, E. (2024). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on biological activity and biochemical properties of soil under vetch growing conditions in calcareous soils. *Heliyon*, 10(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24820>



- Carrillo, S., Puente, J., Montes, S., & Cruz, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta Botanica Mexicana*, 1(129), pp. 1-27. <https://doi.org/http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Carro, M., Pleitavino, M., Mansilla, M., Toledo, R., Aratano, S., & Bruni, R. (2020). Evaluación de la distribución de temperaturas en un perfil somero de suelo loésico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 24(10), pp. 161-172. <http://hdl.handle.net/11336/146709>
- Contreras, H., Larsen, J., Fernández, S., & Oyama, K. (2023). Climate change, a booster of disease outbreaks by the plant pathogen *Phytophthora* in oak forests. *Rhizosphere*, 27, 100719. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100719>
- EDUCCA. (2025, Junio 29). *Aspectos Generales del distrito de Independencia*. EDUCCA Programa Social: [https://www.muniindependencia.gob.pe/educca/aspectos.php?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.muniindependencia.gob.pe/educca/aspectos.php?utm_source=chatgpt.com)
- Fabbri, A., Baldoni, L., Caruso, T., & Famiani, F. (2023). *The Olive: Botany and Production*. Italy: CABI.
- Fang, L., Liu, Z., Lu, X., Li, J., & Yang, C. (2023). Electrical Conductivity and pH Are Two of the Main Factors Influencing the Composition of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in the Vegetation Succession Series of Songnen Saline-Alkali Grassland. *Journal of Fungi*, 9(9), p. 870. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jof9090870>
- Ferreira, A., Ferreira, E., Ferreira, T., Pinho, T., & Lima, F. (2022, Mar). *Catharanthus roseus*: ornamental e curativa. *Archives of Health*, 3(2), pp. 242-248. <https://ojs.latinamericanpublicacoes.com.br/ojs/index.php/ah/article/view/935>
- Gamboa, P. (2019). *Aplicación de biol mediante la técnica en ferdín en el crecimiento de Coffea arabica L. variedad catuai, en Satipo*. Satipo: Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7286>
- Gunasekara, Y., Kottawatta, S., Nisansala, T., Silva, A., & Kalupahana, R. (2023). Tackling Antimicrobial Resistance Needs One Health Approach. *One Health: Human, Animal, and Environment Triad*, 30(3), 143-158. <https://doi.org/10.1111/tmi.14084>
- Hernandez, M., Lopez, E., Jaramillo, M., & Posada, A. (2020, Julio-Diciembre). Identificación de microorganismos biorremediadores de suelos agrícolas del norte de Antioquia para degradación de Clorpirifos. *Revista Politécnica*, 16(32), pp. 96-110. <https://doi.org/https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n32a9>
- Jaramillo, D. (2010). Variabilidad espacial de la temperatura superficial del suelo y de algunas variables de producción en cultivos de crisantemo bajo invernadero. *Revista Científica UDO Agrícola*, 10(1), pp. 68-75. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3909936>
- Jones, A., Kafle, A., & Rose, B. (2025). The external potassium availability determines the effect of the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* on salinity tolerance in soybeans. *Symbiosis*, 1(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s13199-025-01071-0>
- Li, Y., Chen, Y., Li, M., Lin, X., & Liu, R. (2018, February). Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Communities on Soil Quality and the Growth of Cucumber Seedlings in a Greenhouse Soil of Continuously Planting Cucumber. *Pedosphere*, 22(1), pp. 79-87. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(11\)60193-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60193-8)
- Mitra, D., Panneerselvam, P., Senapati, A., Chidambaranathan, P., & Kumar, A. (2023). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Response on Soil Phosphorus Utilization and Enzymes Activities in Aerobic Rice under Phosphorus-Deficient Conditions. *Life*, 13(5), p. 1118. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/life13051118>



- Motatix, C., & Eche, M. (2021). Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *Siembra*, 8(1), pp. 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>
- Mulyadi, L., & Jiang, L. (2023). Combined Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Nitrogen Fertilizer Alters the Physicochemical Soil Properties, Nitrogen Uptake, and Rice Yield in a Polybag Experiment. *Agriculture*, 13(7), p. 1364. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture13071364>
- Nath, A., Kour, D., Kaur, T., Devi, R., Yadav, A., Dikilitas, M., . . . Kumar, A. (2021). Biodiversity, and biotechnological contribution of beneficial soil microbiomes for nutrient cycling, plant growth improvement and nutrient uptake. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 102009. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102009>
- Núñez, J. (2022, Diciembre). Análisis espacial de las áreas verdes urbanas de la Ciudad de México. *Economía, sociedad y territorio*, 21(67), pp. 803-833. <https://doi.org/https://doi.org/10.22136/est20211661>
- Pan, X., Li, H., Wu, J., Li, Q., Zhou, Y., & Yang, P. (2025, Jun 11). Mycorrhiza Inoculation and Soil-Available Phosphorus Modulate Phosphorus Acquisition Strategies of Alfalfa. *J Agric Food Chem*, 73(23), pp. 14265-14279. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c05160>
- Qi, S., Wang, J., Wan, L., Dai, Z., & da Silva, D. (2022, March 23). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Contribute to Phosphorous Uptake and Allocation Strategies of Solidago canadensis in a Phosphorous-Deficient Environment. *Front. Plant Sci*, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2022.831654>
- Ramírez, A., Guerrero, A., Zavala, J., García, E., Sanchez, R., & Rincón, J. (2023). Evaluación de la calidad de suelo de Tabasco, México, con métodos convencionales, espectroscopia de infrarrojo cercano y quimiometría. *Terra Latinoamericana*, 1(41), pp. 1-12. <https://doi.org/https://doi.org/>
- Rohyadi, A., Smith, F., Murray, R., & Smith, S. (2014, March). Effects of pH on mycorrhizal colonisation and nutrient uptake in cowpea under conditions that minimise confounding effects of elevated available aluminium. *Plant and Soil*, 260(1), pp. 283-290. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000030183.87228.0b>
- Sharma, P., Kaushaland, S., & Baishya, R. (2023). Biofertilizers Alleviate Salinity Stress in Medicinally Important Plant - Catharanthus roseus (L.) G. Don by Enhancing Morphological and Photosynthetic Attributes. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 1(49), pp. 387-397. <https://doi.org/https://doi.org/10.55863.2023.2742>
- Tao, J., & Liu, X. (2024). Does arbuscular mycorrhizal fungi inoculation influence soil carbon sequestration? *Biology and Fertility of Soils*, 60(1), pp. 213-225. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00374-024-01793-1>
- Terreros, L., Castañeda, J., León, J., & García, S. (2024). Fuente inorgánica de selenio en el cultivo de callos de Catharanthus roseus L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, pp. 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v15i6.3444>
- Timmis, K., & Ramos, J. (2021). The soil crisis: the need to treat as a global health problem and the pivotal role of microbes in prophylaxis and therapy. *Contributions of Microbial Biotechnology to Sustainable Development Goals*, 14(3), 769-797. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13771>
- Weather Spark. (2025, 01 01). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Independencia Perú*. Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/21272/Clima-promedio-en-Independencia-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

- Wu, S., Fu, W., Rillig, C., Chen, B., Zhu, Y., & Huang, L. (2023). Soil organic matter dynamics mediated by arbuscular mycorrhizal fungi – an updated conceptual framework. *New Phytologist*, 242(1), pp. 1417-1425. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/nph.19178>
- 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, p. 960. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12870-024-05638-9>
- 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/https://doi.org/10.1186/s12870-024-05638-9>
- Xuewei, C., Luo, S., & Lyu, S. (2020). Observed soil temperature trends associated with climate change in the Tibetan Plateau, 1960–2014. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, pp. 169-181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00704-017-2337-9>
- Yuan, R., Jin, S., & Lind, W. (2023). Could trust narrow the intention-behavior gap in eco-friendly food consumption? Evidence from China Could trust narrow the intention-behavior gap in eco-friendly food consumption? Evidence from China. *Agribusiness*, 41(1), 260-288. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1002/agr.21886>