



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
E.A.P. DE BIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA



TESIS

“Efecto de las diferentes concentraciones de Micotab en la restauración de la fertilidad de suelo degradado en el anexo Pampa Grande, INIA, Cajamarca 2024-2025”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO BIOTECNÓLOGO

PRESENTADO POR:

BACH. MILENE KATHERINE MARÍN FERNÁNDEZ

ASESOR:

Dra. CARMEN EDDY MEDINA RODRÍGUEZ

CO-ASESORES:

M. Cs. MARIETA ELIANA CERVANTES PERALTA

M. Cs. HANS RAMÓN QUIROZ RUÍZ

CAJAMARCA – PERÚ

2025



Universidad
Nacional de
Cajamarca
"Núcleo de la Universidad Peruana"

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: **Milene Katherine Marín Fernández**
DNI: **71252963**
Escuela Profesional/Unidad UNC: **ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA**
2. Asesor:
Dra. CARMEN EDDY MEDINA RODRÍGUEZ
Facultad/Unidad UNC: **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**
3. Grado académico o título profesional al que accede:
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
Efecto de las diferentes concentraciones de Micotab en la restauración de la fertilidad de suelo degradado en el anexo Pampa Grande, INIA, Cajamarca 2024-2025
6. Fecha de evaluación del antiplagio: **7/10/2025**
7. Software antiplagio: ☒ **TURNITIN** ☐ **URKUND (ORIGINAL) (*)**
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **9 %**
9. Código Documento: **oid:3117:509180683**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO**

Cajamarca, 9 de octubre del 2025



* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

Copyright©

MILENE KATHERINE MARIN FERNANDEZ

Todos los derechos reservados

FICHA CATALOGRÁFICA

Marín, M. 2024. Efecto de las diferentes concentraciones de Micotab en la restauración de la fertilidad de suelo degradado en el Anexo Pampa Grande, INIA, Cajamarca 2024-2025 / Milene Katherine Marín Fernández.

Escuela Académico Profesional de Biología y Biotecnología

Asesor: Dra. Carmen Eddy Medina Rodríguez

Disertación académica para obtener el título profesional de Biólogo Biotecnólogo –
UNC 2025.

**Efecto de las diferentes concentraciones de Micotab en la restauración de la
fertilidad de suelo degradado en el anexo Pampa Grande, INIA,
Cajamarca 2024-2025**

AUTOR: Bach. Milene Katherine Marín Fernández

ASESOR: Dra. Carmen Eddy Medina Rodríguez

Tesis evaluada y aprobada para la obtención del Título Profesional de Biólogo
Biotecnólogo de la Universidad Nacional de Cajamarca, por los siguientes jurados.

JURADO EVALUADOR


PRESIDENTE

Dr. Luis Gilberto García Izquierdo


SECRETARIO

MCs. Arturo Ulises Díaz Aliaga


VOCAL

MCs. William Edgardo Soriano Castillo

Cajamarca, 2025 - Perú



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

Facultad de Ciencias de la Salud

Av. Atahualpa 1050

Teléfono/ Fax 36-5845



MODALIDAD "A"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO BIOTECNÓLOGO

En Cajamarca, siendo las 8:40 am del 03 de octubre del 2025, los integrantes del Jurado Evaluador para la revisión y sustentación de la tesis, designados en Consejo de Facultad a propuesta del Departamento Académico, reunidos en el ambiente 1J-304 de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Cajamarca, dan inicio a la sustentación de tesis denominada:

Efecto de las diferentes concentraciones de nicotina en la restauración de la fertilidad de suelo degradado en el agro Pampa Grande, INIA, Cajamarca 2024-2025

del (a) Bachiller en Ciencias Biológicas:

Milene Katherine Manín Fernández

Siendo las 9:35 am del mismo día, se da por finalizado el proceso de evaluación, el Jurado Evaluador da su veredicto en los siguientes términos: muy bueno, con el calificativo de: 14, con lo cual el (la) Bachiller en Ciencias Biológicas se encuentra apta para la obtención del Título Profesional de: **BIÓLOGO BIOTECNÓLOGO**.

Miembros Jurado Evaluador Nombres y Apellidos		Firma
Presidente:	<u>Dr. Luis Gilberto García Izquierdo</u>	<u>[Firma]</u>
Secretario(a):	<u>MCS. Arturo Ulises Díaz Alaña</u>	<u>[Firma]</u>
Vocal:	<u>MCS. William Edgardo Soriano Castillo</u>	<u>[Firma]</u>
Accesitaria:		
Asesor (a):	<u>Dra. Carmen Eddy Medina Rodríguez</u>	<u>[Firma]</u>
Asesor (a):	<u>MCS. Yaneth Elvira Cervantes Peralta</u>	<u>[Firma]</u>

Términos de Calificación:

EXCELENTE (19-20)

MUY BUENO (17-18)

BUENO (14-16)

REGULAR (12-13)

REGULAR BAJO (11)

DESAPROBADO (10 a menos)

DEDICATORIA

Con gran profundo sentimiento y estima, dedico este logro:

A mi mamá **Yane**, por su fortaleza inquebrantable, y por todo el apoyo que me ha brindado. Acompañándome siempre con su amor incondicional, incluso en los momentos más difíciles.

A mi papá **Juan**, por las enseñanzas, por el respaldo, enseñanzas y los aportes que guiaron etapas importantes en mi vida.

A mi querido **Gussy**, mi inseparable compañero de cuatro patas, quien llena mis días de alegría, consuelo y cariño.

“El mayor descubrimiento es entender la complejidad de la biología y su simplicidad
para crear vida.”

- Rachel Louise Carson

AGRADECIMIENTO

Principalmente, a Dios por prestarme un día más de vida, darme salud y todas sus bendiciones que protegieron y guiaron mi camino, llegando a permitirme conseguir esta gran meta anhelada.

A mi asesora y Co-asesores:

A la Dra. Carmen Eddy Medina Rodríguez, por su apoyo, su tiempo brindado y sus consejos durante y fuera de lo académico.

A la M. Cs. Marieta Eliana Cervantes Peralta, por su confianza, su paciencia, su tiempo, su compromiso y sobre todo por la valiosa oportunidad brindada, agradezco de antemano la calidez de su enseñanza y su sabiduría a lo largo del inicio, desarrollo y fin de esta tesis.

A el M. Cs. Hans Quiroz, por su compromiso, apoyo, paciencia y su fuente de conocimientos que me ayudo a pulir la elaboración de esta tesis.

Al Instituto, Laboratorio LABSAF y Proyecto:

Agradezco al Instituto Nacional de Innovación Agraria, EEA-Baños del Inca, y al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliare, por siempre recibirme con las puertas abiertas de sus instalaciones. Así mismo por dejarme participar en el proyecto PP089, y así poder realizar este estudio experimental. De la misma forma, a los compañeros del laboratorio, por su gran apoyo en campo y en los ensayos de laboratorio.

Finalmente, con gran estima y reconocimiento, agradezco individualmente a todos mis docentes universitarios, que forjaron y nutrieron de conocimiento mi formación profesional. Además, también, aquellas amistades que conocí y que me apoyaron cuando más lo necesitaba, llegando a enseñarme importantes lecciones de vida.

TABLA DE CONTENIDO

Título.....	xv
Resumen	xvi
Abstract	xvii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	2
MARCO TEÓRICO.....	2
2.1. Antecedentes de investigación	2
2.2. Bases teóricas.....	4
2.2.1. Suelo: definición, características y fertilidad	4
2.2.2. Parámetros o indicadores.....	5
2.2.3. Degradación.....	9
2.2.4. Importancia de los suelos	10
2.2.5. Restauración de suelos.....	10
2.2.6. Asociaciones micorrízicas.....	10
a. Características	10
b. Beneficios para las plantas y el suelo	11
c. Clasificación	11
d. Características del Phylum Glomeromycota.....	12
e. Micorrizas arbusculares (MA).....	13
f. Mecanismo de acción	13
2.2.7. Micotab	14
a. <i>Glomus</i> sp	15
b. <i>Acaulospora</i> sp	15
c. <i>Entrophospora</i> sp	16
d. <i>Gigaspora</i> sp.....	17
2.2.8. Compost.....	17
CAPÍTULO III	18
DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	18
3.1. Nivel de investigación.....	18
3.2. Tipo y diseño de estudio	18
3.2.1. Tipo de investigación	18
3.2.2. Diseño de investigación	18
3.3. Material biológico.....	18
3.4. Unidad de análisis.....	18
3.5. Localización y descripción de la zona de muestreo	19
3.6. Preparación de los inóculos y abonamiento.....	19

3.7. Inoculación y siembra de plantas por tratamiento	20
3.8. Verificación y seguimiento en campo	20
3.9. Deshierbo	20
3.10. Riego.....	21
3.11. Fertilización	21
3.12. Implante sistemático de tutores.....	21
3.13. Recolección de muestras edáficas.....	22
3.14. Ingreso de muestra al laboratorio	22
3.15. Medición de parámetros de fertilidad de suelo	22
a. Evaluación de pH.....	22
b. Evaluación de la conductividad eléctrica.....	22
c. Evaluación de materia orgánica.....	23
d. Evaluación de nitrógeno.....	23
e. Evaluación de fósforo.....	23
f. Evaluación de potasio.....	23
g. Evaluación de carbonatos de calcio equivalente.....	23
3.16. Muestreo final del suelo	24
3.17. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.18. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	24
CAPÍTULO IV	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. Resultados	25
4.1.1. Caracterización inicial del suelo	25
4.1.2. Reporte de los parámetros de fertilidad del suelo en el ensayo	25
4.1 3.Evolución de la fertilidad del suelo según la dosis de tratamiento con Micotab	27
a. Evolución del pH	27
b. Evolución de la conductividad eléctrica	27
c. Evolución de la materia orgánica	28
d. Evolución del nitrógeno	28
e. Evolución del fósforo	29
f. Evolución del potasio	29
4.1.4. Distribución y variabilidad de los parámetros fisicoquímicos.....	30
a. Potencial de hidrógeno	30
b. Conductividad eléctrica	31
c. Materia orgánica.....	31
d. Nitrógeno.....	32
e. Fósforo	32
f. Potasio	33
4.1.5. Análisis de la relación de carbonatos	34

a. Observación sobre el método de carbonatos de calcio equivalentes	34
4.1.6. Correlación de los parámetros fisicoquímicos por tratamiento	34
a. Asociación entre materia orgánica y nitrógeno.....	34
b. Asociación entre materia orgánica y fósforo.....	35
c. Asociación entre materia orgánica y potasio	36
d. Asociación entre el potencial de hidrógeno y fósforo.....	36
e. Asociación entre el potencial de hidrógeno y potasio.....	37
f. Asociación del potencial de hidrógeno y la conductividad eléctrica.....	37
g. Asociación entre la conductividad eléctrica y potasio	38
h. Asociación entre la conductividad eléctrica y fósforo.....	39
i. Asociación entre la conductividad eléctrica y nitrógeno	39
j. Asociación entre el nitrógeno y potasio	40
k. Asociación entre el nitrógeno y fósforo.....	41
4.1.7. Evaluación del Micotab sobre la restauración de la fertilidad del suelo	41
a. Efecto del Micotab evaluado mediante el pH.....	41
b. Efecto del Micotab evaluado mediante la CE	42
c. Efecto del Micotab evaluado mediante la MO.....	42
d. Efecto del Micotab evaluado mediante el Carbonato de calcio	43
e. Efecto del Micotab evaluado mediante el P.....	43
f. Efecto del Micotab evaluado mediante el K.....	44
g. Efecto del Micotab evaluado mediante el N.....	45
4.2. Discusión	46
4.2.1. Condición fisicoquímica inicial del suelo experimental.....	46
4.2.2. Evolución de la fertilidad del suelo según el tratamiento con Micotab	47
a. Cambio del pH, CE y carbonatos	47
b. Cambio de la materia orgánica	48
c. Cambio de los nutrientes del suelo (NPK)	48
4.2.3. Efecto de las diferentes concentraciones de Micotab en la fertilidad del suelo .	49
4.2.4. Análisis de las correlaciones entre variables fisicoquímicas.....	49
4.2.5. Evaluación del resultado final del tratamiento con Micotab	50
CAPÍTULO V.....	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
5.1. CONCLUSIONES	52
5.2. RECOMENDACIONES.....	52
LISTA DE REFERENCIAS.....	53
APÉNDICES	60
ANEXOS	67

LISTA DE ABREVIATURAS

INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
EEA	Estación Experimental Agraria
HMA	Hongos Micorrízicos Arbusculares
MO	Materia Orgánica
pH	Potencial de Hidrógeno
CE	Conductividad Eléctrica
NPK	Relación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio
LABSAF	Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliares
DCA	Diseño Completamente al Azar
ME	Microorganismos Eficientes

GLOSARIO

Antropogénica:

Actividad originada por seres humanos, que pueden causar un impacto positivo o negativo en la naturaleza (RAE, 2025).

Bioestimulación:

Proceso que involucra la adición de sustratos, nutrientes y/o microorganismos en un entorno, con la finalidad de modificarlo y mejorar su estado natural (Helbling, 2015).

Biótrosos:

Organismos parasitarios oportunistas o mutualistas obligados que, viven, se desarrollan y multiplican en las células vivas de sus hospederos (Aguado, 2012; RAE y FECYT, s.f.).

Cationes:

Iones con carga positiva, importantes en la biología, debido a que intervienen en el rendimiento óptimo a nivel celular (Clínica Universidad de Navarra, 2025).

Ciclos biogeoquímicos:

Sistemas naturales que funcionan como reserva de nutrientes en los que se muestra la circulación de los elementos químicos esenciales para la vida en condiciones bióticas y abióticas, así como su redistribución en el medio (Enciclopedia Británica, 2025).

Desertificación:

Proceso involucrado en el deterioro constante de las tierras, que generalmente son a causa de las actividades humanas y de las variaciones climáticas (FIDA, 2010).

Erosión Del Suelo:

Desgaste, desplazamiento y eliminación de la capa superficial del suelo altamente fértil, a causa de factores ambientales y la actividad humana (FAO, 2025).

Exudados Radiculares:

Compuestos liberados por las plantas que pueden ser polisacáridos; aminoácidos; ácidos orgánicos; compuestos fenólicos; enzimas; reguladores de crecimiento; entre otros. Importantes para la interacción de las raíces y microorganismos presentes (RRS., 2023).

Germinación hifal:

Conversión fisiológica de la espora del hongo, pasando del estado latente a un estado vegetativo que se desarrolla y reproduce (Sephton-Clark y Voelz, 2018).

Helada:

Fenómeno meteorológico que descende la temperatura produciendo cristales de hielo que llegan a quemar hojas de las plantas (RAE, 2024).

Micelio:

Estructura vegetativa de los hongos que tienen forma de hilos ramificados, quienes son responsables de la nutrición, expansión y reproducción del individuo por todo el sustrato (RAE, 2023a).

Simbiosis:

Proceso en el cual se agrupan y vinculan organismos de diferentes especies, con la finalidad de obtener algún beneficio (RAE, 2023b).

“Efecto de las diferentes concentraciones de Micotab en la restauración de la fertilidad de suelo degradado en el anexo Pampa Grande, INIA, Cajamarca 2024-2025”

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de MICOTAB: T0 (control); T1 (62,5 Kg/ha); T2 (125 Kg/ha) y T3 (187,5 Kg/ha), sobre la restauración de la fertilidad del suelo degradado del anexo Pampa Grande-INIA. Se evaluó la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos obtenidos, luego de analizar muestras edáficas recolectadas antes, durante y después del tratamiento. Se planteó que la bioestimulación del producto mejorará la fertilidad del suelo, siendo la de mayor concentración la más efectiva.

Al iniciar el ensayo, el suelo presentaba signos de degradación debido al desequilibrio nutricional. Por tanto, aunque, los tratamientos T2 y T3 tuvieron mayor rango de variabilidad, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas. A nivel descriptivo, el pH se mantuvo en un rango óptimo (6,0 a 7,0); la conductividad eléctrica varió de 2,8 a 9,2 mS/m; la materia orgánica osciló entre 2,3 y 3,2%; el nitrógeno total entre 1,3-2,5 mg/g; el fósforo entre 15,2-56,3 ppm y el potasio entre 140-470,9 ppm. Dentro de esta evaluación general, se presume que el T2, mantiene de mejor manera el equilibrio de los macronutrientes, aunque sin alcanzar significancia estadística.

Estos resultados sugieren, que el suelo reacciona de manera variable ante los tratamientos aplicados, el cual deberá ser confirmada en futuras investigaciones con mayor replicación y tiempo de evaluación.

Palabras clave: HMA, MICOTAB, fertilidad del suelo, inoculante biológico, suelo degradado, compost, restauración.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of different concentrations of MICOTAB: T0 (control); T1 (62.5 kg/ha); T2 (125 kg/ha) and T3 (187.5 kg/ha) on the restoration of soil fertility in the degraded soil of the Pampa Grande-INIA annex. The variability of the physicochemical parameters obtained after analyzing soil samples collected before, during, and after treatment was evaluated. It was proposed that the biostimulation of the product would improve soil fertility, with the highest concentration being the most effective.

At the start of the trial, the soil showed signs of degradation due to nutritional imbalance. Therefore, although treatments T2 and T3 had a greater range of variability, no statistically significant differences were observed between them. At a descriptive level, the pH remained within an optimal range (6.0 to 7.0); electrical conductivity varied from 2.8 to 9.2 mS/m; organic matter ranged from 2.3 to 3.2%; total nitrogen ranged from 1.3 to 2.5 mg/g; phosphorus between 15.2-56.3 ppm, and potassium between 140-470.9 ppm. Within this general assessment, it is presumed that T2 better maintains the balance of macronutrients, although without reaching statistical significance.

These results suggest that the soil reacts variably to the treatments applied, which should be confirmed in future research with greater replication and evaluation time.

Keywords: HMA, MICOTAB, soil fertility, biological inoculant, degraded soil, compost, restoration.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Diariamente, el origen de los alimentos que consumimos depende en un 95% de la actividad del suelo (FAO, 2022). En este sentido, cuando este se degrada por diversos factores, principalmente la actividad antropogénica, como los malos riegos; sobreexplotación de cultivos; uso de agroquímicos; entre otros, su calidad disminuye paulatinamente, afectando la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas o de cualquier interacción microbiológica (FAO, 2020; Serquen y Llontop, 2020).

En Cajamarca, la degradación de suelos está en crecimiento, aunque actualmente no se dispone de una estadística que la represente, hay informes que hasta el 2010 se indicaba que el 45.24% del territorio productivo estaba siendo afectado, expandiéndose a las zonas de mayor pendiente y vulnerabilidad (Alcántara, 2010). A pesar de las capacitaciones sobre el manejo adecuado de las tierras, las mejoras son limitadas (Mora y Sernaque, 2019). Frente a esto, se usa abonos tradicionales (INIA, 2020), originando otros problemas debido a las propiedades químicas de su composición (Atalaya, 2023).

Esta investigación se propuso estudiar el efecto de las diferentes concentraciones del Micotab, inoculado en el suelo degradado en el anexo Pampa Grande-INIA. Donde se hipotetizó que, la bioestimulación del producto mejorará la fertilidad del suelo, siendo la de mayor concentración la más efectiva. Los indicadores del progreso incluyeron el aumento de la proporción de materia orgánica; la estabilización del pH y la conductividad eléctrica (CE) y así mismo, un incremento de la relación de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK). Donde los resultados obtenidos, serán fundamentales para la creación de un posible plan de manejo que utilice la bioestimulación como método alternativo más sostenible para la restauración de suelos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Ferreira *et al.* (2022), en Brasil, evaluaron como los HMA impactan en el suelo degradado. Como resultado, incrementaron la disponibilidad de P y estabilizaron el pH en el suelo restaurado (29,47 ppm y 4.98) frente al degradado (6,76 ppm y 4.71), predominando los hongos de Phylum Glomeromycota. Por otra parte, el suelo dañado presentaba altos niveles de aluminio, sodio y CE. Concluyendo que, estos organismos ejecutan interacciones en el suelo, afectando la disponibilidad de nutrientes.

García *et al.* (2023), en Argentina, evaluaron la restauración de ribereñas utilizando fitorremediación; HMA y rizobios, llegando a mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo. El pH se estabilizó a 7,8 y la CE descendió a 310 mS/m. Además, la MO se incrementó a 5,19 %; el N disminuyó ligeramente a 3,7 mg/g; el P disminuyó a 15,88 ppm. Concluyendo que, la simbiosis de los HMA en las raíces de *L. tenuis*, incrementa la disponibilidad de nutrientes y favorece la fertilidad de la ribereña a pesar de las condiciones abióticas y estrés por la presencia de metales pesados.

Llanos *et al.* (2023), en Perú, identificaron especies de HMA en plantas de cacao asociados al suelo rizosférico y su impacto sobre él. Para ello, procesaron muestras de tierra, obteniendo esporas e identificándolas mediante microscopía. Siendo las especies más representativas: *Glomus* (35%), *Acaulospora* (25%) y *Gigaspora* (5%). El análisis fisicoquímico indicó que el pH osciló entre 6,78 y 8,49; la CE de 42.0 mS/m, la concentración de P de 13.615 ppm y el nivel de N de 1,8 mg/g. Concluyendo que, la asociación micorrícica se encuentra de manera natural en el suelo, con un rol relevante en la disponibilidad de nutrientes en el medio.

Valdiviezo, L. (2021), en Tarapoto-Perú, evaluó la asociación de leguminosas con HMA, con el fin de restaurar suelos degradados. El estudio utilizó una mezcla de tierra inoculada con las especies de hongos *Acaulospora* sp., *Acaulospora appendicula* y *Ambispora appendicula*. Determinando que la asociación de *Acaulospora* ayudó al aumento de área vegetal y obtuvo un 71,48% de colonización. Sugiriendo que las diferentes especies de HMA participan en el crecimiento y desarrollo de las plantas, así mismo en las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Palao & Saavedra (2020), evaluó el efecto de las diferentes concentraciones de HMA usando plantas de cacao, con la finalidad recuperar suelos agrícolas. Utilizó mezclas de tierra compuestas por arena (31.5%); arcilla (49.5%) y limo (10%), a diferentes concentraciones de complejos micorrícicos T1(0g); T2 (5g); T3 (10g) y T4 (15g). Demostrando que el T3, obtuvo la mayor concentración de N (0,12%), mientras que la mejor disponibilidad de P (36,0%) y K (443 ppm) se observó en el T4. Se concluyó que los microorganismos son capaces de recuperar la fertilidad del suelo.

Flores (2023), en Lima-Perú, evaluó el efecto individual de HMA, ME y *Trichoderma harzianum*, sobre el cultivo de *S. tuberosum*. El tratamiento de HMA consistió en la mezcla de 1 Kg de Micotab en 12,5 Kg de guano de ovino. En campo se inoculó 30g por planta de la mezcla obtenida. Como resultado las plantas alcanzaron alturas promedio de 6,06 cm (30 días); 23, 20 cm (60 días) y 31,88 cm (90 días). El rendimiento agrícola que obtuvo fue de 43,11 tn/ha cultivadas con este tratamiento. Concluyó que el Micotab mejora el comportamiento agronómico de la papa, siendo tan efectivas como *T. harzianum* y superior a los ME.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Suelo: definición, características y fertilidad

El suelo se define, como un recurso natural con propiedades fisicoquímicas y biológicas. Además de ser una estructura que contiene, crea y almacena vida, su relevancia radica no solo en la producción agrícola, sino también da alcance hacia la investigación, entre otras funciones (Camargo *et al.*, 2022). Se clasifica por un perfil edáfico, siendo el horizonte H y O los más evaluados para el cultivo, puesto que cuentan con mayor concentración de materia orgánica (FAO, 2006).

La capa superficial del suelo está constituido principalmente por la MO visible (restos en descomposición) o en estado coloidal llamado “humus” (restos descompuestos), tiene minerales que son partículas inorgánicas de diferentes tamaños que al unirse forman terrones, esenciales en la estructuración del suelo; además del agua, que puede estar de forma libre o ligada (en los poros o unidas a las partículas del suelo, respectivamente); y por último el aire presente en las cavidades o espacios libres del suelo, quien tiene una relación inversa con el agua (FAO, 2006), (**figura 1**).

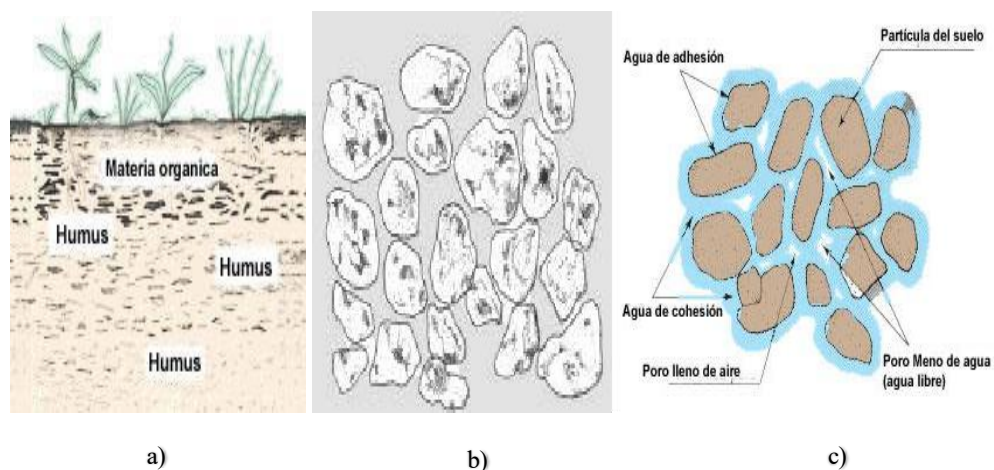


Figura 1. Elementos que constituyen el suelo donde, a) Materia orgánica visible y humus; b) Minerales en forma de terrones; c) Agua libre y ligada (FAO, 2006).

Los suelos pueden ser de origen mineral u orgánico, aunque otra clasificación es de acuerdo con el tamaño de partícula que maneja el suelo, se ordenan como grava, turba, arenoso, limo, arcilla y franco: el arenoso es poroso, quien facilita el paso del agua y aire; el limo por su parte es compacto; el arcilloso, contiene MO, retiene más agua, pero es difícil de manejar; la turba, suelo totalmente orgánico; la grava, no retiene bien los nutrientes y suelen ser pedregosos; y el franco, que es el más óptimo por ser una combinación de suelo arenoso, limo y arcilla (FAO, 2006).

La fertilidad, es el resultado de la interacción armónica de los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo, dándole la capacidad de sostener el crecimiento y desarrollo de las plantas, sin embargo, no es lo único importante para obtener buenos cultivos, sino que se tiene que considerar otras variables no controlables como, por ejemplo; el clima (IAEA, 2024; Sánchez, 2007).

2.2.2. Parámetros o indicadores

Entre los parámetros que permiten evaluar los niveles de fertilidad, tenemos:

- a. **pH:** este parámetro involucra la solubilidad de los nutrientes e interviene en la habilidad para la adsorción de estos, además de acelerar o disminuir el ritmo de la humificación y mineralización, tiene una escala de 0-14, siendo 7 el neutral, menor a este es ácido y mayor a este es alcalino: un pH ácido es perjudicial para las raíces, al tener menor contenido de cationes como: Ca, Mg, K, hay menor actividad biológica, y se reduce la disponibilidad de P originando formas precipitadas insolubles con Mn; Al; Fe; entre otros, por otro lado, un pH básico, tiene mucha carga catiónica llegando a intervenir la asimilación de Fe, Mn y Zn, originando también compactaciones e impermeabilidad, sin embargo, el pH neutral, es el óptimo para el desarrollo y absorción de los nutrientes (Andrades y Martínez, 2022), (**Tabla 1**).

Tabla 1. Clasificación de los suelos según el pH

pH	Clasificación
< 5,5	Muy ácido
5,6 – 6,5	Ácido
6,6 – 7,5	Neutro
7,6 – 8,5	Básico
> 8,6	Muy básico

Fuente: (Andrades & Martínez, 2022).

- b. Conductividad eléctrica:** indica la cantidad de sales que están de forma soluble en el medio, ya sea de forma concentrada o deficiente, entre los cationes más relevantes que originan la salinidad tenemos al Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y entre los aniones que reducen la salinidad tenemos al carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^{-}), cloruro (Cl^{-}) (Andrades y Martínez, 2022), (**tabla 2**).

Tabla 2. Clasificación de los suelos según la CE

CE (dS/m)	CE (mS/cm)	Clasificación
< 2	< 200	No salino
2-4	200-400	Muy ligeramente salino
4-8	400-800	Ligeramente Salino
8-16	800-1600	Moderadamente salino
> 16	>1600	Fuertemente salino

Fuente: Clasificación de los suelos (Andrades & Martínez, 2022).

- c. Carbonatos de calcio equivalente:** su presencia de manera sobresaturada o carente suele originar problemas en el desarrollo de las plantas, por lo que, suelos con pH cercano a 8, es por la presencia de carbonato cálcico; pero si el pH es mayor a 8,5 tenemos mayor contenido del carbonato sódico, (**tabla 3**); si los carbonatos son superiores al 8-10% se recomienda analizar la caliza activa quien es muy reactiva químicamente (Andrades y Martínez, 2022).

Tabla 3. Clasificación de los suelos según los carbonatos de calcio

Carbonatos %	Clasificación
< 5	Muy bajo
5-10	Bajo
10-20	Normal
20-40	Alto
> 40	Muy alto
% de Caliza Activa	Clasificación
<6	Bajo
6-9	Medio
>9	Alto

Fuente: (Andrades y Martínez, 2022).

d. Materia orgánica: está ligada a la estructura del suelo y la cantidad de restos orgánicos presente (materia vegetal), así como de la textura y el pH, su equilibrada concentración permite una mayor retención de agua, protección ante la erosión del suelo debido a la influencia en la estructuración del suelo, una óptima aireación y aumentar el almacenamiento de nutrientes en el medio (Andrades y Martínez, 2022), (tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de los suelos según la MO

Arenoso	Franco	Arcilloso	Clasificación
<0,7	<1,0	<1,2	Muy bajo
0,7-1,2	1,0-1,5	1,2-1,7	Bajo
1,2-1,7	1,5-2,0	1,7-2,2	Normal
1,7-2,2	2,0-2,5	2,2-3,0	Alto
>2,2	>2,5	>3,0	Muy alto

Fuente: (Andrades y Martínez, 2022).

e. Fósforo disponible: el P es muy importante en el suelo ya que interviene en el desarrollo de las raíces, crecimiento vigoroso de las plantas, crecimiento de los frutos, favorece la floración, y origina poros en el terreno permitiendo una mayor aireación y drenaje de agua, entre otras funciones; sin embargo, la mayor limitante, es que es un nutriente poco móvil y es de ahí el problema de su buena disponibilidad en el suelo, por lo que, la materia orgánica juega un papel importante para su asimilación (Andrades y Martínez, 2022), (tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de los suelos según el P (ppm) usando el método Olsen.

Textura del suelo		Clasificación		
		Bajo	Normal	Alto
Secano	Arenoso	< 8	9 – 12	> 13
	Franco	< 12	13 – 18	>19
	Arcilloso	< 15	16 – 24	>25
Regadío	Arenoso	< 12	13 – 18	>19
	Franco	< 15	16 – 25	>26
	Arcilloso	< 20	21 – 30	>31

Fuente: (Andrades y Martínez, 2022).

- f. Nitrógeno total:** en el suelo es importante debido a que estimula el crecimiento de las hojas y tallos, además de relacionarse el proceso de la fotosíntesis, entre otras funciones (Agrolab, s.f.), (tabla 6).

Tabla 6. Concentración del N (mg/g) en el suelo

N (mg/g)	Clasificación
< 0,6	Muy bajo
0,6-1,8 mg/g	Bajo-Moderado
>1,8 mg/g	Alto

Fuente:(Brady y Weil, 2008).

g. Potasio disponible : el K es importante en el suelo ya que ayuda a las plantas, endureciendo los tejidos otorgándoles mayor resistencia al ataque de algunas enfermedades, así como su resistencia a las sequías y heladas, además de esto es el causante de darle sabor y coloración a las plantas, pero su limitante es la baja movilidad, por lo que si no hay una óptima concentración de MO este elemento puede solubilizarse por el riego o lluvia precipitando en los diferentes perfiles edáficos siendo imposible el acceso a las plantas (Andrades y Martínez, 2022), (**tabla 7**).

Tabla 7. Clasificación de los suelos según el K (ppm)

<i>Textura del suelo</i>		<i>Clasificación</i>		
		<i>Bajo</i>	<i>Normal</i>	<i>Alto</i>
<i>Secano</i>	<i>Arenoso</i>	<i>< 95</i>	<i>96-135</i>	<i>> 136</i>
	<i>Franco</i>	<i>< 125</i>	<i>126-195</i>	<i>>196</i>
	<i>Arcilloso</i>	<i>< 155</i>	<i>156-255</i>	<i>>256</i>

Fuente: (Andrades y Martínez, 2022).

2.2.3. Degradación

La degradación es un proceso complejo que involucra la disminución de la fertilidad de los suelos, donde se limita su capacidad para crear y prestar servicios. El desgaste físicoquímico, biológico y ecológico, agota o sobrecarga los recursos nutricionales y materia orgánica, conllevando al deterioro del terreno, en lo que en su mayoría se lo suele confundir con erosión del suelo y desertificación, estos pueden considerarse como sus tipos, ya que involucran sitios y características específicas (FAO, s.f.; Kogut Polina, 2025).

2.2.4. Importancia de los suelos

Los suelos son importantes para la conservación de la vida sobre el planeta tierra , su relevancia principal radica en la fabricación de biomasa y alimentos para el ser humano y animal, pero, también contribuye en los ciclos biogeoquímicos manteniendo los ciclos del carbono; P; N; etc. Además, interviene en la regulación del ciclo del agua, ya sea captándola, filtrándola y almacenándola en su superficie, por otro lado, es una fuente rica de materia prima, y capaz de reservar la biodiversidad, finalmente, hay que mencionar que es importante sumidero de carbono (Sociedad Pública Ihobe, 2020).

2.2.5. Restauración de suelos

Se han planteado diferentes focos de gestión eficaz de la fertilidad del suelo y su restauración, una de ellas involucra el uso de leguminosas, puesto que ayudan a fijar nitrógeno atmosférico, además de incrementar la materia orgánica, además del uso de abonos e insumos orgánicos, evitando la explotación total de la provisión de nutrientes que tiene el suelo, además este manejo asegura de mejor forma la restauración de las propiedades físicas del suelo (Álvarez *et al.*, 2020; IAEA, 2024).

2.2.6. Asociaciones micorrízicas

a. Características

Las micorrizas se definen como la asociación mutualista donde el micelio del hongo infecta las partes radicales de las plantas, teniendo mayor afinidad por los grupos herbáceos terrestres, los hongos que son capaces de establecer este vínculo se engloban en Ascomicetos; Basidiomicetos; Deuteromicetos y Zigomicetos, sin embargo, el requerimiento principal para disponer de una

buena simbiosis es que el suelo cuente con humus o tenga una buena concentración de MO, para que ellos puedan mineralizar o transformar, este tipo de proceso tiene como papel principal el intercambio de nutrientes, por otro lado, se ha determinado que al propagarse la asociación ha incentivado la restauración de suelos en condición deteriorada (Franco, s.f.).

b. Beneficios para las plantas y el suelo

La asociación simbiótica entre hongo y planta genera muchos beneficios, puesto que los hongos se encargan de descomponer la MO disponible, facilitando así que las plantas asimilen de mejor manera los nutrientes y estas a su vez, a través de sus exudados radiculares les facilitan azúcares y ácidos grasos, dependiendo de la especie y la materia consumida, además, los hongos se encargan de almacenar agua en el suelo, permitiendo resistir de mejor manera al estrés hídrico, incentivar la actividad biológica y permiten una mejor defensa de las plantas frente a plagas o enfermedades (Pravia, 2022).

c. Clasificación

De acuerdo con su mecanismo de acción, se clasifican en dos grupos: endomicorrizas el intracelular, donde el micelio del hongo ingresa hacia las células corticales de la raíz, esto es propio de los HMA del Phylum Glomeromycota y las ectomicorrizas que forman una especie de manto que envuelve las superficies radiculares de las plantas, esto es propio de los hongos del Phylum Basidiomycota; Ascomycota y Mucoromycota (Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022). Las asociaciones de los HMA se clasifican en seis tipos de acuerdo con su especialidad, (**tabla 8**).

Tabla 8. Clasificación de las micorrizas

Tipos de micorriza	Clasificación	Características
Arbusculares Orquideoides Ericoides	Endomicorriza	El hongo genera arbusculos, vesículas, estructuras esféricas y dispone de hifas enredadas a nivel intracelular.
Ectomicorriza Monotropoides	Ectomicorriza	Asociación de beneficio de manera indirecta al elaborar un manto y red de Harting.
Arbutoides	Ecto- endomicorriza (posible subtipo)	Es un intermedio, ya que ingresa de menor manera a las células vegetales, y forma un manto.

Fuente: Propia basado en la información de (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

d. Características del Phylum Glomeromycota

Los hongos son individuos que han coexistido desde hace mucho tiempo atrás, cerca de 200 especies son pertenecientes al Phylum Glomeromycota, y se caracterizan por ser lo más diversos entre las plantas, para el intercambio de nutrientes en su simbiosis planta-hongo, sucede por las estructuras ramificadas conocidas como arbusculos (que significan "árboles enanos") otra característica es que son biótrosos por lo que necesitan obligatoriamente de las células de su hospedero (Taylor *et al.*, 2015).

Por lo que no pueden cultivarse de manera aislada, las hifas presentan paredes multicapa no septadas y con grandes esporas, estas están de forma individual o en grupos, estos tienen múltiples núcleos lo que significa que su reproducción no es sexual, sino que hay una combinación genética y estas esporas germinan, cuando lo hacen cerca de la raíz pueden multiplicarse y colonizar a plantas vecinas (Taylor *et al.*, 2015).

e. Micorrizas arbusculares (MA)

Las HMA (342 especies reconocidas), son individuos que forman parte del Phylum Glomeromycota, según el modo alimentación son biótrosos obligados, necesitando de las células vegetales para poder subsistir y propagarse, donde aproximadamente el 80% de las plantas terrestres son mutualistas con estos organismos, llegando a intercambiar nitratos, fosfatos, entre otros compuestos con la finalidad de obtener carbono orgánico, con un ciclo consta de dos etapas morfo-anatómicas: la intrarradical y la extraradical (Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022; Torres *et al.*, 2024; Prieto *et al.*, 2024).

f. Mecanismo de acción

La fase intrarradical consiste en la invasión del micelio hacia el interior de las células corticales, para luego formar los arbusculos quienes son los responsables del intercambio de nutrientes ya que capturan, almacenan y regulan el flujo de estos, luego se forman vesículas intrarradical que almacenan aceites orgánicos, en la fase extraradical se basa en la salida del micelio de la raíz hacia el suelo, con la finalidad de explorar el medio para captar nutrientes y agua, este proceso hace que el mecanismo de acción sea 10 veces mejor que el actuar de planta individualmente, cabe mencionar que su estructura micelar es gruesa con una pared de quitina lisa de color hialino negro, en forma de vasto, no septado de múltiples núcleos, que llegan a producir esporas multinucleadas de gran tamaño (Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022).

Para la germinación hifal, los hongos se condicionan a las señales químicas de la planta, específicamente las fitohormonas como las estrigolactonas, quienes provienen de la degradación enzimática de los carotenoides, funcionando como estimuladores de crecimiento de las raíces y de sus microorganismos, estas hormonas ayudan a la liberación de moléculas de metabolismo fúngico como el factor MyC actuando como regulador de crecimiento de la raíz (Alguacil, 2010; Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022).

Por otro lado, los hongos producen proteínas como la glomalina (Glomalin-related Soil protein), quien fija las partículas y minerales del suelo conservándolas durante el tiempo al ser una molécula lenta de descomponer, llevando así los nutrientes a los diferentes perfiles edáficos (Alguacil, 2010; Carrillo-Saucedo *et al.*, 2022).

2.2.7. Micotab

Producto comercial que contiene micelio extramático de 4 géneros de HMA, del Phylum Glomeromycota, donde se destaca por su relación de planta- hongo, acción denominada micorriza, su contribución principal es a nivel radicular donde se establece de manera simbiótica por necesidad nutricional, donde se beneficia tanto a planta como al hongo, ya que llegan a mineralizar compuestos y retienen el agua, permitiendo el crecimiento de las plantas y mejorando la estructura del suelo, se destaca la colonización integral con las raíces de las plantas, generando una mejor resistencia a la agresión de patógenos y circunstancias desfavorables como las sequias, salinidad, entre otros (Tab tecnologías agrícolas, s.f.). A continuación, se detalla los hongos que participan en el producto, especificando su taxonomía y características representativas.

a. *Glomus sp.*

Género con mayor cantidad de HMA como simbiontes obligados, caracterizado morfológicamente por esporas desarrolladas que se encuentran unidas a una sola hifa esporógena, las esporas son generalmente globosas con al menos 2 a 3 capas de paredes, estas esporas presentan características morfológicas y bioquímicas únicas que ayudan a distinguirlas taxonómicamente, entre las cuales tenemos la clasificación: esporocarpo (tamaño y forma), las hifas (color, forma y tamaño), la anatomía micorrízica (caracteres hifales y esporas intrarradicales), la germinación de esporas (directo o indirecto), entre otros (Bidartondo *et al.*, 2002 & Kirk *et al.*, 2008),(**tabla 9**).

Tabla 9. Clasificación taxonómica de *Glomus sp.*

Dominio	Eucariota
Reino	Fungi
Phylum	Glomeromycota
Clase	Glomeromicetos
Orden	Glomerales
Familia	Glomeraceae
Género	<i>Glomus</i>

Fuente: (LIFEMAP, *s.f.d*; NCBI, *s.f.c*).

b. *Acaulospora sp.*

Este género se caracteriza por sus esporas Acaulosporoides que se encuentran dentro de un sáculo al final de una hifa, dentro de este sáculo se forma un propágulo robusto de paredes gruesas, el cual se desprende finalmente estas esporas, generalmente no se forman en grupos, aunque también se conoce que algunas especies también forman de manera simultánea esporas glomoides o esporas blásticas, esta característica dimórfica en las esporas es considerada de gran importancia taxonómica (Taylor *et al.*, 2014; Walker *et al.*, 2018), (**tabla 10**).

Tabla 10. Clasificación taxonómica de *Acaulospora* sp.

Dominio	Eukaryota
Reino	Fungi
Phylum	Glomeromycota
Clase	Glomeromycetos
Orden	Diversisporales
Familia	Acaulosporaceae
Género	<i>Acaulospora</i>

Fuente: (LIFEMAP, s.f.a; NCBI, s.f.b).

c. *Entrophospora* sp.

Este género presenta la formación de una sola espora globosa marrón amarillento en el tallo hifal del sáculo esporífero, este es inflado por la espora en crecimiento, la cual tiene dos uniones hifales, una proximal y otra distal al sáculo, donde se forman las capas externas de la pared de la espora, que, tras la degradación de estas capas, la espora se mantiene en un pedúnculo la cual constituye su conexión con el sáculo esporífero. Forma micorrizas vesícula-arbuscular (Salmerón-Santiago y edraza-Santos, 2015; Sieverding y Oehl, 2006), (**tabla 11**)

Tabla 11. Clasificación taxonómica de *Entrophospora* sp.

Dominio	Eukaryota
Reino	Fungi
Phylum	Glomeromycota
Clase	Glomeromycetos
Orden	Entrophosporales
Familia	Entrophosporaceae
Género	<i>Entrophospora</i>

Fuente: (LIFEMAP, s.f.b; NCBI, s.f.a).

d. *Gigaspora* sp.

Este género es cosmopolita, se forma de un pequeño bulbo en las hifas subyacentes, expandiéndose para formar un propágulo. La espora se encuentra individualmente y tienen una pared estructural, germinando directamente. Acompañándolas se encuentran las células auxiliares. Presenta una estructura micelial conocida como cicatrización de heridas o puente hifal. (Bonfante, 2022; Walker *et al.*, 2018), (tabla 12).

Tabla 12. Clasificación taxonómica de *Gigaspora* sp.

Dominio	Eukaryota
Reino	Fungi
Phylum	Glomeromycota
Clase	Glomeromycetos
Orden	Diversisporales
Familia	Gigasporaceae
Género	<i>Gigaspora</i>

Fuente: (LIFEMAP, s.f.c; NCBI, s. f.).

2.2.8. Compost

El compostaje es un proceso biológico, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperatura transforma la materia orgánica, convirtiéndose en un producto como abono en la producción agrícola, este acondiciona al suelo con elementos nutritivos que aseguran la fertilidad y produce varios efectos favorables para el área agrícola como la reducción de la erosión, aumenta la retención hídrica, regula el pH, mantiene las reservas de N, formación de quelatos, favorece la respiración radicular, regula la actividad microbiana, disminución de contaminación, destrucción de patógenos durante su fase termófila, entre otros (Docampo, 2013; Ho *et al.*, 2022; Negro *et al.*, 2000).

CAPÍTULO III

DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

3.1. Nivel de investigación

Explicativo: este estudio buscó explicar el efecto de las diferentes concentraciones de Micotab sobre la restauración de la fertilidad de suelo degradado.

3.2. Tipo y diseño de estudio

3.2.1. Tipo de investigación

Básica: este estudio se enfocó en proporcionar nuevos conocimientos acerca del uso del Micotab y su efecto en la restauración de suelos degradados.

3.2.2. Diseño de investigación

Cuasiexperimental: este estudio examinó la relación de causa y efecto de la aplicación del tratamiento con Micotab, en diferentes periodos de tiempo. No obstante, no se logra un control total de las variables.

3.3. Material biológico

El material biológico estuvo constituido por el producto comercial Micotab, que cuenta con el consorcio de 4 géneros fúngicos: *Glomus* spp.; *Gigaspora* spp.; *Entrophospora* spp.; *Acualospora* spp.

3.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis está conformada por cada tratamiento teniendo como área superficial 72 m². pertenecientes al Lote 3 del Anexo Pampa Grande. La distribución se detalla en el (Apéndice 1). Se evaluaron 3 tratamientos y el grupo control, distribuidos en su totalidad en 3 bloques de manera horizontal usando el DCA.

3.5. Localización y descripción de la zona de muestreo

Este estudio inició con el punto de muestreo del Lote 3, en el Anexo Pampa Grande, INIA. Ubicado en el distrito de Cajabamba, Cajamarca. Con coordenadas geográficas: latitud -7.611666; longitud -78.070555; elevación 2620 ± 12 m; precisión 3.3 m. Por otro lado, las muestras se evaluaron en el laboratorio del INIA, Estación Experimental Baños del Inca, Cajamarca. Teniendo como coordenadas geográficas: latitud -7.158888; longitud -78.461666; elevación 2665, (**figura 4**).



Figura 2. Muestra a). Ubicación geográfica del Lote 3 del Anexo Pampa Grande-INIA. Sitio específico de la colecta de muestras. Y b). Ubicación geográfica del Lote 3 del Anexo Pampa Grande- INIA. Sitio específico de la colecta de muestras.

3.6. Preparación de los inóculos y abonamiento

La preparación de los inóculos fue diferenciada para cada tratamiento usando las diferentes concentraciones del Micotab, de cada bloque experimental, en función a su ficha técnica, siendo la superficie analizar 72 m^2 , (**Tabla 13**), (**Anexo 1**).

Tabla 13: Concentración y mezcla de Micotab con compost por tratamiento

Tratamiento	Micotab (Kg/ha)	Compost+Micotab (Kg)	Micotab (g)	Compost (g)
TO	0	0	0	833,33
T1	62.5	0,45	33,33	416.67
T2	125	0,90	66,67	833,33
T3	187.5	1,35	100	1250

Fuente: Elaboración propia apoyado en ficha técnica del producto.

Adicionalmente, el abonamiento de NPK fue estandarizada de igual forma para los 3 tratamientos, incluyendo al grupo control, (**Tabla 14**).

Tabla 14: Dosis de abonamiento NPK estandarizado para gramíneas

Componente	Fórmula química	Cantidad por tratamiento (Kg)
Nitrato de amonio	NH_4NO_3	3,13
Fosfato de amonio	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	0,78
Cloruro de potasio	(KCl)	0,87

Fuente: Elaboración propia, basado en la fertilización para gramíneas.

3.7. Inoculación y siembra de plantas por tratamiento

En campo, el inóculo abonado se administró en conjunto con las semillas de maíz (*Zea mays*) y ñuña (*Phaseolus vulgaris*), plantas seleccionadas por el INIA como parte del proyecto PP089. Se emplearon 3 semillas de maíz y 2 semillas de ñuña por golpe de siembra, durante esta, se llevó 12 golpes por surco, contando con una densidad de 72 plantas por cada tratamiento, siendo la superficie total productiva 864m². Densidad que mantuvo una distancia de 1m entre surcos y 0.50 m entre golpes y plantas.

3.8. Verificación y seguimiento en campo

Se dio seguimiento al experimento una vez al mes, para registrar cambios importantes en los cultivos e identificar cualquier anomalía que afecte la integridad de los tratamientos.

3.9. Deshierbo

El control de las malezas se efectuó mediante el deshierbo manual, donde se retiró y elimino las plantas anexas al cultivo para prevenir competencia por recursos con la asociación de maíz y ñuña. Este procedimiento se realizó en dos momentos claves del experimento, un mes después del cultivo y a los tres meses de desarrollo vegetal.

3.10. Riego

Los tratamientos estudiados recibieron un riego controlado el cual, dependió de la humedad de la tierra y del clima durante el estudio, garantizando la humedad en el terreno y la eficacia para mejorar la interacción microbiológica de los hongos.

3.11. Fertilización

Se incluyó la fertilización mineral al segundo mes de la siembra, aplicando urea en cada tratamiento experimental, incluido el grupo control. Garantizando la disponibilidad de nutrientes en el suelo para el aprovechamiento de las plantas, (Tabla 15).

Tabla 15: Fertilización mineral con urea para cada tratamiento

Tratamiento	Área	Concentración	Inoculación por planta	Cálculo por Lote
T0-T1-T2-T3	72 m ²	900 g	12.5 g	10.800 kg

Fuente: Elaboración propia, basado en la concentración del producto.

3.12. Implante sistemático de tutores

Se adicionó tutores para optimizar el desarrollo y dar soporte a las plantas cultivadas, específicamente a *P. vulgaris*, previniendo el acame y facilitando la captación de luz.



Figura 3. Implante de tutores como guía para el crecimiento de P. vulgaris.

3.13. Recolección de muestras edáficas

La recolección de muestras se realizó 120 días después de iniciar el tratamiento y a los 190 días, utilizando un instrumento llamado barreno (**Apéndice 2**). En primer lugar, se identificó puntos estratégicos en el terreno y se procedió a limpiar el área de cualquier materia vegetal, entre otros componentes que pudieran alterar el análisis. Se tomaron 2 muestras de cada tratamiento en forma de zigzag con una profundidad de 20 cm y un grosor de 5 cm, teniendo un aproximado de 1 Kg entre ambas muestras integradas fueron almacenados en una bolsa ziploc (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2023).

3.14. Ingreso de muestra al laboratorio

En el laboratorio, las muestras se tamizaron para eliminar terrones y/o restos vegetales que llegaran alterar el análisis. Posteriormente se pesó 500 g de suelo por cada tratamiento y se almacenó. Al día siguiente, se volvió a registrar el peso y de no variar este en un 5%, se procede con los siguientes ensayos, (**Apéndice 3**).

3.15. Medición de parámetros de fertilidad de suelo

a. Evaluación de pH

El pH de las muestras de suelo, se evaluaron siguiendo el protocolo de la Norma **EPA 9045D**. Para cada medición, el equipo fue calibrado con soluciones buffer y la temperatura adecuada (United States Environmental Protection Agency, 2004).

b. Evaluación de la conductividad eléctrica

La conductividad de las muestras de suelo, se evaluaron siguiendo el protocolo de la Norma **ISO 11265**. Para cada medición, el equipo utilizado fue calibrado con soluciones buffer y a una temperatura de 25°C (Organización Internacional de Normalización, 1994).

c. Evaluación de materia orgánica

La materia orgánica de las muestras de suelo, se evaluaron siguiendo el protocolo de la **NOM-021**, para luego calcularse el porcentaje basado en la diferencia del volumen usado de sulfato ferroso usado (SEMARNAT, 2002).

d. Evaluación de nitrógeno

El N fue evaluado por el protocolo **AS-07** (método de Kjeldahl), el cual involucra, digestión del suelo usando ácidos y catalizadores. Se asume que en el contenido de materia orgánica el 5% es N, y este a su vez ayuda a convertir el N total a porcentaje de la MO (SEMARNAT, 2002).

e. Evaluación de fósforo

El P fue evaluado con los métodos **AS-10** (Método de Olsen), utilizado para suelos neutros y alcalinos, donde se emplea NaHCO_3 para extraer el P de la muestra y **AS-11** (Método de Bray y Kurtz 1), aplicado en suelos ácidos, usando una solución extractora combinado con ácido clorhídrico y fluoruro de amonio (SEMARNAT, 2002).

f. Evaluación de potasio

El K fue evaluado con el **método AS-12** (Determinación de potasio), enfocado en determinar la concentración del elemento en suelos neutros, usando el equipo micro Kjeldahl para la destilación para luego titular con HCl 0.01N (SEMARNAT, 2002).

g. Evaluación de carbonatos de calcio equivalente

Los carbonatos fueron evaluados en base al **método AS-29** (Determinación de carbonatos de calcio), que fundamenta la reacción de los carbonatos frente a un

ácido fuerte. Determinando cuales son los suelos capaces de neutralizar y es clave para evaluar suelos calcáreos (SEMARNAT, 2002).

3.16. Muestreo final del suelo

Finalizando, se realizó un muestreo del suelo a los 2 meses acabado el ensayo con la finalidad de comparar los valores con el estado inicial, proporcionando un panorama a largo plazo del efecto de los tratamientos, (**Anexo 3**).

3.17. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizaron etiquetas para codificar las muestras de los diferentes tratamientos, según formato del laboratorio. Los datos se procesaron mediante su sistema de registro, que cuenta con cálculos sistematizados para cada procedimiento. Al finalizar se esperó los informes de ensayo emitidos por el LABSAF (**Anexo 2**).

3.18. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se empleó el software IBM SPSS Statistics, usando gráficos agrupados para ver la evolución del parámetro físicoquímicos. Además, del uso de boxplots, para evaluar la variabilidad de los valores en función a los diferentes tratamientos con Micotab. También se evaluó la existencia de correlaciones los parámetros, aplicándose la prueba de correlación de Pearson y diagramas de dispersión.

La prueba de normalidad se evaluó con Shapiro-Wilk para todas las variables menos para MO, que usó la prueba de Kruskal-Wallis, al no cumplir con la normalidad. Por otro lado, se ejecutó el análisis de ANOVA de una vía para determinar las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, seguido de la prueba post hoc de Tukey. Finalmente, mediante gráficos comparativos de líneas se evaluó el efecto final del producto, también se usó el análisis de ANOVA para determinar el efecto progresivo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Caracterización inicial del suelo

Previo a la investigación se realizó un análisis fisicoquímico del suelo. Donde este mostraba una leve acidez, mientras que en conductividad no era salina, sin embargo, se evidenciaba la presencia de carbonatos. El contenido de materia orgánica reflejaba baja actividad biológica. Así mismo, la concentración de fósforo estuvo por encima de la concentración adecuada para los suelos agrícolas, sin embargo, el potasio y el nitrógeno, estuvieron por debajo del nivel óptimo. Por lo tanto, se determinó que el estado inicial del suelo era degradado previamente a la intervención del Micotab, (**Tabla 16**).

Tabla 16. Parámetros fisicoquímicos del suelo degradado.

pH	Carbonatos (%)	M.O %	P (ppm)	K (ppm)	CE (mS/m)	N (mg/g)
6,8	0,4	2,5	26,2	89,9	3,0	1,125

4.1.2. Reporte de los parámetros de fertilidad del suelo en el ensayo

A continuación, se muestran las tablas de las otras tres evaluaciones (durante, al final y luego del tratamiento) para verificar su evolución respecto a los intervalos del tiempo del experimento y al finalizar este, con la finalidad de obtener un panorama íntegro del efecto del producto, (**Tabla 17, 18y 19**).

Tabla 17. Parámetros fisicoquímicos del suelo degradado evaluado durante el ensayo.

Tratamiento	pH	Carbonatos	M.O	P	K	CE	N
T0B1	6.8	0.7	2.0	56.1	245.0	4.6	1.2
T1B1	6.7	0.8	2.3	41.0	284.0	4.5	1.3
T2B1	6.6	0.6	2	48.7	269.5	4.7	1.2
T3B1	7.1	0.9	1.9	32.0	245.9	6.3	1.3
T0B2	6.9	0.9	2.4	37.2	291.5	4.6	1.4
T1B2	6.4	-	2	35.4	265.7	4.4	1.3
T2B2	6.1	-	2	44.9	224.3	4.4	1.3
T3B2	6.5	-	2.2	60.3	386.5	4.6	1.3
T0B3	6.2	-	2.4	51.1	193.6	3.5	1.2
T1B3	6.1	-	2.3	47.0	223.5	5.2	1.3
T2B3	6.1	-	2	38.3	213.7	5.0	1.2
T3B3	5.9	-	2.2	28.3	136.1	2.8	1.1

Tabla 18. Parámetros fisicoquímicos del suelo degradado evaluado al final del ensayo.

Tratamiento	pH	Carbonatos	M.O	P	K	CE	N
T0BI	6.2	-	2.5	15.2	157.0	2.8	1.3
T1BI	6.7	0.9	2.7	33.1	470.9	5.2	1.5
T2BI	6.5	-	2.5	42.0	236.9	4.4	1.5
T3BI	7.0	0.8	2.5	26.3	219.0	5.7	1.3
T0B2	6.7	0.8	2.7	24.1	215.9	7.1	1.4
T1B2	6.6	0.7	2.3	29.2	140.0	3.8	1.4
T2B2	6.0	-	2.4	19.2	268.0	5.1	1.3
T3B2	6.0	-	2.7	37.4	411.0	3.1	2.5
T0B3	6.0	-	2.3	48.3	189.9	8.5	1.5
T1B3	6.0	-	2.3	43.1	291.0	9.2	1.3
T2B3	6.1	-	2.5	56.3	204.0	8.3	1.4
T3B3	6.0	-	3.2	20.5	198.0	7.0	1.4

Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos del suelo degradado luego del ensayo.

pH	Carbonatos	M.O	P	K	CE	N
6,2	-	1,8	38,6	224,0	3,0	0,09

4.1.3. Evolución de la fertilidad del suelo según la dosis de tratamiento con Micotab

Para el análisis se empleó los estadísticos descriptivos y ver los cambios de los parámetros a lo largo de la evaluación (**Apéndice 4**).

a. Evolución del pH

El gráfico evidencia que el pH presentó una ligera disminución en todos los tratamientos e incluso el grupo control respecto al valor inicial. Aunque las diferencias son mínimas, se observa que la aplicación de 187,5 Kg/ha sostuvo un pH ligeramente más alto en comparación con el resto, indicando un efecto más estable en la acidez del suelo, (**figura 4**).

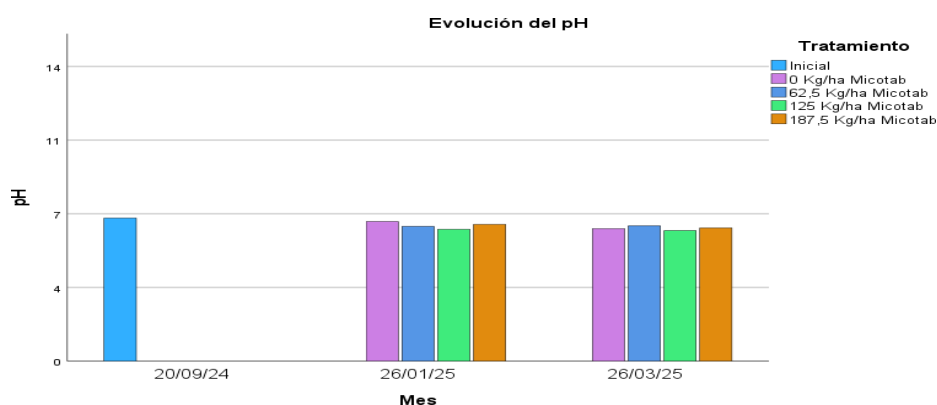


Figura 4. Evolución del pH frente a los diferentes tratamientos.

b. Evolución de la conductividad eléctrica

El gráfico evidencia que la CE aumentó frente al valor inicial. Esto refleja una mayor concentración de sales solubles producto de la mineralización y actividad microbiana. Aunque las diferencias entre tratamientos son ligeros, la dosis 187,5 Kg/ha mostró menor valor y mejor estabilidad, indicando una posible regulación en la liberación de sales, (**figura 5**).

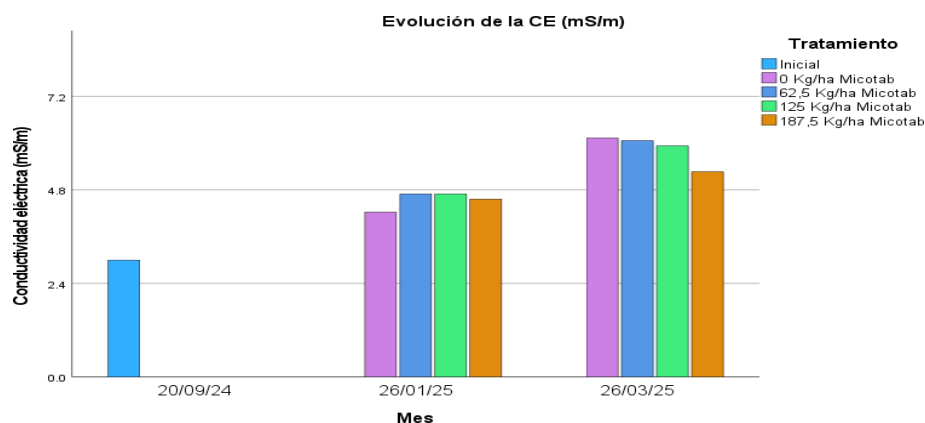


Figura 5. Evolución de la CE frente a los diferentes tratamientos

c. Evolución de la materia orgánica

El gráfico evidencia que la MO llegó a disminuir ligeramente frente al valor inicial durante los 3 primeros meses. Aunque para el final del ensayo, se observa una recuperación, siendo el mayor tratamiento, quien obtuvo el valor más alto. Esto sugiere, que a mayor dosis se favorece de mejor manera la acumulación de MO, posiblemente debido a la actividad microbiana y su aporte en los residuos orgánicos, (figura 6).

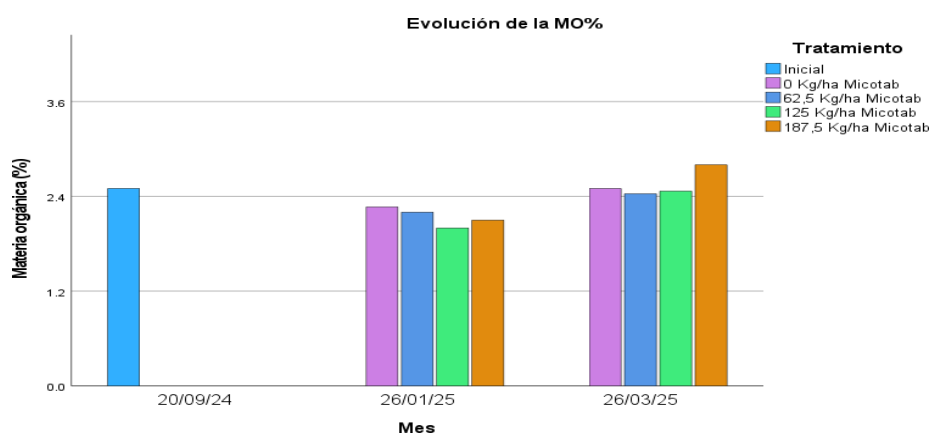


Figura 6. Evolución de la MO frente a los diferentes tratamientos.

d. Evolución del nitrógeno

El gráfico se evidencia que el N llegó a incrementarse progresivamente en todos los tratamientos frente al valor inicial. Donde destaca el mayor tratamiento (187,5 Kg/ha de Micotab). Esto indica que las dosis más altas concentran mayor el contenido de N en el suelo debido a la mayor mineralización de este, (figura 7).

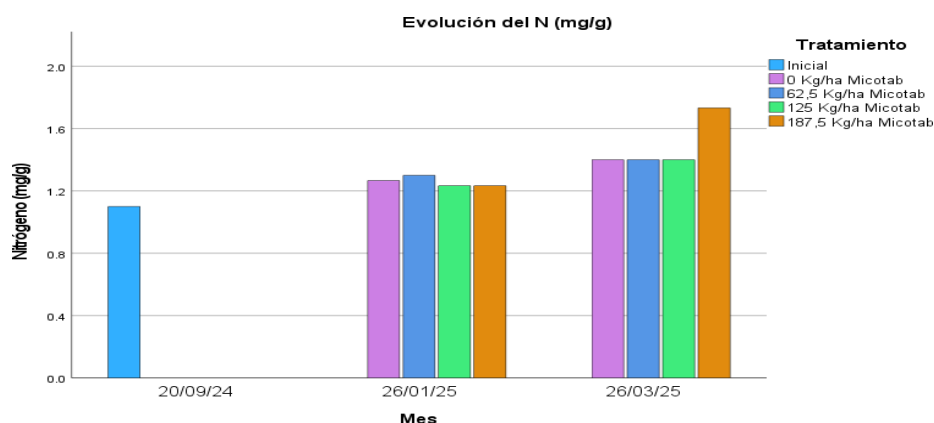


Figura 7. Evolución del N frente a los diferentes tratamientos.

e. Evolución del fósforo

El gráfico evidencia que el P se incrementó durante los 3 primeros meses en todos los tratamientos incluyendo el control. Sin embargo, para el final del ensayo, este descende levemente, pero aun así siguen manteniéndose por encima del valor inicial. Sugiriendo que los tratamientos con dosis intermedias son los mejores en cuanto a la liberación del P en el suelo, **(figura 8)**.

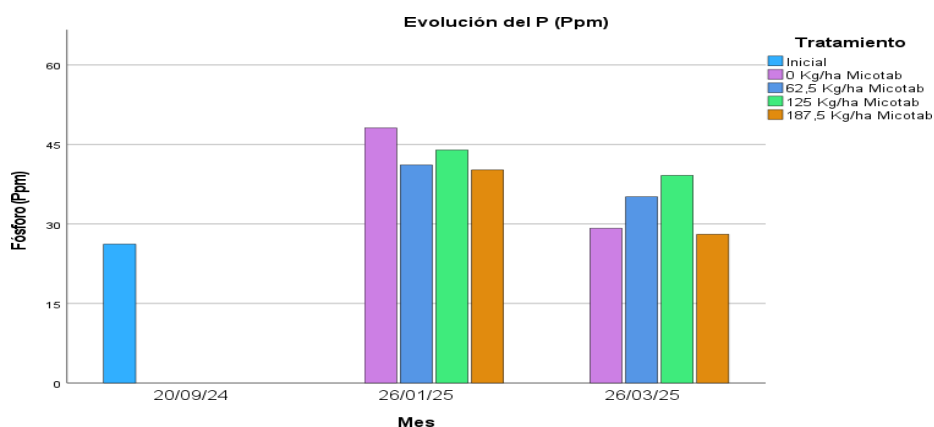


Figura 8. Evolución del P frente a los diferentes tratamientos.

f. Evolución del potasio

El gráfico evidencia que el K llego a incrementarse en todos los tratamientos durante los 3 primeros meses, siendo la dosis de 62,5 Kg/ha la mejor debido a su mayor aumento. Para el final del ensayo, el tratamiento se mantuvo y se incrementó ligeramente en comparación con el grupo control, quien se redujo.

Esto llega a indicar que las intermedias y altas concentraciones contribuyen de mejor a la disponibilidad de K en el suelo, (**figura 9**).

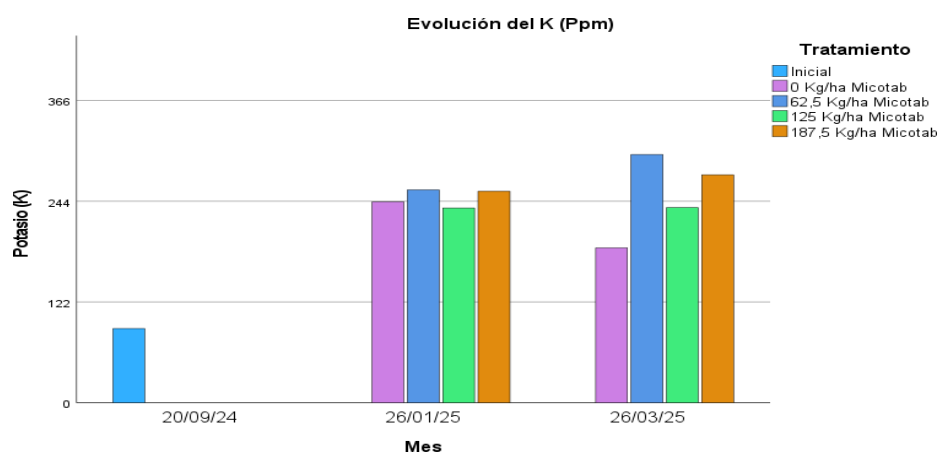


Figura 9. Evolución del K frente a los diferentes tratamientos.

4.1.4. Distribución y variabilidad de los parámetros fisicoquímicos

Las pruebas estadísticas de la variabilidad se muestran más adelante (Apéndice 5,6 y 7)

a. Potencial de hidrógeno

El boxplot del pH muestra que no se obtuvo diferencias significativas entre los diferentes tratamientos según la prueba de ANOVA. Puesto que presentaban rangos estrechos y medianas cercanas entre sí, indicando que la aplicación del inoculante biológico no influyó estadísticamente en el pH del suelo, (**figura 10**).

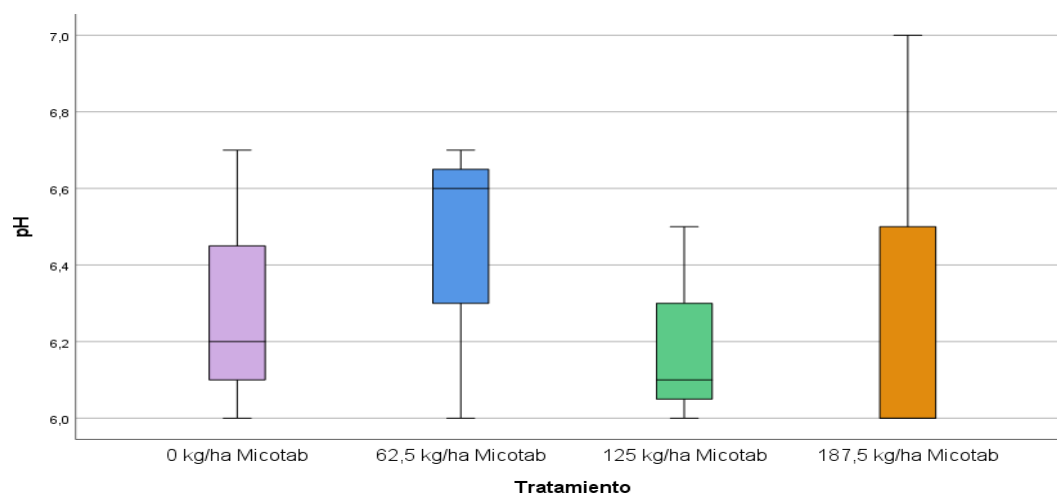


Figura 10. Variación del pH frente a los diferentes tratamientos con Micotab.

b. Conductividad eléctrica

El boxplot de la CE muestra que no se obtuvo diferencias significativas entre los diferentes tratamientos según la prueba de ANOVA. Por lo tanto, el inoculante biológico no generó un efecto estadístico comprobable sobre la conductividad eléctrica del suelo, (figura 11).

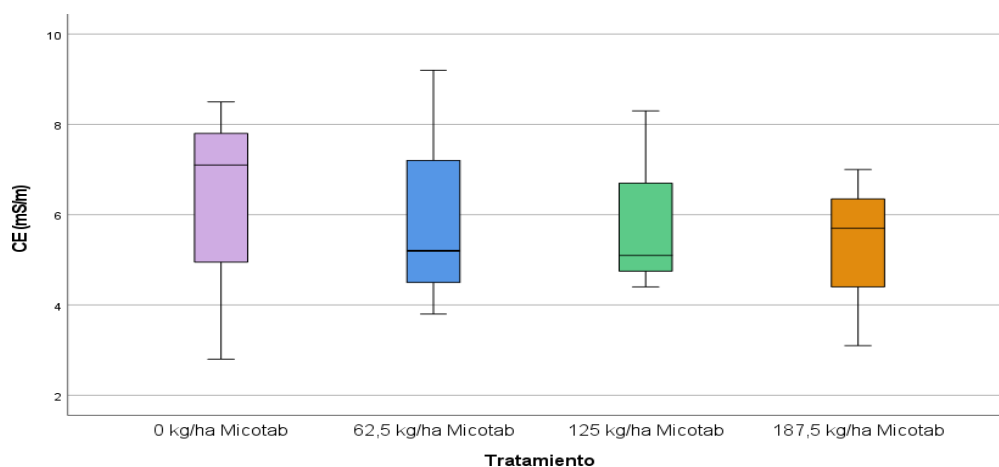


Figura 11. Variación de la CE frente a los diferentes tratamientos con Micotab.

c. Materia orgánica

El boxplot de la MO % señalo que hay una leve tendencia a valores superiores en el T3 de Micotab, entre tanto los demás presentaban valores similares y rangos estrechos. La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis indico que no existen diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos. Por lo que, el inoculante biológico no generó ningún efecto, (figura 12).

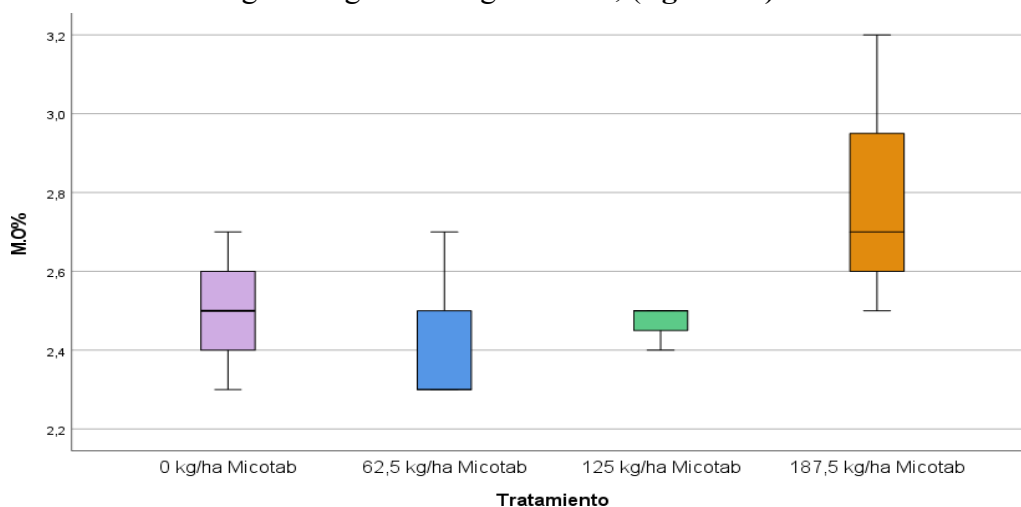


Figura 12. Variación de la MO frente a los diferentes tratamientos con Micotab.

d. Nitrógeno

El boxplot del contenido de N muestra que los tratamientos presentan medianas similares, excepto el T3 quien presenta mayor variabilidad y valores máximos superiores. Sin embargo, no existe diferencias significativas relevantes entre los diferentes tratamientos según la prueba de ANOVA. Por lo que se indica, que el inoculante biológico no generó ningún efecto sobre la concentración del elemento en el suelo, (**figura 13**).

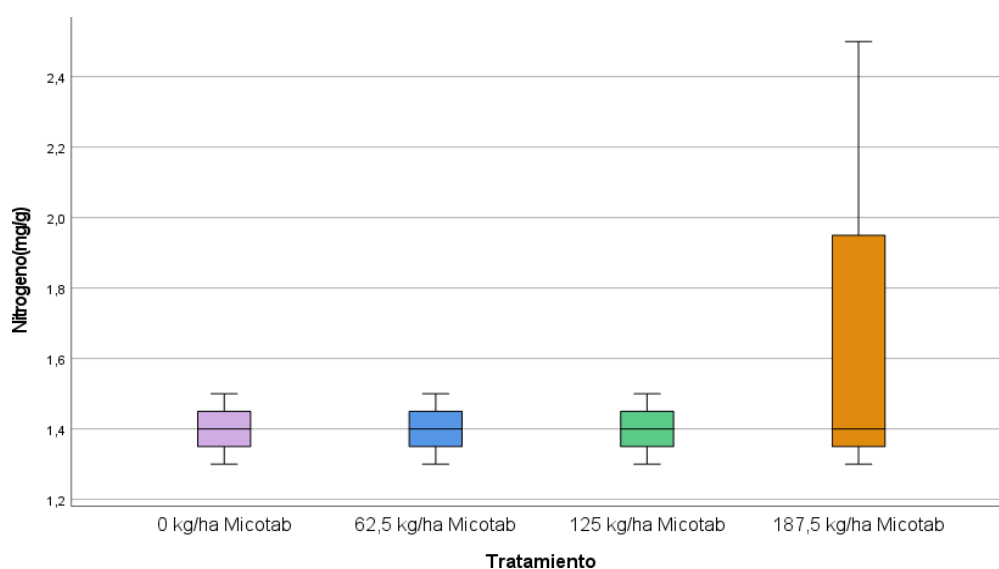


Figura 13. Variación del N frente a los diferentes tratamientos con Micotab.

e. Fósforo

El boxplot de la disponibilidad del P muestra que los tratamientos presentan cierta variabilidad, resaltando que el T2 que obtuvo los valores mayores en cuanto a la concentración del nutriente en el suelo. A pesar de ello, se evaluó que no existe diferencias significativas entre los diferentes tratamientos según la prueba de ANOVA. Por lo que se indica, que el inoculante biológico no generó ningún efecto sobre la concentración del elemento en el suelo, (**figura 14**).

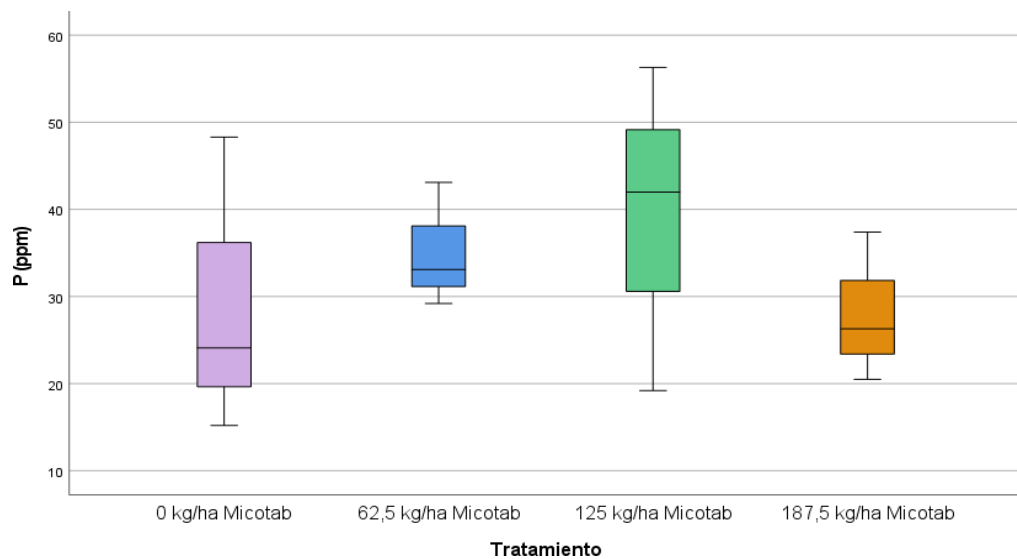


Figura 14. Variación del P frente a los diferentes tratamientos con Micotab.

f. Potasio

El boxplot de la disponibilidad de K muestra que el T1 y el T3, presentan valores máximos en comparación con el otro tratamiento y grupo control. A pesar de esto, no existe diferencias significativas entre los diferentes tratamientos según la prueba de ANOVA. Por lo que se indica, que el producto no generó ningún efecto sobre la concentración del elemento en el suelo, (**figura 15**).

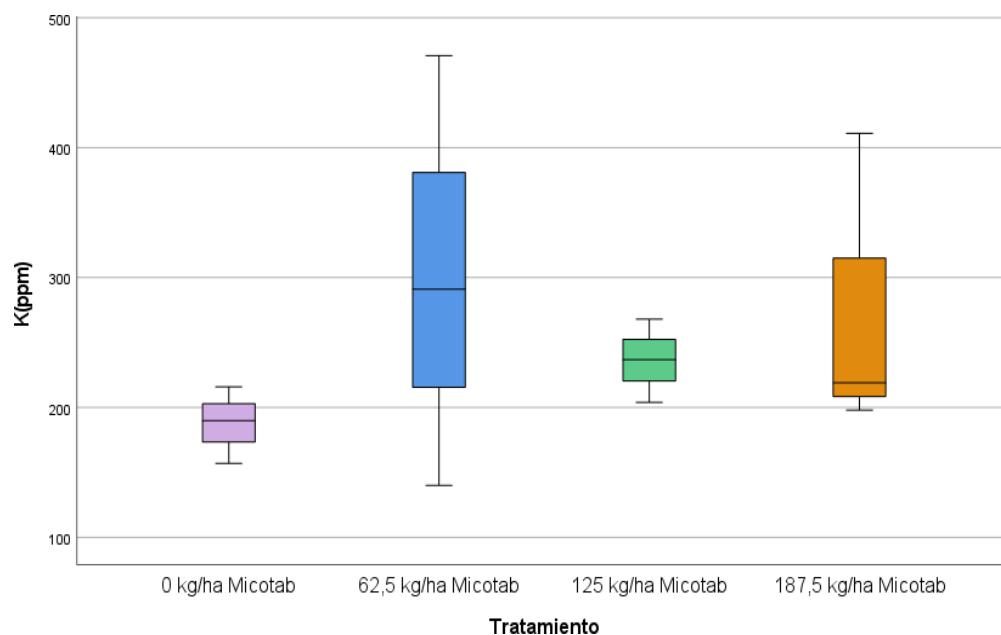


Figura 15. Variación del K frente a los diferentes tratamientos con Micotab.

4.1.5. Análisis de la relación de carbonatos

a. Observación sobre el método de carbonatos de calcio equivalentes

La evaluación fue excluida de la estadística al tener un registro parcial, presentando pocos valores para contemplar el análisis. Fue detectada únicamente en los tratamientos con valores de pH mayores a 6,5. No obstante, la información se analizará únicamente como forma cualitativa y exploratoria, (**Tabla 20**).

Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos del suelo degradado.

Tratamiento	pH	Carbonatos
T0BI	6.2	-
T1BI	6.7	0.9
T2BI	6.5	-
T3BI	7.0	0.8
T0B2	6.7	0.8
T1B2	6.6	0.7
T2B2	6.0	-
T3B2	6.0	-
T0B3	6.0	-
T1B3	6.0	-
T2B3	6.1	-
T3B3	6.0	-

4.1.6. Correlación de los parámetros fisicoquímicos por tratamiento

La prueba de correlación estadística se detalla más adelante, (**Apéndice 8**).

a. Asociación entre materia orgánica y nitrógeno

Se observó que el comportamiento de la MO en relación con el N no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$). Esto sugiere que no existe una relación sólida ni consistente entre ambas variables, ya que no se asocian linealmente.

Adicionalmente, en el diagrama muestra una tendencia ascendente con pendiente positiva, obteniendo que solo el 4,7% de variabilidad del N que puede explicarse por los cambios en la MO, tratándose de una relación débil, (**figura 16**).

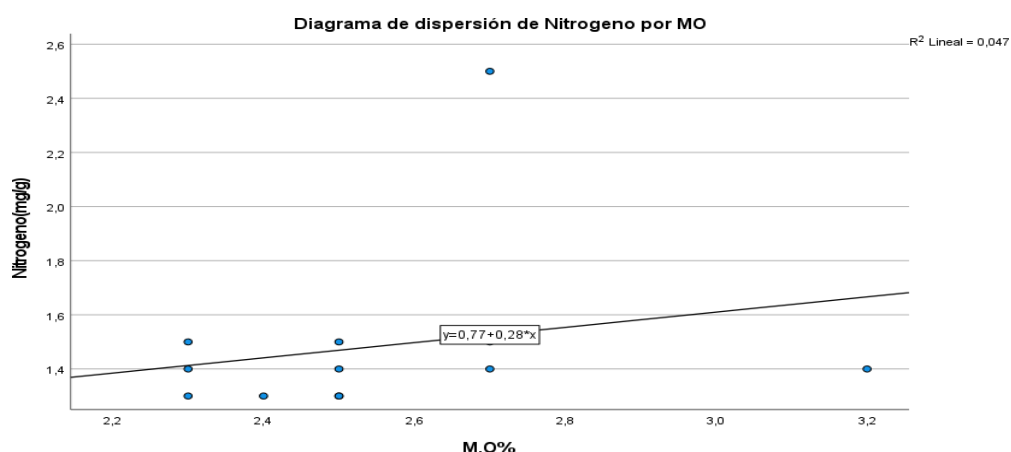


Figura 16. Diagrama de dispersión relacionando materia orgánica y nitrógeno.

b. Asociación entre materia orgánica y fósforo

Se observó que el comportamiento de la MO en relación con el P no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$). Por lo que ambas variables no se asocian linealmente, representándose por una tendencia negativa ligera. Solo el 12,4% de la variabilidad del fosforo puede explicarse por los cambios en la materia orgánica, (**figura 17**).

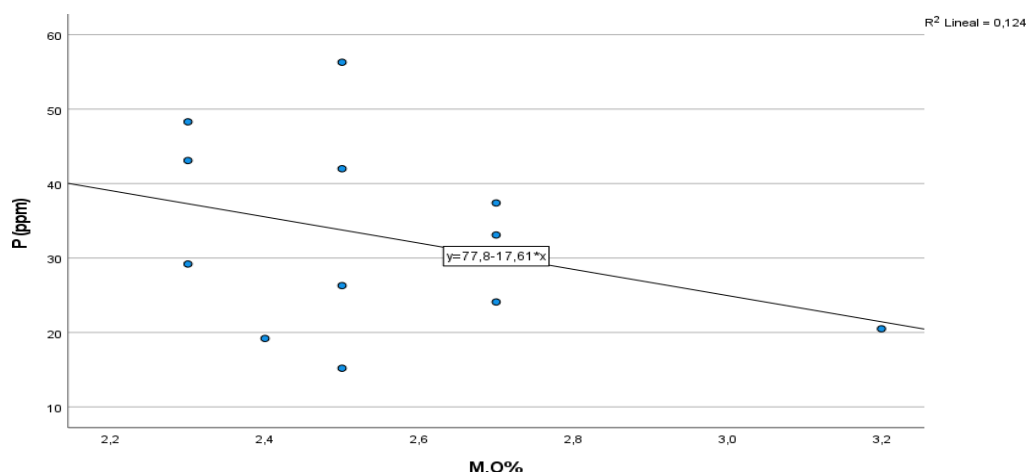


Figura 17. Diagrama de dispersión relacionando materia orgánica y fósforo.

c. Asociación entre materia orgánica y potasio

Se observó que el comportamiento de la MO en relación con el K no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$). Por lo que sugiere que no se asocian linealmente. Aunque el diagrama muestre una tendencia ascendente con pendiente positiva, solo el 4,2% de la variabilidad del potasio puede explicarse por la materia orgánica, confirmando la debilidad de la relación, (**figura 18**).

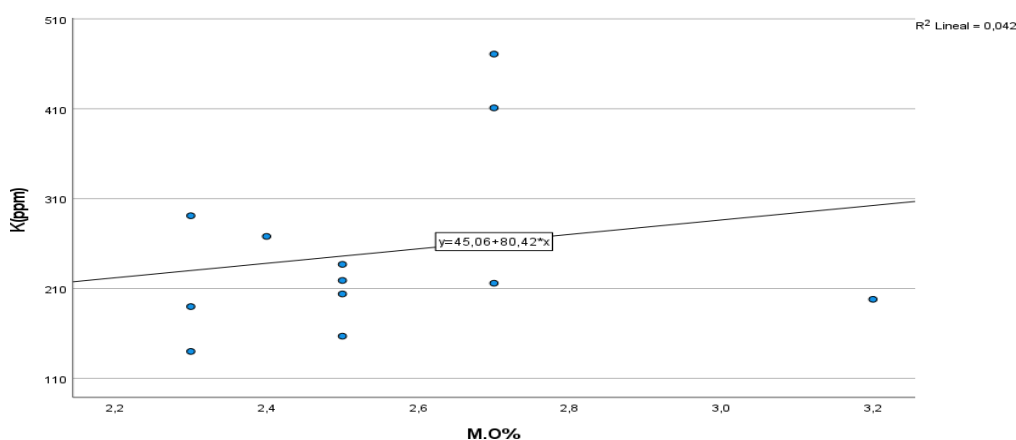


Figura 18. Diagrama de dispersión relacionando materia orgánica y potasio.

d. Asociación entre el potencial de hidrógeno y fósforo

Se observó que el comportamiento del pH en relación con el P no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$). Por lo que sugiere que no se relacionan ambas variables. Por otro lado, el diagrama muestra una tendencia negativa leve, donde solo el 5,1 % de la variabilidad del P puede explicarse por los cambios del pH, (**figura 19**).

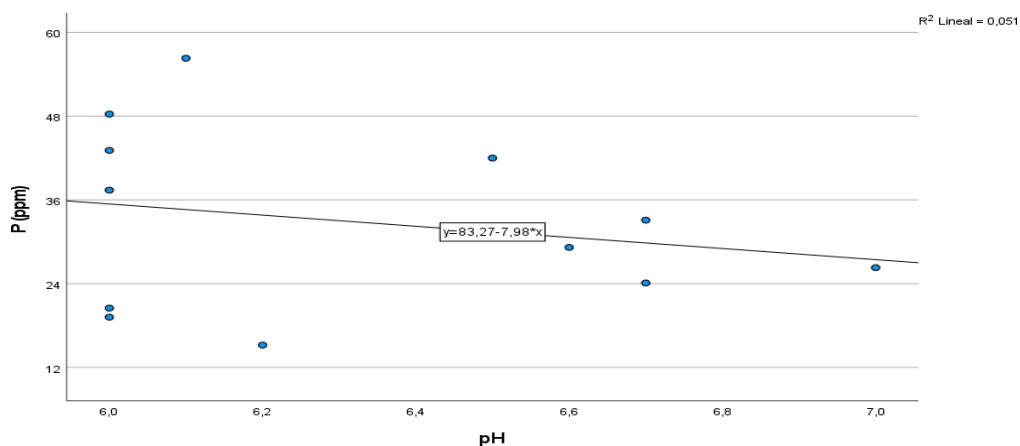


Figura 19. Diagrama de dispersión relacionando pH y fósforo.

e. Asociación entre el potencial de hidrógeno y potasio

Se observó que el comportamiento del pH en relación con el K no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$). Lo que indica que su correlación es nula, ya que, no existe ninguna relación lineal. Además, el diagrama muestra la tendencia casi horizontal, confirmando que la variabilidad del K no puede explicarse por cambios en el pH, por lo que ambos parámetros pueden considerarse independientes, (figura 20).

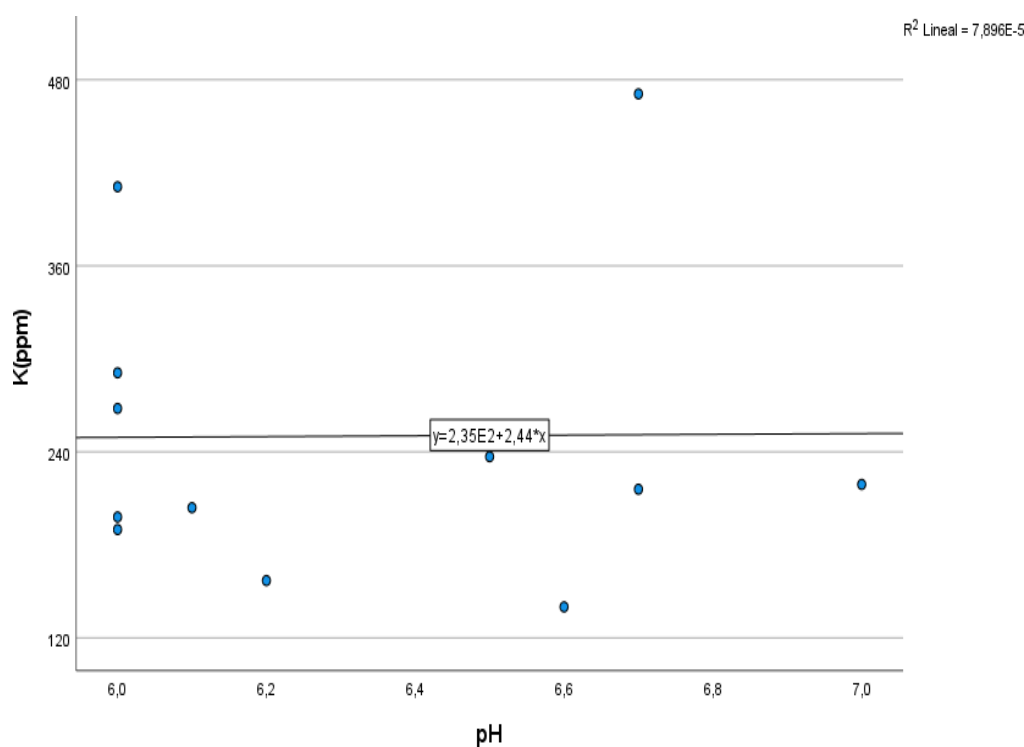


Figura 20. Diagrama de dispersión relacionando pH y potasio.

f. Asociación del potencial de hidrógeno y la conductividad eléctrica

Se observó que el comportamiento del pH en relación con la CE no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$). Por otro lado, el diagrama muestra una tendencia descendente negativa, donde solo el 5,7% de la variabilidad de la CE se puede justificar por los cambios de pH, (figura 21).

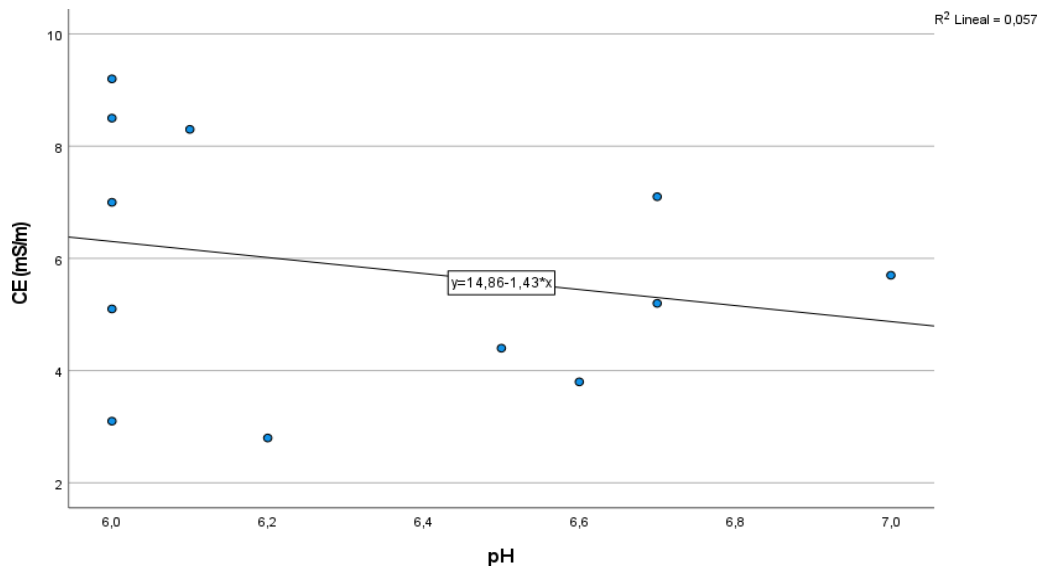


Figura 21. Diagrama de dispersión relacionando pH y conductividad eléctrica.

g. Asociación entre la conductividad eléctrica y potasio

Se observó que el comportamiento de la CE en relación con el K no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$), indicando que no existe una relación lineal. Además, el diagrama muestra una tendencia negativa ligera donde solo el 1,7% de la variabilidad del K se puede justificar por los cambios de la CE, (**figura 22**)

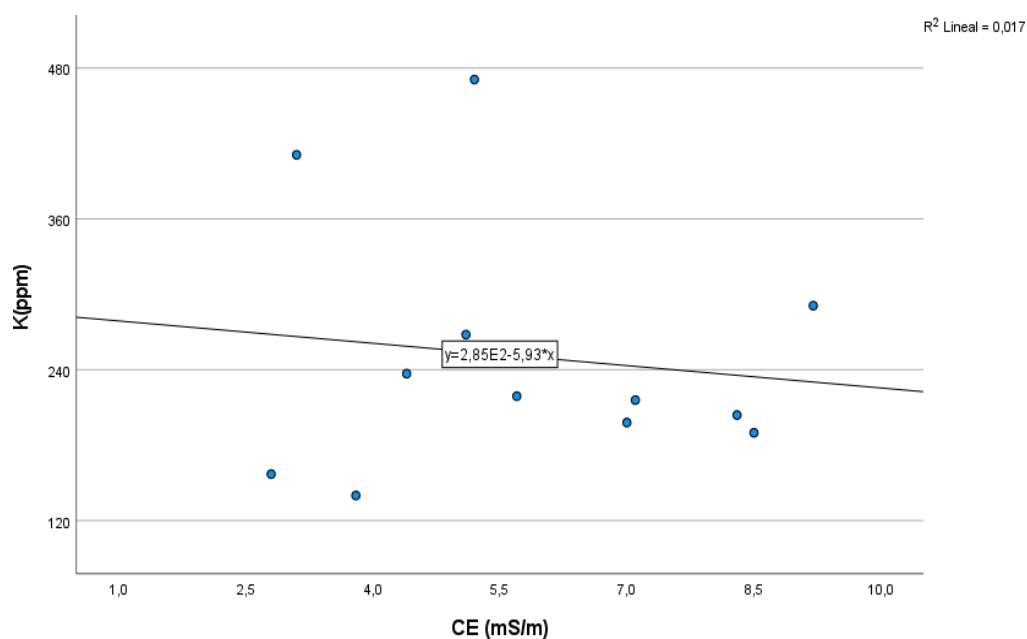


Figura 22. Diagrama de dispersión relacionando la CE y el potasio.

h. Asociación entre la conductividad eléctrica y fósforo

Se observó que el comportamiento de la CE en relación con el P no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$), aun cuando se superó ligeramente el valor umbral del nivel de confianza, no se puede afirmar con certeza estadística que las variables influyan entre sí. El diagrama muestra una tendencia positiva, donde solo el 26% de la variabilidad del P puede explicarse por el pH, (figura 23).

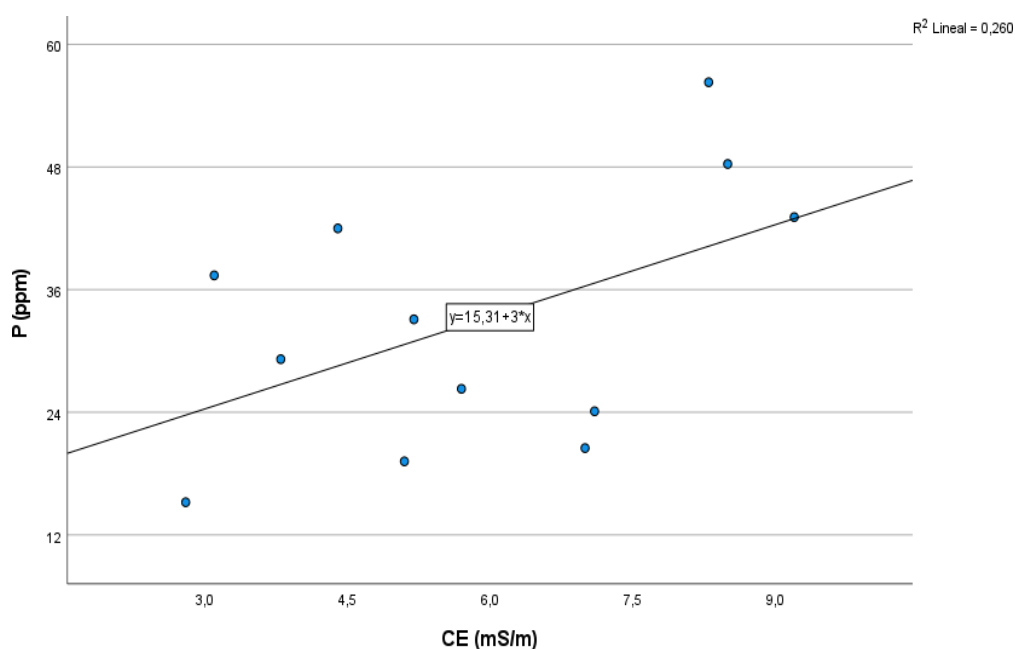


Figura 23. Diagrama de dispersión relacionando la CE y el fósforo.

i. Asociación entre la conductividad eléctrica y nitrógeno

Se observó que el comportamiento de la CE en relación con el N no fue estadísticamente significativo ($p > 0.05$), esto indica que no existe una relación lineal significativa entre ambas variables. En el diagrama se muestra una tendencia negativa, donde solo el 13,8% de la variabilidad del N puede explicarse por la CE, (figura 24).

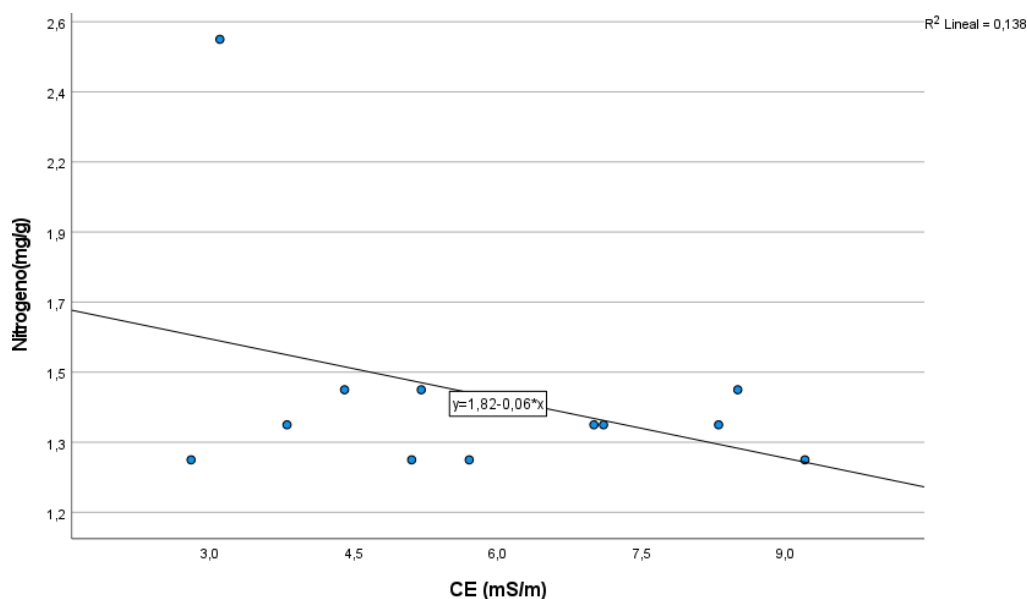


Figura 24. Diagrama de dispersión relacionando la CE y el nitrógeno.

j. Asociación entre el nitrógeno y potasio

Se observó que el comportamiento del K en relación con el N no tuvo diferencias significativas ($p < 0.05$). Sin embargo, se aproximó al umbral crítico, evidenciándose por la pendiente positiva. Llegando a indicar que un 30,4% de la variabilidad del K se puede explicar por el contenido de N, disponiendo de una relación directamente proporcional, aunque no de manera uniforme, (figura 25).

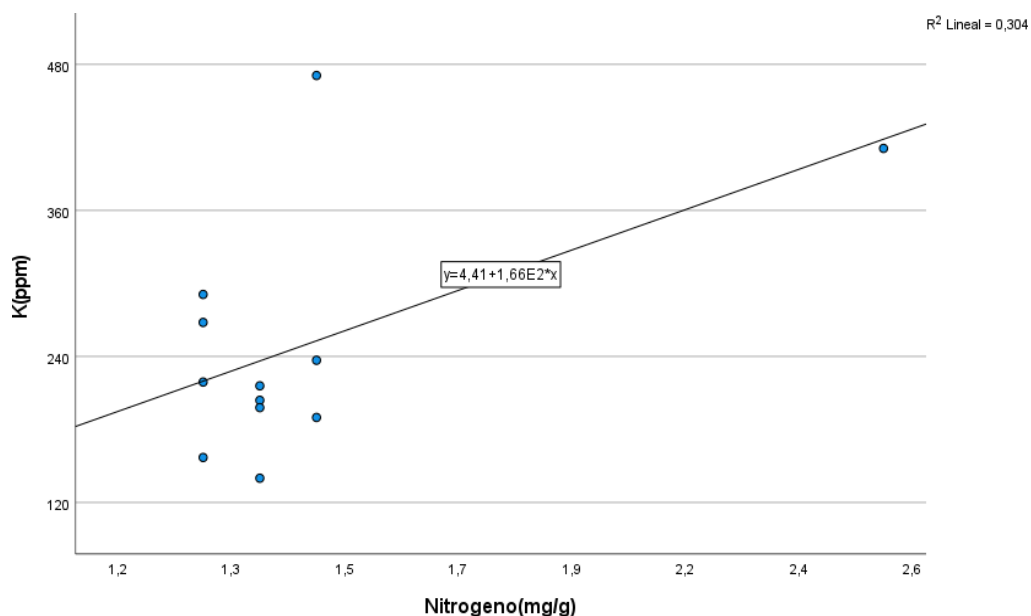


Figura 25. Diagrama de dispersión relacionando el nitrógeno y el potasio.

k. Asociación entre el nitrógeno y fósforo

Se observó que el comportamiento del N en relación con el P no tuvo diferencias significativas ($p > 0.05$). Esto sugiere que no existe una relación lineal entre las variables. El diagrama de dispersión muestra una línea con tendencia ascendente positiva, donde el 4,9% de la variabilidad del fósforo puede explicarse por los cambios del contenido de nitrógeno, (**figura 26**).

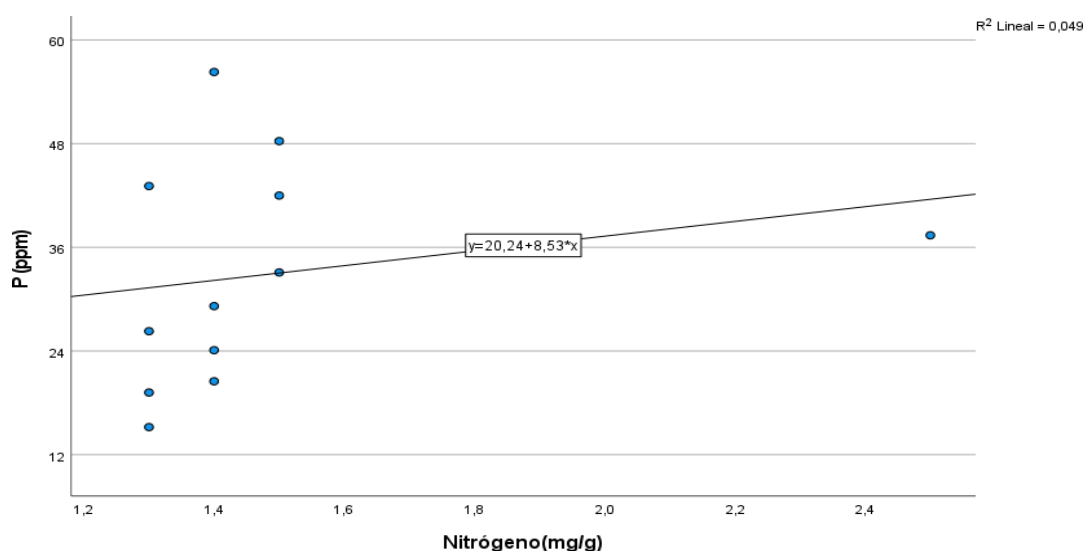


Figura 26. Diagrama de dispersión relacionando el nitrógeno y el fósforo.

4.1.7. Evaluación del Micotab sobre la restauración de la fertilidad del suelo

Para evaluar el efecto íntegro del producto Micotab sobre la restauración integral del Lote 3 degradado, se comparó tanto el valor inicial y luego del tratamiento.

a. Efecto del Micotab evaluado mediante el pH

Este parámetro demostró que, en los dos periodos de tratamiento, hubo un leve cambio (**figura 27**), donde disminuyó ligeramente de un pH inicial de 6,8 a 6,2. Esto podría explicarse que, mediante el uso del Micotab se llega a acidificar el suelo debido a la interacción microbiológica y su metabolismo ya que llegan a descomponer la materia orgánica originando la liberación de ácidos orgánicos en el medio edáfico. Entre su porcentaje de cambio se determina que llegó a reducir

un 8,82% en relación con la muestra inicial. A continuación, se muestra el porcentaje de cambio de la variable:

$$\begin{aligned} \% \text{ Cambio pH: } & \frac{6,2 - 6,8}{6,8} \times 100 \\ & = - 8,82\% \end{aligned}$$

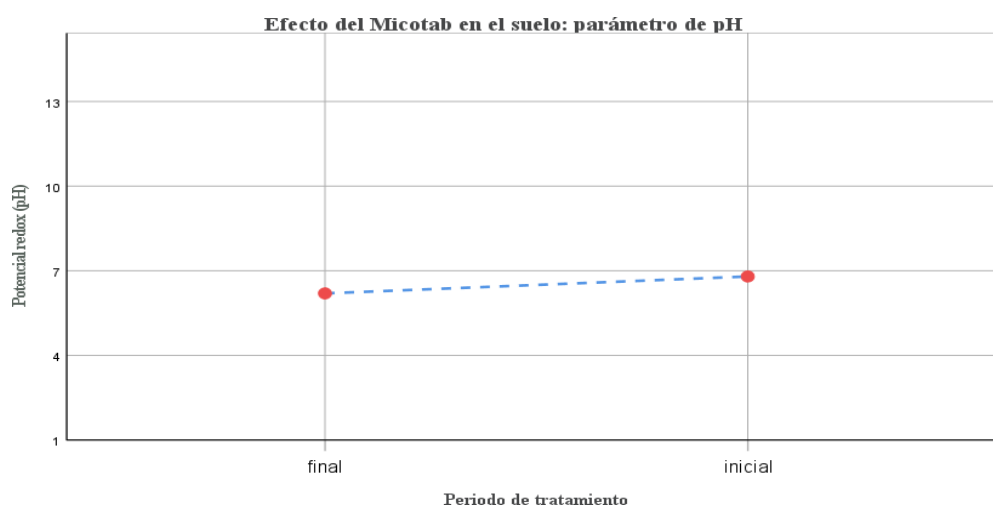


Figura 27. Efecto de Micotab sobre el pH.

b. Efecto del Micotab evaluado mediante la CE

El parámetro de la CE no tuvo ningún cambio. Puesto que el valor inicial y el final fueron de 3 mS/m. Esto podría explicarse que, el producto Micotab no implica la relación directa del incremento de sales solubles al medio.

c. Efecto del Micotab evaluado mediante la MO

Este parámetro demostró que, en los dos periodos de tratamiento, hubo un cambio predominante (**figura 28**), donde disminuyó la concentración de materia orgánica inicial de 2,5% a una concentración final de 1,8%. Acción que puede ser explicada por la pronta descomposición de la materia orgánica por los microorganismos, impulsada por el Micotab. Entre su porcentaje de cambio se determina que llego a descender un 28% en relación con la muestra inicial. A continuación, se muestra el porcentaje de cambio de la variable:

$$\begin{aligned}\% \text{ Cambio MO\%} &= \frac{1,8 - 2,5}{1,8} \times 100 \\ &= -28\%\end{aligned}$$

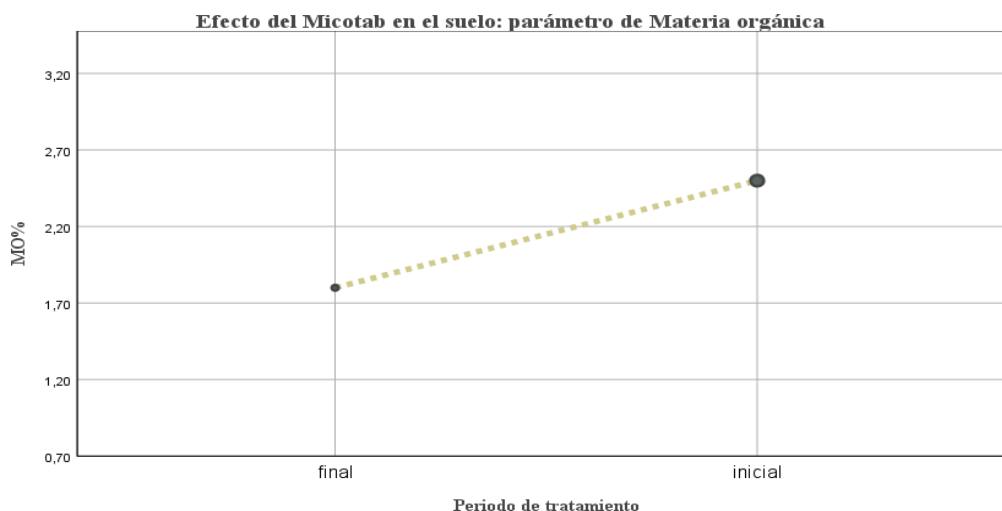


Figura 28. Efecto de Micotab sobre la MO.

d. Efecto del Micotab evaluado mediante el Carbonato de calcio

Este indicador es exploratorio y cualitativo. Puesto que, tuvo un valor inicial de 0,4%, esto se debe a que presentaba un pH de 6,8. Sin embargo, para la última fase este pH se redujo a 6,2 y este parámetro ya no se evaluó debido que para considerarse debe ser mayor a 6,5. Por lo que, se podría explicar que siendo el suelo más ácido los carbonatos son disueltos más rápido y se esperaría que estén en niveles bajos o inexistentes.

e. Efecto del Micotab evaluado mediante el P

Este parámetro demostró que, en los dos periodos de tratamiento, hubo un cambio predominante (**figura 29**), donde aumento la concentración de fósforo disponible en el suelo de un 26,2 ppm a una concentración final de 38,6 ppm. Acción que puede ser explicada por la actividad microbiológica del producto Micotab, que contiene a los HMA capaces de solubilizar el P mediante los ácidos orgánicos y fosfatasas. Entre su porcentaje de cambio se determina que llego a incrementarse

en un 47% en relación con la muestra inicial. A continuación, se muestra el porcentaje de cambio de la variable.

$$\begin{aligned} \% \text{ Cambio P: } & \frac{38,6 \text{ ppm} - 26,2 \text{ ppm}}{26,2 \text{ ppm}} \times 100 \\ & = 47,33\% \end{aligned}$$

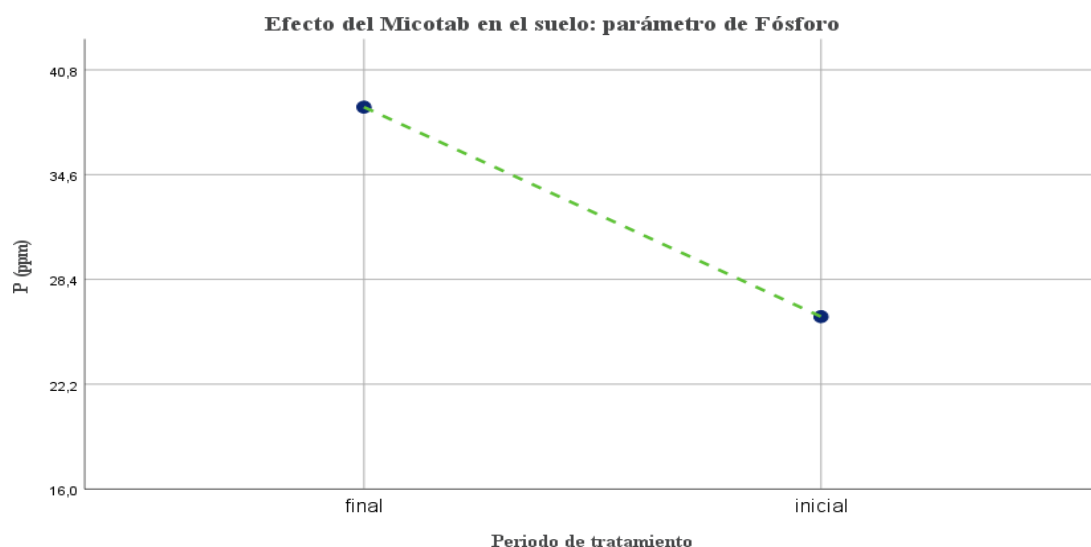


Figura 29. Efecto de Micotab sobre el fósforo.

f. Efecto del Micotab evaluado mediante el K

Este parámetro demostró que, en los dos periodos de tratamiento, hubo un cambio predominante (**figura 30**), observándose un aumento de la concentración de potasio disponible en el suelo pasando de 89,9 ppm a una concentración final de 224,0 ppm. Acción que puede ser explicada por la estimulación del Micotab, donde los HMA producen exudados radiculares y estos solubilizan el potasio intercambiable. Entre su porcentaje de cambio se determina que llegó a incrementar un 149% en relación con la muestra inicial. A continuación, se muestra el porcentaje de cambio de la variable:

$$\begin{aligned} \% \text{ Cambio K: } & \frac{224,0 \text{ ppm} - 89,9 \text{ ppm}}{89,9 \text{ ppm}} \times 100 \\ & = 149,16 \% \end{aligned}$$

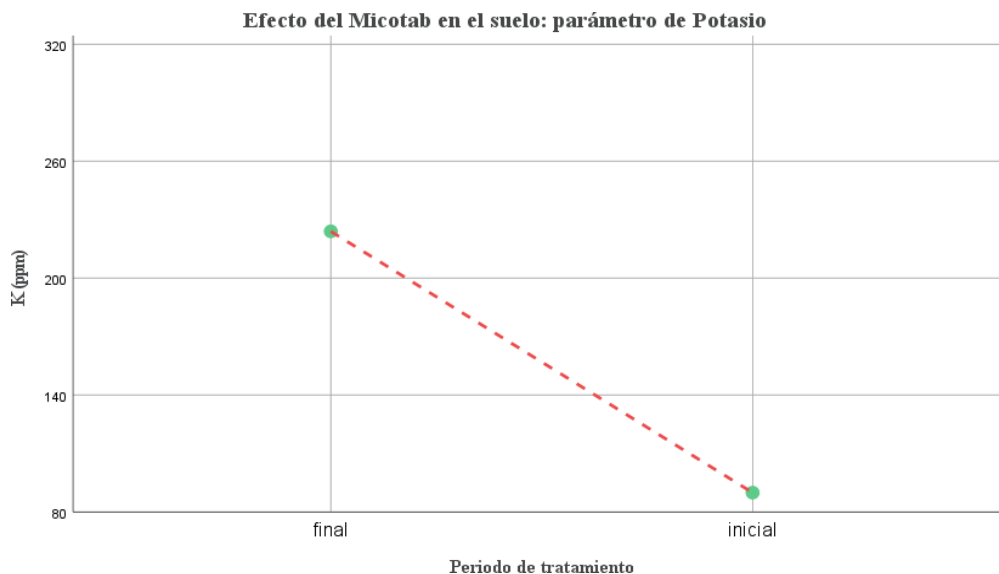


Figura 30. Efecto de Micotab sobre el potasio.

g. Efecto del Micotab evaluado mediante el N

En este parámetro los dos periodos de tratamiento tuvieron un cambio drástico (**figura 31**), donde se observa que, se disminuyó la concentración del N casi en su totalidad, cambiando de un 1,125 mg/g a una concentración final de 0,09 mg/g. Esto puede ser explicado por el uso de los microorganismos y plantas, la mineralización rápida y la falta de reposición de este elemento. Además de la falta de adicción de rizobacterias o la poca actividad de estas. Por otro lado, también al liberarse indiscriminadamente se lixivio o volatilizo. Entre su porcentaje de cambio, llegó a reducir un 92% en relación con la muestra inicial. A continuación, se muestra el porcentaje de cambio de la variable:

$$\begin{aligned}\% \text{ Cambio N: } & \frac{0,09 - 1,125 \text{ mg/g}}{1,125 \text{ mg/g}} \times 100 \\ & = -92\%\end{aligned}$$

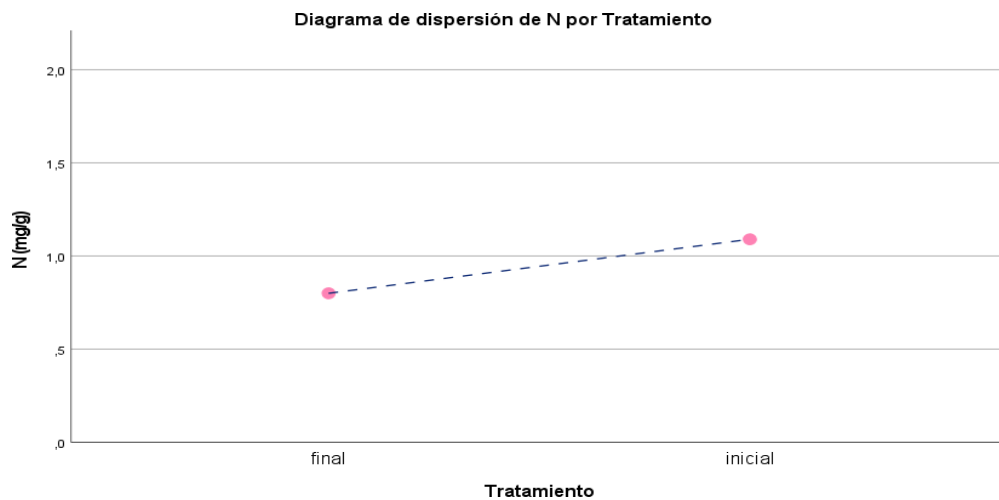


Figura 31. Efecto de Micotab sobre el nitrógeno.

4.2. Discusión

4.2.1. Condición fisicoquímica inicial del suelo experimental

El suelo del Anexo Pampa Grande tuvo un pH inicial de 6,8 considerado neutro para la mayoría de los cultivos. Así mismo, la conductividad eléctrica fue de 3 mS/m lo que equivale a 0,03 dS/m, clasificándose como suelo no salino (Andrades y Martínez, 2022), este valor se sustenta con el bajo contenido de carbonatos de calcio (0,4%) lo que representa la ausencia de la acumulación de sales solubles, valor similar obtenido por Estrada-Herrera et al. (2017). En cuanto a la materia orgánica (2,5%) y fósforo (26,2 ppm), son considerados valores relativamente altos, lo que implica la saturación de restos orgánicos y/o la baja actividad microbiana del suelo. Sin embargo, el K (89,9 ppm) y el nitrógeno (1,125 mg/g) se encontró por debajo del umbral recomendable (Andrades y Martínez, 2022), esta situación refleja la urgencia de restauración, por el desequilibrio nutricional que sufre el suelo.

4.2.2. Evolución de la fertilidad del suelo según el tratamiento con Micotab

a. Cambio del pH, CE y carbonatos

En el transcurso de la investigación, el pH disminuyó ligeramente. Aunque estos se incrementaron durante el ensayo, la mayor tendencia fue a reducir como se reporta en el estudio de Guacaneme & Barrera-Cataño, (2007). Esta acidificación es respuesta a la bioestimulación microbiológica por parte del producto y a los exudados radiculares de la gramínea y leguminosa cultivadas (maíz y ñaña), generando ácidos orgánicos tras la descomposición de la materia orgánica y liberando iones H^+ al medio edáfico, llegando acidificarlo (Castillo- Caamal et al., 2014; Meena et al., 2018). De la misma manera, el compost ayuda a la humidificación del suelo, produciendo CO_2 , además del aporte orgánico y la alta concentración de nutrientes en su composición: MO 40,7%, N 2,10%, y una humedad de 34,4% (Vázquez & Loli, 2018).

En cuanto a la conductividad eléctrica, esta mantuvo un valor inicial y final de 3mS/m, sin embargo, durante el ensayo este tuvo grandes variaciones (2,8 mínimo y 9,2 máximo). Esto se explica que se produjo una acumulación de una concentración mínima de sales solubles durante el ensayo, que es respuesta de la fertilización mineral inicial y la acumulación de materia orgánica, donde ya para la fase final, estos redujeron gracias a la acidez del pH del suelo que tienden a solubilizar mejor las sales (García et al., 2023), además de la actividad biológica de los hongos que llegan acumular agua en el suelo y estabilizar las relaciones hídricas de las plantas (Hashem et al., 2015). Por su parte, el contenido de carbonatos (0,4% mínimo y 0,9% máximo) sustenta lo mencionado anteriormente acerca de la acidez.

b. Cambio de la materia orgánica

Este parámetro disminuyó la concentración de 2,5 a 1,9 %, durante los primeros meses del experimento. Sin embargo, al finalizar este se recuperó. Esto puede atribuirse al aporte de residuos orgánicos generados por la actividad microbiana. Este resultado difiere ligeramente con lo reportado por García et al., (2023), quienes obtuvieron un valor de 2,88%, vinculado a la simbiosis activa de sus HMA nativos colonizados en la leguminosa *Lotus tenuis*, planta capacitada para formar otro tipo de simbiosis (con rizobacterias).

c. Cambio de los nutrientes del suelo (NPK)

Los componentes nutricionales mostraron comportamientos diferenciados durante el ensayo, llegando a incrementarse respecto al valor inicial. El nitrógeno mostró un aumento (2,5 mg/g valor máximo), debido a la estimulación microbiana y al compost quienes originan humedad como menciona en su estudio Vázquez & Loli, (2018) y la temperatura del suelo generando la liberación de nitratos, valor similar (2,3 mg/g) reportado por Cáceda, (2018). Por su parte, el fósforo (26,2 ppm mínimo y 60,3 ppm máximo), es justificado debido a la micorrización, ya sea a través de la producción de ácidos orgánicos y enzimas como las fosfatasas que hacen al compuesto más soluble y disponible (Hernández-Acosta et al., 2021). Por último, el potasio (89,9 ppm mínimo y 470,9 ppm máximo), es atribuido por la producción de los exudados radiculares generados por los HMA que promueven la liberación de K intercambiable, tal como se contrasta con el estudio de Pérez & Vertel, (2010) quien obtuvo una concentración de 508,3 ppm de K, tras la colonización de HMA en las raíces de gramíneas.

4.2.3. Efecto de las diferentes concentraciones de Micotab en la fertilidad del suelo

En cuanto a la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos del suelo, se indica que el uso de las diferentes concentraciones (62,5; 125 y 187,5 Kg/ha) del inoculante biológico no generó un efecto comprobable sobre la variabilidad de los parámetros de fertilidad, esto puede explicarse debido a que el medio edáfico es completamente heterogéneo (Camargo et al., 2022). A pesar de ello en los diagramas de caja se observaron tendencias visuales, en cuanto al tratamiento de mayor dosis (187,5 Kg/ha) presentaba una mayor variabilidad del contenido de nitrógeno y materia orgánica, esto podría explicarse debido a la actividad biológica estimulada por el producto y la concentración de compost usado. Por su parte el tratamiento intermedio (125 Kg/ha) obtuvo mayor contenido de fósforo, indicando que la posible causa es que la colonización moderada de las micorrizas moviliza mejor este elemento. Mientras que, el tratamiento menor y de mayor dosis (62,5 Kg/ha y 187,5 Kg/ha), revelaron los mayores niveles de potasio.

4.2.4. Análisis de las correlaciones entre variables fisicoquímicas

Las relaciones directas de las variables fueron débiles e inexistentes, este hallazgo es contrastado por Juárez et al., (2020), quienes indican que la correlación de Pearson entre las variables edáficas es negativa. Puesto que no se presentaron diferencias estadísticas, indicando independencia absoluta para cada una de ellas. Lo observado en este estudio es sustentado por Restrepo et al. (2019). Lo que sugiere que la dinámica de los componentes nutricionales del suelo no está determinada por un único factor, sino que es la interacción general de las condiciones físicas, químicas y microbiológicas (Camargo et al., 2022). La única asociación moderada fue la del nitrógeno y potasio con un 30,4%, aunque no

superó el umbral crítico de significancia. Según lo señaló Peñaloza (2018), la dinámica de la relación dependería de la forma en que se suministre el N al suelo, puesto que pueden tener una acción antagónica o sinérgica con el K.

4.2.5. Evaluación del resultado final del tratamiento con Micotab

Respecto al efecto integral del tratamiento con Micotab sobre la restauración del suelo degradado del Anexo Pampa Grande-INIA, las estadísticas descriptivas evidenciaron un ligero descenso del pH, desde un valor inicial 6,8 a 6,2. Este resultado concuerda con lo reportado por Valdiviezo-Saavedra et al. (2024), quienes obtuvieron un valor final de 6,1, donde utilizaron HMA (especialmente del género *Acaulospora*) en leguminosas (*C. cajan*, *C. ensiformis*, *C. juncea* y *V. unguiculata*), evaluadas en suelo degradado con pH ácido y baja fertilidad.

Por otro lado, la CE tanto el valor inicial como final se mantuvieron en 3 mS/m, resultado que concuerda con lo reportado por Valdiviezo-Saavedra et al. (2024). Esto sugiere que la actividad de las micorrizas arbusculares no modifican la concentración de sales solubles disponibles en el suelo. Por su parte, la materia orgánica llegó a disminuir de un 2,5% que correspondía a una concentración alta a un 1,8% situándolo dentro del rango normal (1,5-2,0%) según Andrades & Martínez (2022). El descenso está relacionado con el aumento de la actividad metabólica de los HMA.

Al mismo tiempo, el fósforo se incrementó en 47%, pasando de un valor inicial de 26,2 a un 36,8 ppm, este resultado fue similar al obtenido por Arancibia et al. (2022) y García et al. (2023), pero fue superior a lo descrito por Valdiviezo-Saavedra et al. (2024) quienes obtuvieron un 8,9 ppm. Estos hallazgos son explicados, debido a la intervención de los HMA, documentado teóricamente

como solubilización del fósforo mediante la excreción de fosfatasas y ácidos orgánicos (Yoshioka et al., 2006).

El nitrógeno por su parte, mostro un severo descenso de 1,1 a 0,8 mg/g, resultado superior al reportado por Arancibia et al. (2022), pero inferior a lo contrastado por Valdiviezo-Saavedra et al. (2024), quienes obtuvieron 1,72 mg/g y García et al., (2023) con 1,8 m/g. Los cambios registrados se explican por la lixiviación o volatilización del elemento, así como la poca e inexistente presencia de rizobacterias que apoyen la fijación del mineral en el suelo.

Por último, el contenido de K mostró un incremento drástico pasando de 89,9 a 224 ppm, este incremento fue similar al obtenido por Valdiviezo-Saavedra et al. (2024), pero inferior al obtenido por Palao & Saavedra (2020), quienes alcanzaron los 443 ppm. Las tendencias observadas se encuentran estrechamente relacionadas con la actividad de la rizosfera estimulada por los hongos, quienes aceleran y estimulan el contacto de la raíz y el suelo, generando así una mayor solubilización del K intercambiable, además de los exudados que son generados por los hongos, permitiendo la liberación del elemento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las diferentes concentraciones del producto Micotab (62,5 kg/ha, 125 kg/ha y 187,5 kg/ha) no mostraron diferencias significativas por lo que, no se logró demostrar cual era la mejor concentración para restaurar la fertilidad del suelo.
- A nivel descriptivo, el tratamiento T2 (125 kg/ha) mostró una mejor estabilidad en los niveles de macronutrientes del suelo. Además, que el pH del suelo se mantuvo en un rango óptimo a lo largo del ensayo, mientras que otros parámetros como la CE, MO, N total, P y K presentaron variaciones dentro de rangos adecuados.

5.2. RECOMENDACIONES

- Ampliar el tiempo de evaluación del experimento, considerando ciclos agrícolas completos o anuales, para comprobar los efectos acumulativos del bioestimulante sobre la fertilidad del suelo, ya que la restauración es un proceso de largo plazo, además de diferentes condiciones edafoclimáticas.
- Incluir análisis microbiológicos que identifiquen los géneros y especies presentes en el suelo, además de los que contiene Micotab, así como análisis enzimáticos que complementen la información sobre la actividad biológica del suelo.
- Evaluar el uso complementario de productos como Trichotab para el control de plagas durante el ensayo, y el uso de rizobacterias que ayuden a fijar nitrógeno y evitar su pérdida.

LISTA DE REFERENCIAS

- Agrolab. (s.f.). Guía de referencia para la interpretación análisis de suelos Agrolab (pp. 3-5).
Pachuca– Actopan, México: Laboratorio AGROLAB Acreditado ISO 17025:2005. Recuperado de: https://www.agrolab.com.mx/sitev002/sitev001/assets/interpretacion_fertsuel.pdf
- Aguado, Gerardo. (2012, julio). Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura. Celaya, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias campo experimental Bajío. Recuperado de: https://enclavedeciencia.rae.es/corpus/sinc/search/form/%5B%7B%22word%22:%22%22,%22lemma%22:%22bi%C3%B3trofo%22,%22pos%22:%22N.*%22%7D%5D/conc
- ordancias
- Alcantara, Germán. (2010, marzo). La desertificación en la región Cajamarca zonificación ecológica económica y ordenamiento territorial. Recuperado de: <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/consdesertificacion.pdf>
- Alguacil, Silvia. (2010, abril 27). Estrigolactonas: las nuevas hormonas vegetales. Agencia SINC. Recuperado el 23 de junio de 2025 de: <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/Estrigolactonas-las-nuevas-hormonas-vegetales>
- Álvarez, María, Maldonado, Ranferi, Nájera, Cinthia, y Cristóbal, David. (2020). Manejo agroecológico para la restauración de la calidad del suelo. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 11(4), 741-752. doi:10.29312/remexca.v11i4.2462
- Andrades, Marisol, y Martínez, Elena. (2022). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. D, Dialnet, 38. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/267902.pdf>
- Arancibia, Rosa, Flores, Manuel, Cabrera, Tatiana, Sanchez, Juan, y Obando, Javier. (2022). Evaluación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la rehabilitación ecológica de ecosistemas con actividad minera, 31(2), 8. Recuperado de: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2304>
- Atalaya, Brandon. (2023). Biol de guano de isla y el crecimiento inicial de *Coffea arabica* Var. Catuaí amarillo. Recuperado de <https://45.231.83.156/bitstream/handle/20.500.12996/5917/atalaya-rojas-brandon-luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bidartondo, Martin I., Redecker, Dirk, Hijri, Isabelle, Wiemken, Andres, Bruns, Thomas D., Domínguez, Laura, ... Read, David J. (2002). Epiparasitic plants specialized on arbuscular mycorrhizal fungi. Nature, 419(6905), 389-392. doi:10.1038/nature01054
- Bonfante, Paola. (2022). Microbe Profile: Gigaspora margarita, a multifaceted arbuscular mycorrhizal fungus. Microbiology, 168(6), 001202. doi:10.1099/mic.0.001202
- Brady, Nyle C., y Weil, Ray R. (2008). The Nature and Properties of Soils, 14th Edition. Pearson. Recuperado de: https://openlibrary.org/books/OL32210469M/The_Nature_and_Properties_of_Soils_14th_Edition
- Cáceda, Diana. (2018). Tesis para obtener el título profesional de: Ingeniera Ambiental. Universidad César Vallejo, Lima. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/95233/Cáceda_DDGS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Camargo, Cristopher, Pacheco, Carlos, y López, Roberto. (2022). Importancia de la ciencia del suelo: interdisciplinaridad, aplicaciones múltiples y necesidad de la seguridad del suelo para contribuir al desarrollo sostenible. ResearchGate. Recuperado el 18 de junio de 2025 de: https://www.researchgate.net/publication/370119557_Importancia_de_la_ciencia_del_suelo_interdisciplinaridad_aplicaciones_multiples_y_necesidad_de_la_seguridad_del_sue

lo_para_contribuir_al_desarrollo_sostenible

- Carrillo-Saucedo, Silvia Margarita, Puente-Rivera, Jonathan, Montes-Recinas, Sarai, Cruz-Ortega, Rocío, Carrillo-Saucedo, Silvia Margarita, Puente-Rivera, Jonathan, ... Cruz-Ortega, Rocío. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, (129). doi:10.21829/abm129.2022.1932
- Castillo-Caamal, José Bernardino, Caamal-Maldonado, Jesús Arturo, Belmar-Casso, Roberto, y Trejo Lizama, Wilberth. (2014). Evaluation of Multiple-Use Cover Crops under Rainfed during Two Seasons in Yucatan, Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 5(8), 1069-1080. doi:10.4236/ajps.2014.58119
- Clínica Universidad de Navarra. (2025). Catión: definición médica | Diccionario CUN. <https://www.cun.es.diccionario-medico>. Recuperado el 15 de julio de 2025 de: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/cation>
- Docampo, Roberto. (2013, diciembre). Compostaje y compost. *Revista INIA*. Recuperado de: <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/128221231213112259.pdf>
- Enciclopedia Británica. (2025, junio 20). Biogeochemical cycle. *Encyclopaedia Britannica*. Enciclopedia en línea. Recuperado el 15 de julio de 2025 de: <https://www.britannica.com/science/biogeochemical-cycle>
- Estrada-Herrera, I. Rayo, Hidalgo-Moreno, Claudia, Guzmán-Plazola, Remigio, Almaraz Suárez, J. José, Navarro-Garza, Hermilio, y Etchevers-Barra, Jorge D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad, 19. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>
- FAO. (2006, noviembre 17). Generalidades. *FAO Training Programme on Fisheries*. Recuperado el 20 de junio de 2025 de: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s01.htm
- FAO. (2020). Degradación del Suelo. Portal de suelos de la FAO. Recuperado el 23 de mayo de 2025 de: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- FAO. (2022, diciembre 5). Día Mundial del Suelo de 2022: la FAO publica el primer informe mundial sobre suelos negros. *Newsroom*. Recuperado el 23 de mayo de 2025 de: <https://www.fao.org/newsroom/detail/world-soil-day-2022-fao-global-report-black-soils/es>
- FAO. (2025). Simposio Mundial sobre la Erosión del Suelo. Recuperado de: <https://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/es/>
- FAO. (s.f.). Degradación del Suelo. Portal de suelos de la FAO. Recuperado el 20 de junio de 2025 de: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- Ferreira, Danilo, Viana, Jarlene, Saboya, Lara, Cintra, Maiele, Anunciato, Jaedson, Santos, Alexandre, ... Araujo, Arthur. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi community in soils under desertification and restoration in the Brazilian semiarid. *Microbiological Research*, 264, 127161. doi:10.1016/j.micres.2022.127161
- FIDA. (2010, agosto). Desertificación, 4. Recuperado de: https://www.ifad.org/documents/d/new-ifad.org/desertification-factsheet_s.pdf
- Flores Pelaez, Pedro Edwin. (2023). Microorganismos benéficos y carbonatita en el comportamiento agronómico de la papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. bicentenario en Yauyos, Región Lima. Universidad Nacional De Cañete, Cañete, Perú. Recuperado de <https://repositorio.undc.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/7c9650cb-9d54-4041-8acd-1801a679fe8b/content>

- Franco, Juan de Dios. (s.f.). Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas. Comisión Interamericana de Agricultura Orgánica. Recuperado de: https://ciaorganico.net/documypublic/200_infoagronomo.net_Micorrizas-beneficios.pdf
- Guaca, Ileana, Weigandt, Cristian, Fabrizio de Iorio, Alicia, y de Cabo, Laura. (2023). Una herramienta para la restauración de ambientes ribereños degradados de la cuenca matanza-riachuelo: *lotus tenuis* waldst. & kit. En simbiosis con hongos micorrícicos arbusculares, 10.
- Guacaneme, S., y Barrea-Cataño, J. I. (2007). Efecto de la aplicación de biosólidos, como enienda orgánica, en la recuperación de un suelo disturbado por actividad extractiva en la cantera de Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá, 12(II), 15. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/499/49912208.pdf>
- Hashem, Abeer, Abd-Allah, E. F., Alqarawi, A. A., y Egamberdieva, Dilfuza. (2015). Induction of salt stress tolerance in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] by arbuscular mycorrhizal fungi. ResearchGate, 38(5). doi:10.18805/lr.v38i5.5933
- Helbling, Damian E. (2015). Bioremediation of pesticide-contaminated water resources: the challenge of low concentrations. Current Opinion in Biotechnology, 33, 142-148. doi:10.1016/j.copbio.2015.02.012
- Hernández-Acosta, Elizabeth, Trejo-Aguilar, Dora, Rivera-Fernández, Andrés, y Ferrera-Cerrato, Ronald. (2021). La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café. Terra Latinoamericana, 38(3), 613-628. doi:10.28940/terra.v38i3.659
- Ho, Thi Thien Kim, Tra, Van Tung, Le, Thanh Hai, Nguyen, Ngoc, Tran, Cong-Sac, Nguyen, Phuong, ... Bui, Xuan. (2022). Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 6, 100211. doi:10.1016/j.cscee.2022.100211
- IAEA. (2024, febrero 20). Mejora de la fertilidad del suelo. Text, IAEA. Recuperado el 20 de junio de 2025 de: <https://www.iaea.org/es/temas/mejora-de-la-fertilidad-del-suelo>
- INIA. (2020, marzo 2). MINAGRI potencia abonamiento de cultivos con guano de la isla en 6 regiones del país – Instituto Nacional de Innovación Agraria. Recuperado de: <https://www.inia.gob.pe/2020-nota-037/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2023). Muestreo de suelo, 4. Recuperado de: <https://tecnologia.iniap.gob.ec/wp-content/uploads/2023/11/5suelo.pdf#:~:text=Entre%20los%20materiales%20a%20utilizar%20para%20realizar%20el,la%20finca%20y%20elaborar%20un%20plano%20o%20croquis.>
- Juárez, Luis Felipe, Beltrán, Rosa, Lucho, Carlos, Martínez, Georgina, y Balderas, Juan. (2020a). Análisis de variables fisicoquímicas y nitrógeno en suelos del estado de Hidalgo, 2(2). Recuperado de: <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes7no2vol2/4.%20Análisis%20de%20variables%20fisicoquímicas.pdf>
- Juárez, Luis Felipe, Beltrán, Rosa, Lucho, Carlos, Martínez, Georgina, y Balderas, Juan. (2020b). Análisis de variables fisicoquímicas y nitrógeno en suelos del estado de Hidalgo, 2(2). Recuperado de: <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes7no2vol2/4.%20Análisis%20de%20variables%20fisicoquímicas.pdf>
- Kirk, P. M., Cannon, P. F., Minter, D. W., y Stalpers, J. A. (2008). Dictionary of the fungi. Cromwell Press, Trowbridge. Recuperado de: <https://www.scribd.com/document/474722518/Paul-M-Kirk-Paul-F-Cannon-J-A-Stalpers-Dictionary-of-the-Fungi-10th-ed-CABI-2008>

- Kogut Polina. (2025, marzo 5). Degradación Del Suelo: Causas, Efectos Y Soluciones. EOSDA Blog. Recuperado de: <https://eos.com/es/blog/degradacion-del-suelo/>
- LIFEMAP. (s.f.a). Acaulospora. Lifemap. Recuperado el 25 de junio de 2025 de: <https://lifemap.cnrs.fr/tree?tool=ancestor&tid=4875&efficiency-mode=true&ancestor=27372,0>
- LIFEMAP. (s.f.b). Entrophospora. Recuperado el 25 de junio de 2025 de: <https://lifemap.cnrs.fr/tree?tool=ancestor&tid=4875&efficiency-mode=true&ancestor=27375,0>
- LIFEMAP. (s.f.c). Gigaspora. Recuperado el 25 de junio de 2025 de: <https://lifemap.cnrs.fr/tree?tool=ancestor&tid=4875&efficiency-mode=true&ancestor=4873,0>
- LIFEMAP. (s.f.d). Glomus. Recuperado el 25 de junio de 2025 de: <https://lifemap.cnrs.fr/tree?tool=ancestor&tid=4875&efficiency-mode=true&ancestor=4875,0>
- Llanos-Gómez, Kelvin James, Silva-Manco, Maria Julia, Arce-Inga, Marielita, Sanchez-Santillan, Tito, y Leiva-Espinoza, Santos T. (2023). Identificación morfológica de hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de cacao en la región Amazonas, Perú. Manglar, 20(1), 7-14. doi:10.57188/manglar.2023.001
- Meena, B. L., Fagodiya, R. K., Prajapat, K., Dotaniya, M. L., Kaledhonkar, M. J., Sharma, P. C., ... Kumar, Sandeep. (2018). Legume Green Manuring: An Option for Soil Sustainability. En Legumes for Soil Health and Sustainable Management (pp. 387-408). Singapore: Springer. doi:10.1007/978-981-13-0253-4_12 Tab tecnologías agrícolas. (s. f.). *Micotab*. Perú.
- Mora, Wilder, y Sernaque, Luis. (2019, agosto 28). Estudio integral del proceso de degradación, plan de manejo y conservación de los suelos de uso agrícola para la producción sostenible en la comunidad campesina San Felipe, distrito de San Felipe, provincia de Jaén, región de Cajamarca. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4929>
- NCBI. (s. f.-a). Acaulospora sp. NCBI Taxonomy Browser. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/tree/?taxon=1913633>
- NCBI. (s. f.-b). Gigaspora sp. NCBI Taxonomy Browser. Recuperado el 25 de junio de 2025 de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/tree/?taxon=2012024>
- NCBI. (s.f.a). Entrophospora sp. NCBI. Taxonomy Browser. Recuperado el 25 de junio de 2025 de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/tree/?taxon=1920922>
- NCBI. (s.f.b). Acaulospora sp. NCBI Taxonomy Browser. Recuperado el 25 de junio de 2025 de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/tree/?taxon=1913633>
- NCBI. (s.f.c). Glomus sp. NCBI Taxonomy Browser. Recuperado el 25 de junio de 2025 de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/tree/?taxon=1921602>
- et, M., Villa, F., Villa, F., Aibar, J., Alarcón, R., Ciria, P., ... Zaragoza, C. (2000). Producción y gestión del compost. Recuperado de: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf>
- Organización Internacional de Normalización. (1994). Soil quality - Determination of the specific electrical conductivity (p. 8). Organización Internacional de Normalización. Recuperado de:

- <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/19243/a885fa11b0514fecbf9ad8b586da8128/ISO-11265-1994.pdf>
- Palao Flores, Sergio José, y Saavedra la Torre, Kiara Alexandra. (2020). Efectos de Hongos Micorrízicos Arbusculares para recuperación de suelos agrícolas bajo condiciones de vivero, en la EEA El Porvenir, 2020. Universidad César Vallejo, Tarapoto-Perú. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/63801/Palao_FSJSaavedra_LTKA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Peñaloza, Enrique. (2018, abril 30). La relación entre el nitrógeno y el potasio en la nutrición de las plantas. Phloem. Recuperado de: <https://phloem.cl/la-relacion-entre-el-nitrogeno-y-el-potasio-en-la-nutricion-de-las-plantas/>
- Pérez, Alexander, y Vertel, Melba. (2010). Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. Revista MVZ Córdoba, 15(3), 2165-2174. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-02682010000300004&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Pravia, Alicia. (2022, abril 4). ¿Cómo te ayudan las micorrizas a aumentar el rendimiento de tus cultivos? Symborg. Recuperado de: <https://symborg.com/es/actualidad/como-te-ayudan-las-micorrizas-a-aumentar-el-rendimiento-de-tus-cultivos/>
- Prieto, Oscar, Urdánigo, Juan Pablo, Sánchez, Magina, y Sánchez, Narcisa. (2024). Benefits of arbuscular mycorrhizae in phytoremediation techniques for soil decontamination in Ecuador. Revista científica arbitrada multidisciplinaria pentaciencias, 6(1), 187-202. doi:10.59169/pentaciencias.v6i1.980
- RAE, y FECYT. (s.f.). Biotrofos. Enclave de Ciencia RAE. Recuperado el 15 de julio de 2025 de: <https://enclavedeciencia.rae.es/diccionarios/dei/search/zones?zones%5B%5D=header:biótrofo>
- RAE. (2023a). micelio | Diccionario de la lengua española. «Diccionario de la lengua española» Edición del Tricentenario. Recuperado el 11 de julio de 2025 de: <https://dle.rae.es/micelio>
- RAE. (2023b). simbiosis | Diccionario de la lengua española. «Diccionario de la lengua española» Edición del Tricentenario. Recuperado el 11 de julio de 2025 de: <https://dle.rae.es/simbiosis>
- RAE. (2024). helada | Diccionario de la lengua española. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Recuperado de: <https://dle.rae.es/helada>
- RAE. (2025a). Antropogénico-ca. Diccionario panhispánico del español jurídico - Real Academia Española. Diccionario jurídico en línea. Recuperado el 15 de julio de 2025 de: <https://dpej.rae.es/lema/antropog%C3%A9nico-ca>
- RAE. (2025b). Antropogénico-ca. Diccionario panhispánico del español jurídico - Real Academia Española. Recuperado de: <https://dpej.rae.es/lema/antropog%C3%A9nico-ca>
- Restrepo Giraldo, Karla Jaqueline, Montoya Correa, María Isabel, Henao Jaramillo, Paula, Gutiérrez, Lina Andrea, y Molina Guzmán, Licet Paola. (2019). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. Idesia (Arica), (ahead), 0-0. doi: 10.4067/S0718-34292019005000301
- Revista completa. (2025, febrero 19). Formación del Suelo: Procesos y Factores. Recuperado el 19 de junio de 2025 de: <https://revistacompleta.com/formacion-del-suelo-procesos-y-factores/>
- Rodrigues, Kim Maria, y Rodrigues, Bernard Felinov. (2020). Chapter 27 - *Glomus*. En N. Amaran, M. Senthil Kumar, K. Annapurna, Krishna Kumar, & A. Sankaranarayanan

- (Eds.), *Beneficial Microbes in Agro-Ecology* (pp. 561-569). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-823414-3.00027-7
- RRS. (2023, mayo 18). Los exudados radiculares y la actividad biológica. Rationally regenerated soil. Recuperado de: <https://rrsoil.com/los-exudados-radiculares-y-la-actividad-biologica/>
- Salmerón-Santiago, Isaac A., y Pedraza-Santos, Martha E. (2015). Cronología de la taxonomía y cladística de los glomeromicetos chronology of the taxonomy and cladistics of glomeromycetes, 38.
- Sánchez, C., Rivera, R., González, C., Cupull, R., Herrera, R., y Valera, M. (2000). Efecto de la inoculación de hongos micorrizógenos (hma) sobre la producción de posturas de cafetos en tres tipos de suelos del macizo montañoso guamuhaya, 21(3), 10. doi:0258-5936
- Sánchez, Javier. (2007, enero). Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. Documento PDF (disponible en línea). Recuperado de: <https://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SU ELO%20Y%20NUTRICION.pdf>
- SEMARNAT. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Recuperado el 3 de junio de 2025 de: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280.pdf>
- Sephton-Clark, Amapola C. S., y Voelz, Kerstin. (2018). Spore Germination of Pathogenic Filamentous Fungi. *Advances in Applied Microbiology*, 102, 117-157. doi:10.1016/bs.aambs.2017.10.002
- Serquen, Armando, y Llontop, Heyne. (2020, enero 17). Recuperación y manejo de los Suelos de uso Agrícola en el caserío Cumba, Distrito de San Felipe, Provincia de Jaén, Región de Cajamarca. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Cajamarca, Perú. Recuperado de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11566>
- Sieverding, Ewald, y Oehl, Fritz. (2006). Revision of Entrophospora and description of Kuklospora and Intrasporea, two new genera in the arbuscular mycorrhizal Glomeromycetes. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 80(1), 69-81. doi:10.5073/JABFQ.2006.080.011
- Sociedad Pública Ihobe. (2020, diciembre 1). El suelo, algo más que un simple soporte para las actividades humanas. <https://www.ihobe.eus>. Recuperado el 21 de junio de 2025 de: <https://www.ihobe.eus/actualidad/suelo-algo-mas-que-un-simple-soporte-para-actividades-humanas>
- Sparks, Donald L., Singh, Balwant, y Siebecker, Matthew G. (2024). Chapter 10 - The Chemistry of Saline and Sodic Soils. En *Environmental Soil Chemistry (Third Edition)* (pp. 411-438). Boston: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-443-14034-1.00010-1
- Taylor, Andrew, Walker, Christopher, y Bending, Gary D. (2014). Dimorphic spore production in the genus Acaulospora. *Mycoscience*, 55(1), 1-4. doi:10.1016/j.myc.2013.03.001
- Taylor, Thomas N., Krings, Michael, y Taylor, Edith L. (2015). 7 - Glomeromycota. En Thomas N. Taylor, Michael Krings, & Edith L. Taylor (Eds.), *Fossil Fungi* (pp. 103-128). San Diego: Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-387731-4.00007-4
- Torres, María Luz, Crespo, Esteban M., Carasio, M. Cecilia, Lugo, Mónica A., Torres, María Luz, Crespo, Esteban M., ... Lugo, Mónica A. (2024). Hongos micorrícicos arbusculares y endófitos septados oscuros en raíces de helechos nativos de uso medicinal de las Sierras Centrales de San Luis, centro-oeste de Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 59(3), 9-9. doi:10.31055/1851.2372.v59.n3.44533

- United States Environmental Protection Agency. (2004). SW-846 Test Method 9045D: Soil and Waste pH (p. 5). Recuperado de: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/9045d.pdf>
- Valdiviezo Saavedra, Luz Elizabeth. (2021). Compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares, bajo condiciones de invernadero en la región San Martín. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto-Perú. Recuperado de <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/ac9d4e3a-02ad-4e38-9440-e8763cad013a/content>
- Valdiviezo-Saavedra, Luz Elizabeth, Ríos-Ruiz, Winston Franz, Rojas García, José Carlos, y Sandoval-Flores, Diana Trace. (2024). El desarrollo de leguminosas de cobertura por hongos micorrízicos arbusculares depende del grado de especificidad de los simbioses. Manglar, 21(2). doi:10.57188/manglar.2024.030
- Vásquez, Jacinto, y Loli, Oscar. (2018). Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculada*, 9(1). Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000100005
- Walker, Christopher, Harper, Carla J., Brundrett, Mark C., y Krings, Michael. (2018). Chapter 20 - Looking for Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Fossil Record: An Illustrated Guide. En Michael Krings, Carla J. Harper, Néstor Rubén Cúneo, & Gar W. Rothwell (Eds.), Transformative Paleobotany (pp. 481-517). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-813012-4.00020-6
- Yoshioka, Isabel, Sánchez, Marina, y Bolaños, Martha. (2006). Actividad de fosfatasa ácida y alcalina en suelo cultivado con plátano en tres sistemas de manejo, 55(2), 11. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169920417001.pdf>

APÉNDICES

Apéndice 1. Mapeo de las unidades de análisis de toda la parcela experimental

				----- 8m-----	
	T0	T2	T1	T3	--- 9m ---
	T2	T1	T3	T0	
	T3	T0	T2	T1	

Apéndice 2. Recolección de muestras edáficas de cada tratamiento con sus repeticiones, más pesado de cada muestra y su respectiva codificación.



Apéndice 3. Análisis de las muestras edáficas en el laboratorio LABSAF



Donde: a.) Pesado de la muestra previamente tamizado, b.) evaluación de pH y CE, c.) evaluación de materia orgánica, d.) evaluación de nitrógeno, e.) evaluación de fósforo y f.) evaluación de potasio.

Apéndice 4. Estadísticos descriptivos de las diferentes concentraciones empleadas de Micotab.

		Descriptivos							
		N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
pH	0 kg/ha Micotab	3	6,300	,3606	,2082	5,404	7,196	6,0	6,7
	62,5 kg/ha Micotab	3	6,433	,3786	,2186	5,493	7,374	6,0	6,7
	125 kg/ha Micotab	3	6,200	,2646	,1528	5,543	6,857	6,0	6,5
	187,5 kg/ha Micotab	3	6,333	,5774	,3333	4,899	7,768	6,0	7,0
	Total	12	6,317	,3614	,1043	6,087	6,546	6,0	7,0
CE (mS/m)	0 kg/ha Micotab	3	6,133	2,9704	1,7150	-1,246	13,512	2,8	8,5
	62,5 kg/ha Micotab	3	6,067	2,8024	1,6180	-,895	13,028	3,8	9,2
	125 kg/ha Micotab	3	5,933	2,0793	1,2005	,768	11,099	4,4	8,3
	187,5 kg/ha Micotab	3	5,267	1,9858	1,1465	,334	10,200	3,1	7,0
	Total	12	5,850	2,1598	,6235	4,478	7,222	2,8	9,2
M.O%	0 kg/ha Micotab	3	2,500	,2000	,1155	2,003	2,997	2,3	2,7
	62,5 kg/ha Micotab	3	2,433	,2309	,1333	1,860	3,007	2,3	2,7
	125 kg/ha Micotab	3	2,467	,0577	,0333	2,323	2,610	2,4	2,5
	187,5 kg/ha Micotab	3	2,800	,3606	,2082	1,904	3,696	2,5	3,2
	Total	12	2,550	,2541	,0733	2,389	2,711	2,3	3,2
P (ppm)	0 kg/ha Micotab	3	29,200	17,1292	9,8896	-13,351	71,751	15,2	48,3
	62,5 kg/ha Micotab	3	35,133	7,1696	4,1394	17,323	52,944	29,2	43,1
	125 kg/ha Micotab	3	39,167	18,7116	10,8031	-7,315	85,649	19,2	56,3
	187,5 kg/ha Micotab	3	28,067	8,5874	4,9579	6,734	49,399	20,5	37,4
	Total	12	32,892	12,7254	3,6735	24,806	40,977	15,2	56,3
K(ppm)	0 kg/ha Micotab	3	187,600	29,5173	17,0418	114,275	260,925	157,0	215,9
	62,5 kg/ha Micotab	3	300,633	165,6602	95,6440	-110,889	712,156	140,0	470,9
	125 kg/ha Micotab	3	236,300	32,0042	18,4776	156,797	315,803	204,0	268,0
	187,5 kg/ha Micotab	3	276,000	117,3840	67,7717	-15,598	567,598	198,0	411,0
	Total	12	250,133	99,1780	28,6302	187,119	313,148	140,0	470,9
Nitrógeno(mg/g)	0 kg/ha Micotab	3	1,40000	,100000	,057735	1,15159	1,64841	1,300	1,500
	62,5 kg/ha Micotab	3	1,40000	,100000	,057735	1,15159	1,64841	1,300	1,500
	125 kg/ha Micotab	3	1,40000	,100000	,057735	1,15159	1,64841	1,300	1,500
	187,5 kg/ha Micotab	3	1,73333	,665833	,384419	,07931	3,38735	1,300	2,500
	Total	12	1,48333	,329830	,095214	1,27377	1,69290	1,300	2,500

Apéndice 5. Pruebas de normalidad de los parámetros fisicoquímicos respecto a las diferentes concentraciones del tratamiento con Micotab.

Pruebas de normalidad							
	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH	0 kg/ha Micotab	,276	3	.	,942	3	,537
	62,5 kg/ha Micotab	,337	3	.	,855	3	,253
	125 kg/ha Micotab	,314	3	.	,893	3	,363
	187,5 kg/ha Micotab	,385	3	.	,750	3	,000
CE (mS/m)	0 kg/ha Micotab	,294	3	.	,921	3	,454
	62,5 kg/ha Micotab	,288	3	.	,928	3	,482
	125 kg/ha Micotab	,322	3	.	,880	3	,323
	187,5 kg/ha Micotab	,253	3	.	,964	3	,637
M.O%	0 kg/ha Micotab	,175	3	.	1,000	3	1,000
	62,5 kg/ha Micotab	,385	3	.	,750	3	,000
	125 kg/ha Micotab	,385	3	.	,750	3	,000
	187,5 kg/ha Micotab	,276	3	.	,942	3	,537
P (ppm)	0 kg/ha Micotab	,284	3	.	,934	3	,502
	62,5 kg/ha Micotab	,278	3	.	,940	3	,526
	125 kg/ha Micotab	,227	3	.	,983	3	,749
	187,5 kg/ha Micotab	,248	3	.	,968	3	,658
K(ppm)	0 kg/ha Micotab	,198	3	.	,995	3	,871
	62,5 kg/ha Micotab	,190	3	.	,997	3	,904
	125 kg/ha Micotab	,177	3	.	1,000	3	,969
	187,5 kg/ha Micotab	,353	3	.	,823	3	,171
Nitrogeno(mg/g)	0 kg/ha Micotab	,175	3	.	1,000	3	1,000
	62,5 kg/ha Micotab	,175	3	.	1,000	3	1,000
	125 kg/ha Micotab	,175	3	.	1,000	3	1,000
	187,5 kg/ha Micotab	,358	3	.	,812	3	,144

a. Corrección de significación de Lilliefors

Apéndice 6. ANOVA de los parámetros fisicoquímicos- para la determinación el valor de significancia de cada parámetro luego de la evaluación con Micotab.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	,083	3	,028	,164	,918
	Dentro de grupos	1,353	8	,169		
	Total	1,437	11			
CE (mS/m)	Entre grupos	1,423	3	,474	,076	,971
	Dentro de grupos	49,887	8	6,236		
	Total	51,310	11			
M.O%	Entre grupos	,257	3	,086	1,510	,285
	Dentro de grupos	,453	8	,057		
	Total	,710	11			
P (mg/Kg)	Entre grupos	243,929	3	81,310	,423	,742
	Dentro de grupos	1537,360	8	192,170		
	Total	1781,289	11			
K(mg/Kg)	Entre grupos	21963,340	3	7321,113	,679	,589
	Dentro de grupos	86235,687	8	10779,461		
	Total	108199,027	11			
Nitrogeno(mg/g)	Entre grupos	,250	3	,083	,704	,576
	Dentro de grupos	,947	8	,118		
	Total	1,197	11			

Apéndice 7. Prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para materia orgánica (MO%)- para la determinación el valor de significancia de cada parámetro luego de la evaluación con Micotab.

M.O%	
H de Kruskal-Wallis	3,243
gl	3
Sig. asin.	,356
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: Tratamiento	

Apéndice 8. Pruebas estadísticas de correlación (Prueba de Pearson) de los parámetros físicoquímicos respecto al uso de Micotab en el suelo degradado del Anexo Pampa Grande.

a. Relación de materia orgánica (MO) y nitrógeno (N)

		M.O%		Nitrógeno (mg/g)
M.O%	Correlación de Pearson	1		,217
	Sig. (bilateral)			,498
	N	12		12
Nitrógeno (mg/g)	Correlación de Pearson	,217		1
	Sig. (bilateral)	,498		
	N	12		12

b. Relación de materia orgánica (MO) y fósforo (P)

		M.O%		P (ppm)
M.O%	Correlación de Pearson	1		-,352
	Sig. (bilateral)			,262
	N	12		12
P (ppm)	Correlación de Pearson	-,352		1
	Sig. (bilateral)	,262		
	N	12		12

c. Relación de materia orgánica (MO) y potasio (K)

		M.O%		K(ppm)
M.O%	Correlación de Pearson	1		,206
	Sig. (bilateral)			,521
	N	12		12
K(ppm)	Correlación de Pearson	,206		1
	Sig. (bilateral)	,521		
	N	12		12

d. Relación entre potencial de hidrógeno (pH) y fósforo (P)

		pH		P (ppm)
pH	Correlación de Pearson	1		-,227
	Sig. (bilateral)			,479
	N	12		12
P (ppm)	Correlación de Pearson	-,227		1
	Sig. (bilateral)	,479		
	N	12		12

e. Relación entre potencial de hidrógeno (pH) y potasio (K)

		pH	K(ppm)
pH	Correlación de Pearson	1	,009
	Sig. (bilateral)		,978
	N	12	12
K(ppm)	Correlación de Pearson	,009	1
	Sig. (bilateral)	,978	
	N	12	12

f. Relación entre potencial de hidrógeno (pH) y la conductividad eléctrica (CE)

		pH	CE (mS/m)
pH	Correlación de Pearson	1	-,239
	Sig. (bilateral)		,455
	N	12	12
CE (mS/m)	Correlación de Pearson	-,239	1
	Sig. (bilateral)	,455	
	N	12	12

g. Relación de la conductividad eléctrica (CE) y el potasio (K)

		CE (mS/m)	K(ppm)
CE (mS/m)	Correlación de Pearson	1	-,129
	Sig. (bilateral)		,689
	N	12	12
K(ppm)	Correlación de Pearson	-,129	1
	Sig. (bilateral)	,689	
	N	12	12

h. Relación de la conductividad eléctrica (CE) y el fósforo (P)

		CE (mS/m)	Nitrógeno (mg/g)
CE (mS/m)	Correlación de Pearson	1	-,371
	Sig. (bilateral)		,235
	N	12	12
Nitrógeno (mg/g)	Correlación de Pearson	-,371	1
	Sig. (bilateral)	,235	
	N	12	12

i. Relación de la conductividad eléctrica (CE) y el nitrógeno (N)

		CE (mS/m)	Nitrógeno (mg/g)
CE (mS/m)	Correlación de Pearson	1	-,371
	Sig. (bilateral)		,235
	N	12	12
Nitrógeno (mg/g)	Correlación de Pearson	-,371	1
	Sig. (bilateral)	,235	
	N	12	12

j. Relación entre el nitrógeno (N) y el potasio (K)

		Nitrógeno (mg/g)	K(ppm)
Nitrógeno (mg/g)	Correlación de Pearson	1	,551
	Sig. (bilateral)		,063
	N	12	12
K(ppm)	Correlación de Pearson	,551	1
	Sig. (bilateral)	,063	
	N	12	12

k. Relación entre el nitrógeno (N) y el fósforo (P)

Nitrógeno (mg/g)	Correlación de Pearson	1	,221
	Sig. (bilateral)		,490
	N	12	12
P (ppm)	Correlación de Pearson	,221	1
	Sig. (bilateral)	,490	
	N	12	12

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica del inoculante biológico Micotab®



MICOTAB
(Cepas nativas)

INOCULANTE BIOLÓGICO

Ingrediente activo: Micelio extramático, raicillas colonizadas. Géneros Glomussp., Acaulosporasp., Entrophosporasp. y Gigasporasp.

Presentación: Bolsa x 1 kg en Turba estéril.

Micotab (Hongos micorrízicos arbusculares)

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares están siendo ampliamente utilizadas en explotaciones agropecuarias del ámbito nacional y mundial.

Estos hongos se asocian con la mayoría de los cultivos de importancia económica del mundo.

La relación Planta – Hongo denominada micorriza, es ampliamente conocida y de sus beneficios no hay discusión, el mayor aporte para la planta ocurre a nivel de la raíz donde se establece la simbiosis y es de carácter nutricional (facultando a la planta para absorber y asimilar nutrientes y agua de una forma más efectiva) y el beneficio para el hongo es obtener carbono producido por la planta al hacer fotosíntesis.

MECANISMOS DE ACCIÓN

Micotab es un inoculo de hongos micorrízicos que se asocia a las raíces colonizándolas, con un alto contenido de micelios microscópicos. La planta se ve beneficiada logrando una mayor absorción y traslocación de nutrientes y agua.

Forman asociaciones mutualistas con las raíces hasta lograr una colonización completa, logrando un mejor estado fisiológico y generando una mayor resistencia al ataque de patógenos y condiciones adversas (sequías, salinidad, pH)

Tanto en pruebas de invernadero, laboratorio y campo se obtienen resultados positivos, reflejados en aumento de producción y mejoramiento de condiciones físicas y biológicas, mejor desarrollo de plantas y frutos (con más de 50% de desarrollo frente al testigo)

Cuanto antes se establezca la micorriza en la vida de la planta, mejor se aprovecharán sus beneficios, por tanto, se prefiere el tratamiento en el semillero o en el vivero.

1

Oficina :Av. Jose Galvez Barrenechea 699 - 302 Urb. Córpac, San Borja – Lima .
Sede Productiva : Km 7.5 Carretera a Lunahuaná Nvo Imperial - Cañete
Teléfonos: 511-6472610 Cel: 959 500 646
tabsac.ad.2017@outlook.com



BENEFICIOS

1. Incrementa la supervivencia al trasplante
2. Resistencia al estrés hídrico
3. Mejoran la disponibilidad de fósforo
4. Incrementa el enraizamiento (mayor masa radicular)
5. Mejora el suministro de nutrientes de baja disponibilidad
6. Aumenta la resistencia ante enfermedades

DOSIS Y FRECUENCIA DE APLICACIÓN

Cultivos Semestrales	
Hortalizas	20 gr/planta
Frutales	30 gr/planta
Gramíneas	125 kg/Ha
Cultivos Semi-perennes - Perennes	
Forestales	200 gr/planta
Café – Cacao	100 gr/planta
Frutales	100 gr/planta

ALMACENAMIENTO

El producto debe ser conservado en un ambiente fresco - bien ventilado y seco.
Evitar la acción directa de la luz solar.

MODO DE APLICACIÓN

Se debe mezclar un (1) kilo de MICOTAB (hongos micorrízicos) con 12.5 kg de humus o compost. De esta mezcla se deberá aplicar la dosis indicada en el cuadro de aplicación de acuerdo al cultivo.

En semillas, se usará la misma relación de un (1) kilo de MICOTAB (hongos micorrízicos) con 12.5 kg de humus, compost o turba.

PRECAUCIONES

La aplicación de fungicidas debe hacerse 10 – 15 días antes de la inoculación con MICOTAB (hongos micorrízicos)

INFORMACIÓN DE INTERES

Se recomienda el uso en conjunto de MICOTAB y TRICHOTAB para mejorar la nutrición y proteger a la planta de patógenos del suelo.

2

Oficina :Av. Jose Galvez Barrenechea 699 - 302 Urb. Córpac, San Borja – Lima.
Sede Productiva : Km 7.5 Carretera a Lunahuaná Nvo Imperial - Cañete
Teléfonos: 511-6472610 Cel: 959 500 646
tabsac.ad.2017@outlook.com

Anexo 2. Informe del LABSAF, para la evaluación el efecto del tratamiento al finalizar el estudio.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 200**



**INFORME DE ENSAYO
LABSAF BAÑOS DEL INCA
N° 071121-25 / SU / BI**



I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : LABSAF
 Propietario / Productor : LABSAF
 Dirección del cliente : AV. LA MOLINA NRO. 1981 LIMA - LIMA - LA MOLINA
 Solicitado por : CLIENTE
 Muestreado por : CLIENTE
 Referencia del muestreo : RESERVADO POR EL CLIENTE
 Procedencia de muestra(s) (***): ANEXO PAMPA GRANDE - CAJABAMBA - CAJABAMBA - CAJAMARCA
 Fecha(s) de muestreo (****): 2025-05-31
 Fecha de recepción de muestra(s): 2025-06-03
 Lugar de ensayo : LABSAF BAÑOS DEL INCA
 Fecha(s) de análisis : Del 2025-06-04 al 2025-06-30
 Cotización del servicio : 178-25-BI
 Fecha de emisión : 2025-07-03

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM			1					
Código de Laboratorio			SU1964-BI-25	-	-	-	-	-
Matriz Analizada			Suelo	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (***)			2025-05-31	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (****)			10:58	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)			Tesis	-	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC		Resultados				
pH	unid. pH	0,10	6,2	-	-	-	-	-
Conductividad Eléctrica	mS/m	1,00	3,0	-	-	-	-	-
Acidez Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	< 0,5	-	-	-	-	-
Aluminio Intercambiable	cmol (+)/Kg	0,50	< 0,5	-	-	-	-	-
Materia Orgánica	%	0,10	1,8	-	-	-	-	-
Fósforo Disponible	mg/kg	0,50	38,6	-	-	-	-	-
Textura				-	-	-	-	-
Areña	%	-	46	-	-	-	-	-
Arcilla	%	-	30	-	-	-	-	-
Limo	%	-	24	-	-	-	-	-
Clase Textural			Franco Arcillo Arenoso	-	-	-	-	-



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliaves
 Acreditado con la Norma
 NTP-ISO/IEC 17025:2017
 LABSAF Baños del Inca
 Dirección: Jr. Wiracocha s/n Los Baños del Inca-Cajamarca
 Email: labsafbanosdelinca@inia.gob.pe

F-46 / Ver: 06
 www.inia.gob.pe



Instituto Nacional de Innovación Agraria

INFORME DE ENSAYO

LABSAF BAÑOS DEL INCA

N° 071121-25NA / SU / BI

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : LABSAF

Propietario / Productor : LABSAF

Dirección del cliente : AV. LA MOLINA NRO. 1981 LIMA - LIMA - LA MOLINA

Solicitado por : CLIENTE

Muestreado por : CLIENTE

Referencia del muestreo : RESERVADO POR EL CLIENTE

Procedencia de muestra(s) (***) : ANEXO PAMPA GRANDE - CAJABAMBA - CAJABAMBA - CAJAMARCA

Fecha(s) de muestreo (***) : 2025-05-31

Fecha de recepción de muestra(s) : 2025-06-03

Lugar de ensayo : LABSAF BAÑOS DEL INCA

Fecha(s) de análisis : Del 2025-06-04 al 2025-06-30

Cotización del servicio : 178-25-BI

Fecha de emisión : 2025-07-03

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1						
Código de Laboratorio	SU1564-BI-25	-	-	-	-	-	-
Matriz Analizada	Suelo	-	-	-	-	-	-
Fecha de Muestreo (***)	2025-05-31	-	-	-	-	-	-
Hora de Inicio de Muestreo (h) (***)	10:58	-	-	-	-	-	-
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente (***)	Tesis	-	-	-	-	-	-
Ensayo	Unidad	LC	Resultados				
Potasio Disponible	mg/kg	0,05	224,0	-	-	-	-

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
Potasio Disponible	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Ítem 7.1.12, AS-12 // EPA 6010 D. Revisión 5, 2018). Validado (modificado y aplicado fuera del alcance) 2023 Determinación de potasio disponible en suelos con saturación de acetato de amonio 1N, PH 7.0 // Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry.

IV. CONSIDERACIONES

- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C.
- Medición de Conductividad Eléctrica realizada a 25 °C.



Red de Laboratorios de Suelos, Aguas y Foliáres
Acreditado con la Norma
NTP-ISO/IEC 17025:2017

Baños del Inca
Dirección: Jr. Wiracocha s/n Baños del Inca
Email: labsafbanoosdelinca@inia.gob.pe

F-46 / Ver.06
www.inia.gob.pe