



**Evaluación del efecto de microorganismos en las propiedades físicas y químicas de  
suelos cangahua**

Carrión Granja, Bryan Darío

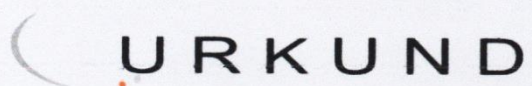
Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Pablo Aníbal Landázuri Abarca, Mgs

29 de Octubre 2020



## Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis Bryan Carrión.doc (D81647938)  
Submitted: 10/14/2020 5:03:00PM  
Submitted By: palandazuri@espe.edu.ec  
Significance: 0%

### Sources included in the report:

FERNANDA. E. QUINCHIGUANGO TESIS 09\_06\_2020.docx  
Document FERNANDA. E. QUINCHIGUANGO TESIS 09\_06\_2020.docx (D74611826)

tesis12345.docx  
Document tesis12345.docx (D46606512)

URL: <https://worldwidescience.org/topicpages/s/sobre+suelos+rojo.html>  
Fetched: 9/23/2020 9:09:19 PM

A handwritten signature in blue ink, written over a dotted line. The signature is cursive and appears to read 'Pablo Anibal Landazuri Abarca'.

**Ing. Pablo Anibal Landazuri Abarca**

**DIRECTOR**



## CERTIFICADO DEL DIRECTOR

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERIA AGROPECUARIA

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MICROORGANISMOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE SUELOS CANGAHUA" fue realizado por el señor *Carrión Granja, Bryan Darío* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, octubre de 2020



.....  
Ing. Pablo Landázuri Abarca  
1708262348



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, *Carrión Granja, Bryan Darío*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Evaluación del efecto de microorganismos en las propiedades físicas y químicas de suelos cangahua** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, octubre de 2020

  
.....  
**Carrión Granja, Bryan Darío**  
1600536732



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

*Yo, **Carrión Granja, Bryan Darío**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación del efecto de microorganismos en las propiedades físicas y químicas de suelos cangahua** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, octubre de 2020

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Carrión Granja'.

.....  
**Carrión Granja, Bryan Darío**  
1600536732

### **Dedicatoria**

A mis padres por haber dado todo su esfuerzo y dedicación pensando en lo mejor para mí, y uno de sus más grandes sueños, verme graduado. A mi hermana por haber estado apoyándome ahí siempre.

### **Agradecimiento**

A mi tutor Pablo Landázuri por el apoyo brindado, a la Doctora Arroyo por su apoyo desde el primer momento y acompañamiento, al Ing. Tigrero y al Ing. Pazmiño por su amistad y buena disposición en la realización de este proyecto, a mis amigos por siempre haber estado ahí alentándome a seguir adelante, a todo el personal que estuvo dispuesto a facilitarme las herramientas necesarias en este proceso, a la empresa AGROBIOMAZ, por el apoyo en la logística y control del proyecto.

## Índice de contenido

Carátula.....	1
Reporte Urkund .....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Índice de contenido .....	8
Índice de tablas .....	10
Índice de figuras.....	11
Resumen .....	13
Abstract .....	14
Capítulo I.....	15
Introducción .....	15
Antecedentes.....	15
Justificación.....	16
Objetivos.....	20
Hipótesis .....	20
Capítulo II .....	22
Revisión de literatura .....	22
Cangahua.....	23
Situación de suelos cangahua en el Ecuador .....	23
Trébol blanco .....	24
Adaptación del trébol en condiciones adversas .....	25
Fertilización y nutrientes limitantes en el desarrollo del trébol .....	25
Microorganismos empleados para la recuperación del suelo .....	26
<i>Micorrizas</i> .....	26
<i>Trichoderma</i> .....	27
Fertilizantes con Tecnología Microcarbono (TMC).....	27
Capítulo III.....	29
Materiales y métodos .....	29



Ubicación de la investigación .....	29
<i>Ubicación Política</i> .....	29
<i>Ubicación Geográfica</i> .....	29
Condiciones del área utilizada para la investigación.....	30
Métodos Establecimiento del ensayo en campo .....	30
Siembra y Trasplante .....	31
Obtención del <i>Trichoderma</i> .....	33
Aplicación de micorrizas y <i>Trichoderma</i> .....	34
Aplicación de Fertilizantes con tecnología de microcarbono (TMC) .....	35
Medición de nitrógeno y materia seca en el trébol .....	38
Medición de clorofila .....	38
Estimación de la cobertura foliar .....	38
Cálculo del área bajo la curva del progreso de la cobertura foliar (AUDPC).....	39
Diseño experimental .....	40
Tratamientos .....	41
Modelo matemático.....	41
Croquis experimental .....	42
Análisis estadístico .....	42
Capítulo IV .....	43
Discusión y Resultados .....	43
Resultados .....	43
Comparación de las características Físico-Químicas de las muestras de cangahua .....	43
Parámetros físicos, Densidad Aparente, Densidad Real, Porosidad, Humedad .....	43
Parámetros químicos, pH, CE, TDS .....	46
Composición física del suelo Arena, Limo y Arcilla .....	49
Parámetros analizados en el trébol.....	50
Discusión.....	55
Capítulo V .....	60
Conclusiones y recomendaciones .....	60
Conclusiones.....	60
Recomendaciones.....	61
Bibliografía.....	62

### Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Dosis de fertilizantes con TMC a aplicar</i> .....	36
<b>Tabla 2</b> <i>Propiedades físicas de suelo cangahua bajo el efecto de los tratamientos</i> .....	44
<b>Tabla 3</b> <i>Propiedades químicas del suelo cangahua bajo el efecto de los tratamientos</i> .....	47
<b>Tabla 4</b> <i>Contenido de arcilla, arena y limo del suelo cangahua de cada uno de los tratamientos.</i> .....	50
<b>Tabla 5</b> <i>Parámetros evaluados en el trébol bajo el efecto de los tratamientos</i> .....	51
<b>Tabla 6</b> <i>Cobertura foliar del trébol sometidos bajo el efecto de cada tratamiento</i> .....	53

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Ubicación geográfica de los suelos tipo cangahua en el Ecuador.....</i>	24
<b>Figura 2</b> <i>Ubicación del Ensayo.....</i>	29
<b>Figura 3</b> <i>Delimitación del área experimental en campo. ....</i>	31
<b>Figura 4</b> <i>Trébol en vivero.....</i>	31
<b>Figura 5</b> <i>Se observa la roturación del suelo de la parcela. ....</i>	32
<b>Figura 6</b> <i>Estaqueado del suelo cangahua para la siembra. ....</i>	32
<b>Figura 7</b> <i>Trasplante del trébol al lugar del ensayo. ....</i>	32
<b>Figura 8</b> <i>Proceso de obtención y multiplicación del Trichoderma.....</i>	34
<b>Figura 9</b> <i>Disolución de las cepas de Trichoderma y fertilización .....</i>	34
<b>Figura 10</b> <i>Fertilización con micorrizas con el producto MycoUp.....</i>	35
<b>Figura 11</b> <i>Toma de muestras de cangahua a los cinco meses de la siembra. ....</i>	37
<b>Figura 12</b> <i>Medición de Clorofila mediante un clorómetro Hansatech CL-01. ....</i>	38
<b>Figura 13</b> <i>Evolución del tratamiento con microorganismos .....</i>	39
<b>Figura 14</b> <i>Estimación de la cobertura foliar tratamiento con fertilizantes.....</i>	40
<b>Figura 15</b> <i>Esquema de la distribución de los tratamientos en las parcelas.....</i>	41
<b>Figura 16</b> <i>Densidad aparente y real de las muestras de cangahua.....</i>	44
<b>Figura 17</b> <i>Porcentaje de humedad de las muestras de cangahua.....</i>	45
<b>Figura 18</b> <i>Porcentaje de porosidad de las muestras de cangahua .....</i>	46
<b>Figura 19</b> <i>Conductividad eléctrica de las muestras de cangahua .....</i>	48
<b>Figura 20</b> <i>Solidos totales disueltos de las muestras de cangahua .....</i>	48
<b>Figura 21</b> <i>pH de las muestras de cangahua .....</i>	49
<b>Figura 22</b> <i>Porcentaje de Nitrógeno de las muestras de trébol .....</i>	52
<b>Figura 23</b> <i>Porcentaje de Clorofila de las muestras de trébol.....</i>	52

<b>Figura 24</b> <i>Materia seca de las muestras de trébol</i> .....	53
<b>Figura 25</b> <i>Porcentaje de cobertura foliar del trébol bajo los tres tratamientos</i> .....	53
<b>Figura 26</b> <i>Progreso del área de cobertura foliar del trébol</i> .....	54

## Resumen

En el Ecuador existen varias zonas de cangahua, donde se ha perdido la cobertura vegetal. Según el MAG, a nivel nacional existen 181.487 ha de suelos cangahua (13.162 ha cangahua aflorante y 168.325 ha cangahua a profundidad mayor a 60 cm). Varios estudios han demostrado que la inclusión de microorganismos ayuda a mejorar la fertilidad de los suelos. El presente estudio se realizó con el objetivo de comprobar el efecto de la incorporación de microorganismos benéficos como micorrizas y *Trichoderma* spp. a través de fertilizantes con Tecnología Micro Carbono (TMC), sobre los suelos cangahua ubicados en la Hacienda EL Prado. El experimento se llevó a cabo en campo abierto con un diseño 3x3, con tres tratamientos y tres repeticiones: T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC), T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) y T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)). Se analizaron las propiedades físicas y químicas del suelo donde se encontraron diferencias significativas para la densidad real, porosidad, conductividad eléctrica, pH y peso de materia seca del trébol. Sin embargo al comparar los tratamientos T1, T2 y T0 se puede observar que el tratamiento con fertilizantes TMC presentó mayor porosidad (49.86%), humedad (29.12%), menor densidad aparente ( $1.21 \text{ g cc}^{-1}$ ), densidad real ( $2.33 \text{ g cc}^{-1}$ ), conductividad eléctrica ( $74.05 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), TDS ( $29.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) y pH (6.87) que el suelo cangahua con trébol más microorganismos y el suelo solo con trébol (Tabla 2 y 3). Al comparar los tratamientos T1 y T2 se puede observar que el tratamiento con fertilizantes TMC, presentó mayor densidad real, porosidad, humedad y menor densidad aparente, conductividad eléctrica, TDS y pH que en suelo cangahua tratado con microorganismos. En cuanto a los parámetros de trébol blanco (*Trifolium repens* var. Ladino gigante) variedad analizado, el tratamiento con fertilizantes TMC mostró al final de ensayo mayor materia seca (56.31%) y área de cobertura foliar (60.58%) y menor contenido de nitrógeno (2.41%), que el tratamiento con microorganismos.

**Palabras claves:** Cangahua, TMC, trébol, recuperación, micorriza

### Abstract

In Ecuador there are several areas of cangahua, where the vegetation cover has been lost. According to the MAG, at national level there are 181,487 ha of cangahua soils (13,162 ha cangahua outcropping and 168,325 ha cangahua deeper than 60 cm). Several studies have shown that the inclusion of microorganisms helps improve soil fertility. The present study was carried out with the objective of verifying the effect of the incorporation beneficial microorganisms such as mycorrhizae and *Trichoderma* spp. through fertilizers with Micro Carbon Technology (TMC), on the cangahua soils located at Hacienda EL Prado. The experiment was carried out in open field with a 3x3 design, with three treatments and three repetitions: T0 (Soil cangahua white clover + water (di)), T1 (Cangahua clover soil + TMC fertilizer) and T2 (Cangahua clover soil + Mycorrhiza (MycoUp) + *Trichoderma* spp.). The soil physical and chemical properties were analyzed where found significant differences for the real density, porosity, electrical conductivity, pH and dry matter of clover. However, when comparing treatments T1, T2 and T0, the treatment with TMC fertilizers presented higher porosity (49.86%), humidity (29.12%), lower apparent density (1.21g cc-1), real density (2.33 g cc-1), electrical conductivity (74.05  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ), TDS (29.5  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) and pH (6.87) than the cangahua soil with clover plus microorganisms and the soil only with clover (Table 2 and 3). When comparing the treatments T1 and T2, it can be observed that the treatment with TMC fertilizers presented higher real density, porosity, humidity and lower apparent density, electrical conductivity, TDS and pH than cangahua soil treated with microorganisms. Regarding the parameters of white clover (*Trifolium repens* var. Ladino gigante) analyzed, the treatment with TMC fertilizers showed higher dry matter (56.31%) and foliar coverage area (60.58%) and lower nitrogen content (2.41%), than treatment with microorganisms.

**Key words:** *Cangahua, TMC, clover, recovery, mycorrhiza*

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

La incorporación de materia orgánica en conjunto con la aplicación de microorganismos incrementa los nutrientes del suelo, así como la producción de biomasa del trébol (Julca et al., 2006). La incorporación de residuos orgánicos no solo produce un efecto positivo en las propiedades físicas, químicas, bioquímicas y biológicas del suelo, sino que ayuda al crecimiento de algunas especies arbustivas. Si, además, se adiciona o inocula micorrizas, el crecimiento vegetal incrementa entre un 600% a 900% en la producción de biomasa, a diferencia del crecimiento de las especies vegetales sin inoculación de micorrizas (Figuroa, 2004).

Dias et al. (1995) realizaron un estudio denominado “Leguminosas forestales: aspectos relacionados con su nutrición y uso en la recuperación de suelos degradados” donde demostraron que las especies leguminosas aportan tanto carbono como nitrógeno lo cual produce un efecto positivo en la recuperación de las propiedades de un suelo degradado.

La incorporación de *Trichoderma* en la nutrición de tomate permitió disminuir la fertilización química en un 75%, y se logró una mayor producción con la misma eficiencia que el uso del 100% de fertilizante químico, además se incrementó la microflora del suelo como se puede apreciar en el estudio “Colonización de la cepa SQR-T037 de *Trichoderma harzianum* en raíces de tomate y su relación con el crecimiento de las plantas, la disponibilidad de nutrientes y la microflora del suelo.” (Cano, 2011).

Joshi et al (2009) realizaron un estudio denominado “Caracterización de indicadores microbianos para evaluar la salud del suelo degradado en Cherrapunjee, la zona de lluvias más alta de la India en el mundo” donde se determinó que en los suelos degradados existían varias especies de hongos de distintos géneros como *Penicillium*, *Aspergillus* y *Fusarium* y con una mayor prevalencia de *Thichoderma harzianum*, lo que afirma que este último es un importante factor cuando se trata de un suelo pobre.

En la zona desértica de Terga en Algeria, se realizó un estudio denominado “Evaluación de las simbiosis micorrízica arbuscular nativa para rehabilitar una duna de arena costera degradada en Argelia” donde se emplearon distintas especies vegetales para la rehabilitación de la zona, como son: *Acacia saligna*, *Lotus creticus* y *Pistacia lentiscus* las mismas que fueron inoculadas con micorrizas para asegurar su supervivencia, (Bouazza et al., 2015; Sarkar et al., 2014).

Existen varios estudios científicos que demuestran que los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) mejoran significativamente los atributos del suelo, aumentan la biodiversidad en el suelo y subsuelo (Asmelash et al., 2016).

### **Justificación**

En el Ecuador existen grandes extensiones de cangahua, ubicados en la parte septentrional del callejón interandino, correspondientes a las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi, y Chimborazo (Figura 1). La cangahua es considerada como suelo estéril porque es dura de trabajar debido a que es muy compacta. Algunas zonas de la serranía, donde existe cangahua, presentan un horizonte superficial



meteorizado y la cangahua libre, en el subsuelo, se encuentra a menos de 20 cm de profundidad.

En otras zonas de la serranía, el suelo meteorizado ha desaparecido por pérdida y deja a la cangahua aflorante, en el horizonte superficial. Zebrowsky (1996) indicó que la superficie de cangahua en el Ecuador cubría aproximadamente 80.000 ha. Es así como Noni y Trujillo (1984) nos indicaron que el 47 % de la tierra en el Ecuador se encuentra con procesos de erosión clasificados como muy activa de 1,3%, activa de 7.7%, activa y potencial de 3.1% y potencial de 35.8%. Para el año 2004, el Ministerio del Ambiente de Ecuador afirmó que el 0.33% de la superficie del Ecuador se encuentra ya en procesos de desertificación y que la tendencia es de incremento debido al cambio climático. Valverde (2011), técnico del Departamento de Suelos y Agua del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), indicó que el 50% del suelo cultivado en Ecuador estaba afectado por erosión y el 15% del callejón interandino con sus vertientes aledañas. Esta situación ha provocado suelos improductivos que obligan a los agricultores de estas zonas a dejar sus tierras en busca de un sustento y se desplazan a la ciudad, dejando terrenos abandonados, lo cual afecta directamente a la sostenibilidad alimentaria (Diario La Hora, 2011).

Actualmente el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), indica que a nivel nacional existen 181.487 ha, de las cuales 13.162 ha corresponden a cangahua aflorante y 168.325 ha a cangahua a profundidad mayor a 60 cm (Jiménez, Loayza, Metzler, & Eric, 2018). Además, la ONU menciona que para el año 2050, 143 millones de habitantes tendrán que abandonar sus países en busca de agua y tierra productiva (El Comercio, 2018).

De acuerdo a los estudios anteriores mencionados, la adición de microorganismos permite liberar nutrientes del suelo cangahua, los cuales son requeridos por los pastos y se constituye en una propuesta alternativa económica y amigable con el ambiente para recuperar suelos poco fértiles en zonas donde la agricultura se dificulta por el tipo de suelo o porque posee una producción deficiente en pro de aumentar la siembra de forraje como el trébol blanco, como beneficio para los ganaderos de la zona.

Los suelos volcánicos requieren de una mejora de sus propiedades físicas para ser aptos para la agricultura. Una de las razones principales es su bajo contenido de nitrógeno debido a la inexistencia de residuos orgánicos (Barra, 2004). De acuerdo con Randazzo et al. (2013) en su estudio “Identificación de cultivares de trébol blanco (*Trifolium repens* L.) mediante SSR”, indicaron que el trébol blanco es una variedad muy importante entre 300 variedades consideradas como recurso agronómico debido a la alta eficiencia en la aportación simbiótica de nitrógeno al suelo.

La agricultura en las zonas estudiadas se encuentra condicionada por pendientes del 10 % al 15 %, por lo que el uso del trébol, como una planta de fácil sembradío, resistente a condiciones adversas y alto porcentaje de supervivencia permitirá la rehabilitación del suelo a través del tiempo, además que supone una fuente de alimento para el ganado de los campesinos, el mismo que servirá como fuente de alimento.

Las micorrizas permiten al trébol tener acceso a una mayor área de suelo, dándole una mayor disponibilidad de nutrientes, la unión entre el hongo y la raíz produce un cambio en la microbiota del suelo (Blancof y Salas, 1997). Por otro lado, las micorrizas tienen la propiedad de poder solubilizar y tomar el fósforo presente en el suelo que normalmente no está disponible para las plantas (Juárez, 2013). Además existe un efecto

directo en la nutrición vegetal, y un efecto fisiológico en la fotosíntesis y distribución de carbono hacia la raíz de un 6% a 12% adicional importante para la actividad microbiana. La micorriza ayuda a dar estructura al suelo y evitar la erosión, la cual es producida una vez que la cangahua se rotura (Blancof y Salas, 1997).

Por otro lado, las micorrizas mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo a través del aporte de materia orgánica, ya que sus hifas sirven como alimento de nemátodos y micro artrópodos, además de permitir la formación de agregados a través de la adhesión de partículas, mediante una proteína exudada por el micelio denominada glomalina, efecto que contribuye a dar estructura y estabilidad al suelo. Los hongos formadores de micorrizas en asociación con los microorganismos de la rizósfera producen compuestos húmicos que descomponen los minerales primarios y generan polisacáridos que permiten estabilizar la estructura del suelo, unir granos y homogenizar partículas finas del suelo y crear porosidad (Guadarrama et al., 2004).

El *Trichoderma* por su lado provee a la planta defensas contra patógeno e insectos y aumenta su resistencia. También produce auxinas lo cual estimula el crecimiento de las plantas y secreta ácidos orgánicos, como glucónicos, fumáricos y cítricos los cuales alteran el pH del suelo permitiendo la solubilización de macro y micronutrientes como el fósforo, hierro, manganeso y magnesio mejorando el funcionamiento del sistema radicular (Brotman et al., 2010).

Los fertilizantes con tecnología de micro carbono (TMC) contienen micropartículas que traen mayor cantidad de nutrientes, que se pueden aplicar a través del riego, los cuales permiten una asimilación radicular más eficaz, por el tamaño de partícula que posee menos de 10 átomos de carbono. Esto conlleva a un menor gasto de

energía por parte de las plantas y mayor disponibilidad nutritiva que no ofrecen los fertilizantes convencionales. Además de mejorar la estructura física, química y biológica del suelo, proporcionan mayor aireación que favorece la infiltración y la capacidad de retención de agua, permitiendo trabajar con aniones y cationes y así reducir la pérdida de nutrientes en el suelo (HUMAGRO, 2018).

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos (*Trichoderma* y micorrizas) en suelos cangahua sobre las propiedades físicas y químicas del suelo usando al trébol blanco (*Trifolium repens*) como indicador biológico.

### **Objetivos específicos**

Evaluar las características físicas y químicas de la cangahua tratada con *Trichoderma* y micorrizas en comparación con la cangahua tratada con fertilizantes químicos con tecnología de microcarbono.

Comparar la calidad nutricional mediante la cantidad de nitrógeno, producción de materia seca y área de cobertura foliar que existe entre el trébol blanco tratado con fertilización al momento de la siembra en contraste con la aplicación de microorganismos.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis alternativa**

La aplicación de microorganismos en suelos cangahua produce cambios positivos en las propiedades físicas y químicas.

**Hipótesis nula**

La aplicación de microorganismos en suelos cangahua no influye en las propiedades físicas y químicas.

## Capítulo II

### Revisión de literatura

#### Componentes esenciales del suelo

Según Buckman y Brady (1991), los suelos están compuestos por varios elementos como materias minerales, materia orgánica, agua y aire. Los materiales minerales están compuestos por fragmentos de rocas como piedra y grava y minerales de diferentes variedades de pequeño tamaño, como arenas, sedimentos, limos y arcillas. La materia orgánica es una fracción compuesta por restos de material vegetal y animal, la cual se encuentra en descomposición gradual por medio de la microbiota del suelo. El contenido porcentual de materia orgánica dentro del suelo está entre 3% y 5%. Su papel es indispensable en la granulación de partículas minerales, además de aportar elementos como el azufre, fósforo y nitrógeno. Por otro lado, permite la retención del agua y es la fuente de alimento para los microorganismos.

Otro elemento importante en el suelo es el agua, que se encuentra en los poros, en variable cantidad y conformando soluciones con sales, los cuales son nutrientes para la vida vegetal. Cuando existe una humedad óptima en el suelo, la planta puede tomar el agua con nutrientes para desarrollarse, sin inconvenientes, una parte del agua queda atrapado en los pequeños poros, por lo que la cantidad de agua que pueden absorber depende del tipo del suelo, y del abastecimiento por lluvia o riego. Finalmente el aire que se encuentra en los poros delimitados según la conformación o estructura de los sólidos presentes en el suelo y su contenido depende de la presencia o no de agua. Cuando existen periodos secanos las partículas de agua se disipan, y el aire pasa a ocupar su lugar.

## **Cangahua**

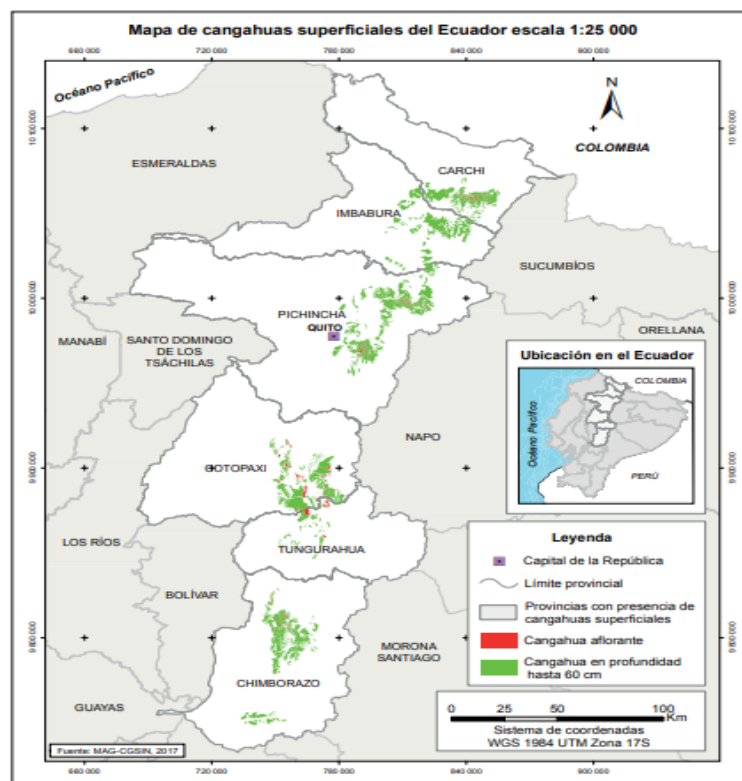
Es un suelo proveniente de piroclastitas endurecidas por enfriamiento luego de su emisión volcánica, que generalmente, conforma toda la capa dura encontrada en el perfil del suelo. El 20% del valle interandino del Ecuador se halla cubierto con este suelo cangahua (Zebrowsky, 1996).

La cangahua posee una textura arenosa limosa, es pobre en nutrientes, compacta y difícil de trabajar que impide el desarrollo de las raíces. Su recuperación se realiza a través de la roturación por medio de un subsolador, a una profundidad de un metro, para permitir la aireación y soltura del suelo, para que las raíces puedan desarrollarse. El paso del arado, rastra y la posterior adición de materia orgánica ayudan a mejorar la estructura. (Brown et al., 2017).

## **Situación de suelos cangahua en el Ecuador**

En el Ecuador, existen grandes extensiones de tierra llamadas cangahua, formadas de las cenizas volcánicas. La reforma agraria ha traído nuevas propuestas para la recuperación de estos suelos para volverlos fértiles, mediante el uso de tractores roturadores, pero es una de las propuestas más controversiales, ya que pulveriza la estructura endurecida, dejando un suelo polvoso sin tomar en cuenta que la mayor área de cangahua se encuentran en pendientes mayor al 15%. Con la fuerza del agua de lluvia y el viento se producen deslaves que generan una pérdida de suelo entre 200 y 500 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y la capa arable desaparece en la fase de barbecho, al fin del ciclo de cultivo (Oyarzum et al., 2015).

**Figura 1**  
*Ubicación geográfica de los suelos tipo cangahua en el Ecuador*



*Nota:* Tomado de MAG, 2017

### **Trébol blanco**

Leguminosa forrajera perenne presente en regiones de clima templado, posee un gran valor nutritivo y una alta capacidad de incorporación de nitrógeno al suelo a través de simbiosis (Randazzo et al., 2013). Esta especie se encuentra presente en prados de ciénaga, orillas de arroyos, entre otras fuentes de agua, en zonas de Europa y regiones del Mediterráneo como las Azores, Madeira y Canarias. Se usa como adorno en céspedes de jardines o como forraje, razón por la cual se ha naturalizado en varias zonas del mundo (Zohary y Heller, 1984).



### **Adaptación del trébol en condiciones adversas**

El trébol es una especie muy resistente a malas condiciones en el suelo. Esta planta tiene la capacidad de monitoreo en la parte aérea, la cual estimula el tamaño de la raíz, de acuerdo con las condiciones externas, estimulando la longitud de la raíz en función del agua disponible. Las variedades de hoja de mayor tamaño, como la variedad Ladino gigante (especie usada en Ecuador) se asocian a la aparición de raíces pivotantes, además muestran un mayor rendimiento radicular y crecimiento acelerado según lo citado por Caradus y Woodfield (como se cita en Olmos, 2005). El trébol blanco pertenece al Reino plantae, División magnoliophyta, Clase magnoliopsida, Orden fabales, Familia Fabaceae, Género *Trifolium* y Especie *repens*, (Estrada, 2002).

### **Fertilización y nutrientes limitantes en el desarrollo del trébol**

En el trébol los nutrientes se mueven de forma acropetal. Si la planta no tiene estrés, ésta dirige el carbón hacia el estolón principal en un 22%, al tejido de estolones un 16%, a raíces adventicias el 34% y a ramas un 29%. El fósforo está relacionado con la longitud radicular. La acumulación de carbohidratos en las hojas conduce a una mayor tolerancia del frío en invierno. La cantidad de carbono está relacionado con mayor cantidad de ramas, las cuales empiezan a generar su propio sistema fotosintético. La sombra limita a la planta produciendo que la misma compense los recursos a toda la planta, lo cual repercute negativamente en el tamaño de la planta, ramas axilares, así como el peso. Este efecto es similar cuando existe defoliación afectando al carbono dirigido hacia las distintas partes vegetativas (Olmos, 2005).

Los nutrientes más limitantes para el trébol son el fósforo, seguido del azufre, potasio y molibdeno según lo citado por During (citado en Woodfield y Caradus, 1996).

El fósforo es un elemento muy importante dentro de la nutrición del trébol blanco ya que incrementa la cantidad de materia seca, Scott (1997) y el boro para la formación de nódulos, (Rozo y Munévar, 1979, como se citó en ICA, 1970).

## **Microorganismos empleados para la recuperación del suelo**

### ***Micorrizas***

Son organismos formados de la asociación entre un hongo y una raíz vegetal sin embargo existen varios tipos de micorrizas de acuerdo con la manera como las hifas actúan en conjunto con las células de la raíz. Principalmente se distinguen las ectomicorrizas, endomicorrizas y ectendomicorrizas. En las ectomicorrizas las hifas atraviesan los espacios intercelulares de las raíces secundarias formando una red denominada “red de Hartig”, todo este sistema formado recibe el nombre de morfotipo ectomicorrízico. En las endomicorrizas conocidas como micorrizas vesículo-arbuscular las hifas atraviesan o rodean las células, formando dos estructuras conocidas como arbuscúlos generada en el cilindro vascular y sirven para la transferencia de nutrimentos y vesículas que depende del tipo de hongo y son usados como almacén de nutrimentos. Las micorrizas arbusculares son importantes en la agricultura pues maximizan el desarrollo y producción en diferentes especies. Por otro lado, las ectendomicorrizas poseen características de las dos anteriores como la red de Hartig junto con penetración intracelular (Andrade, 2010).

Los hongos participantes en estas asociaciones pueden ser Glomeromycota (i.e. *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*), Ascomycota (i.e. *Peziza*, *Tuber*) y Basidiomycota (i.e. *Amanita*, *Cantharellus*) (Camargo, Montaña, Mera & Montaña Arias, 2012) (p.7). La asociación con las micorrizas permite que la planta pueda acceder a una mayor área de

suelo, permitiéndole extenderse hasta 9 cm desde la raíz donde se tiene una mayor disponibilidad de nutrientes, por otro lado, esta unión hongo- raíz produce un cambio en el microbiota del suelo y ayuda a dar estructura al suelo y evitar la erosión (Blancof y Salas, 1997).

### ***Trichoderma***

Este género está compuesto de una gran variedad de filamentos rizocompetentes de cepas de hongos existentes en distintos ecosistemas. Son obtenidos de bosques o suelos agrícolas y pueden ser cultivados en vitro. Sus esporas son verdes, y algunas especies poseen olor a coco. Poseen varios mecanismos de acción antagonista como la presencia del compuesto 6-pentil- $\alpha$ -pirona con acción fungicida en hongos fitopatógenos, competencia por nutrientes y espacio por lo que se usan como agentes de biocontrol. Además, con auxinas estimulan el crecimiento vegetal en un 300%, aumentan las defensas contra patógenos e insectos (Brotman et al., 2010).

El hongo *Trichoderma* actúa sobre el patógeno a través de sus hifas que crecen alrededor de las hifas del huésped, y por medio de estructuras en forma de gancho penetran las paredes del patógeno a través de células que degradan las paredes y con poderosas quitinasas, además de otros metabolitos secundarios (Brotman et al., 2010).

### **Fertilizantes con Tecnología Microcarbono (TMC)**

Esta tecnología está basada en una mezcla de micromoléculas orgánicas compuestas por carbono y oxígeno, que aparte de brindar carbono sirven como transporte de nutrientes a la planta por medio del suelo o las hojas. La micromolécula se la ha identificado como leonardita, un material suave y húmico rico en carbono, el cual es

sometido a microorganismos y algas de agua dulce que producen un gel de diminuto tamaño. De acuerdo con HUMAGRO (2018), estos productos mejoran la actividad fisiológica de plantas, la microbiota benéfica, la estructura física del suelo, aumento de asimilación de nutrientes, funciona como catalizador de todas las soluciones nutricionales incorporadas, evita plagas y enfermedades.

La importancia de esta tecnología radica en el tamaño de su partícula, la cual posee menos de 10 anillos de carbono, cien veces menor a un ácido húmico y mil veces menor a un ácido fúlvico. La TMC ofrece materia orgánica que actúa con iones metálicos y no metálicos, pueden ser aplicados de forma foliar o directamente en el suelo, de forma que los nutrientes se asimilan de una manera directa y las deficiencias pueden ser corregidas en un menor período de tiempo. La incorporación de TMC permite al agricultor obtener mayor rendimiento y calidad en sus cultivos, ya que existe una asimilación nutritiva más eficiente, que tiene un efecto benéfico en el ambiente (HUMAGRO, 2018).

## Capítulo III

### Materiales y métodos

#### Ubicación de la investigación

##### *Ubicación Política*

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la Carrera de Agropecuaria – IASA-1 ubicada en la Hacienda El Prado –IASA I, Parroquia Rumipamba, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha.

##### *Ubicación Geográfica*

La investigación se realizó en las siguientes coordenadas: Altitud: 2748 msnm, Latitud: 0° 23`20``S y Longitud: 78° 24`44``E. **Fuente:** MA-56 (Estación agrometeorológica IASA). 1998-2019.

#### **Figura 2**

Ubicación del Ensayo



### **Condiciones del área utilizada para la investigación**

El ensayo se realizó en campo abierto en condiciones naturales del lugar, solo cubierto con una malla de sarán para proteger de la lluvia o granizo y un cerco para evitar el ingreso de ganado para evitar la destrucción de las plantas. Las condiciones naturales fueron: Temperatura máx.: 22 °C; Temperatura mín.: 7 °C; Humedad relativa: 70 %; Precipitación: 259 mm/mes. Fuente: MA-56 (Estación agrometeorológica IASA), 1998-2019.

### **Métodos**

#### **Establecimiento del ensayo en campo**

Se procedió a medir las dimensiones del terreno con suelo cangahua aflorante ubicado en la Hacienda El Prado y luego se delimitó el espacio requerido para la siembra del trébol (*Trifolium repens*). El ensayo se realizó sobre un suelo cangahua, del cual se retiró cualquier vestigio de suelo meteorizado para dejar a la vista la cangahua aflorante. Se delimitó los espacios respectivos para cada tratamiento, que fueron tres: T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), suelo cangahua con trébol regado con agua desionizada (d.i.); T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC), suelo cangahua con trébol + fertilizante con tecnología microcarbono (TMC); y T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.), suelo cangahua con trébol + *Trichoderma* spp. + micorrizas. Cada tratamiento con tres repeticiones, dio un total de 9 unidades experimentales.

**Figura 3**

*Delimitación del área experimental en campo.*

**Siembra y Trasplante**

El trébol blanco sembrado fue de la variedad Ladino gigante casa Alaska con un 87% de germinación. Las semillas fueron sembradas en bandejas de 128 alvéolos en un sustrato de turba Pro Mix PGX 90% y humus 10% hasta que las plantas presentaron entre tres a cuatro hojas verdaderas. A continuación se procedió a la roturación de las parcelas del suelo cangahua, a una profundidad de 0,20 m usando una barra, para permitir que la planta pueda desarrollarse. Se trasplantaron los tréboles en parcelas espequeadas a una distancia de 0,10 m, sembrando tres plantas por espeque. El riego se realizó únicamente los días que no había precipitación con agua (d.i).

**Figura 4**

*Trébol en vivero*



**Figura 5**

*Se observa la roturación del suelo de la parcela.*

**Figura 6**

*Estaqueado del suelo cangahua para la siembra.*

**Figura 7**

*Trasplante del trébol al lugar del ensayo*





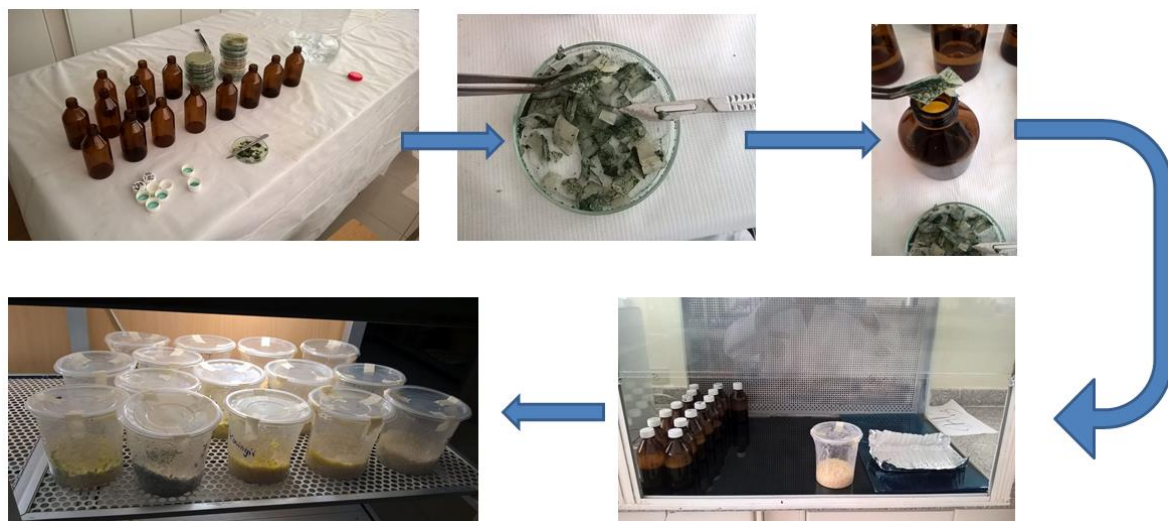
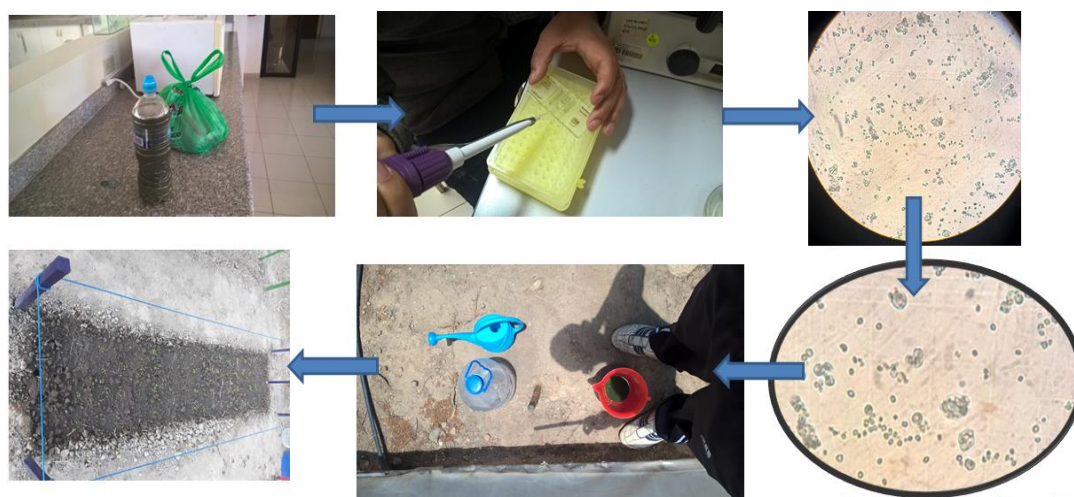
### **Obtención del *Trichoderma***

Se usaron muestras de *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. koningii*, *T. longibrachiatum*, *T. viride*), sembradas en Papa Dextrosa Agar (PDA) producidas en el laboratorio de Biotecnología de la Carrera Agropecuaria.

Para la preparación del sustrato en que se desarrollaron las cepas de *Trichoderma*, se emplearon dos kg de arroz repartidos en 15 tarrinas, capacidad un litro, que fueron selladas y autoclavadas a 120°C a 15 PSI.

Las cepas de *Trichoderma* en PDA fueron cortadas en trozos de 3 cm x 3 cm y colocados en 50 ml de agua destilada estéril (ADE). Para su multiplicación, se trabajó en una cámara de flujo laminar, se procedió a tomar 10 ml de la mezcla de *Trichoderma* ADE y se adicionaron a cada una de las tarrinas. Las cuales fueron incubadas durante cuatro días a temperatura ambiente en ausencia de luz. Al final de la incubación, las muestras fueron sometidas a un proceso de secado a 45°C en estufa y guardadas en fundas Ziploc para su conservación y posterior uso.

Para la aplicación del *Trichoderma* en campo se pesó un gramo del producto seco y se lo diluyó en un litro de ADE de la solución madre del hongo, se realizaron diluciones sucesivas hasta una concentración de  $10^6$  esporas x  $\text{ml}^{-1}$  contadas en una cámara de Neubauer.

**Figura 8***Proceso de obtención y multiplicación del Trichoderma***Figura 9***Disolución de las cepas de Trichoderma y fertilización***Aplicación de micorrizas y *Trichoderma***

Se utilizó el producto MycoUp (Symborg), cuyo ingrediente activo (i.a) es *Glomus iranicum* var. *Tenuiihyarum* var. nov. formulado en un sustrato mineral arcilloso con concentraciones de  $1.2 \times 10^4$  propágulos en 100 g de sustrato. El producto se

disolvió en ADE de acuerdo con la recomendación indicada de  $3 \text{ kg ha}^{-1}$ , el mismo que fue aplicado con el riego en drench en toda el área del tratamiento T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) y sus réplicas. El producto fue aplicado en el suelo cangahua al inicio del trasplante, según recomendación del fabricante. La segunda y última aplicación se MycoUp se la realizó al segundo mes y luego de 20 días, se aplicó 1 litro ( $10^6$  Unidades de esporas) de *Trichoderma* por  $\text{m}^2$  de parcela (Gilchrist et al., 2009). La aplicación del *Trichoderma* spp. se realizó una vez por mes.

### Figura 10

*Fertilización con micorrizas con el producto MycoUp*



### Aplicación de Fertilizantes con tecnología de microcarbón (TMC)

Para el tratamiento con fertilizantes TMC (empresa AGROBIOMAZ) de la marca HUMAGRO, se aplicó de forma mensual, durante 5 meses, los productos Phosmax, Super K, 44MAG, Boron y X-tend en una sola mezcla, mientras que los productos Soilmax y ZAP, se aplicaron 15 días después de la aplicación de los ya mencionados, de acuerdo a las recomendaciones de la empresa HUMAGRO como se puede ver en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
*Dosis de fertilizantes con TMC a aplicar*

<b>Producto</b>	<b>Unidad Fertilizante</b>	<b>Dosis aplicada mlxm<sup>2</sup></b>
<b>MACRONUTRIENTES</b>		
<b>Super K</b>	40% K <sub>2</sub> O	0.11
<b>Phos max</b>	50%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24
<b>MICRONUTRIENTES</b>		
<b>44MAG</b>	5%Mg + 5.5%S	0.28
<b>Boron</b>	5%B	0.01
<b>ACTIVADORES DEL SUELO</b>		
<b>X-tend</b>	6%N + 2%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25
<b>Soil max</b>	5%N+0.1%Fe+0.05%Mn+0.05%Zn	0.5
<b>Zap</b>	8%N+1%S+0.1Fe+0.05%Mn+0.05%Zn	0.5

*Nota.* Fertilizantes con TMC, unidad fertilizante, con su dosis de aplicación respectiva en mililitros por cada metro cuadrado de terreno.

### **Análisis de cangahua**

Antes de la siembra, se tomaron muestras de cangahua del área experimental de manera aleatoria en zigzag, para obtener una muestra representativa. La muestra de cangahua se homogeneizó y dividió en cuatro sub-muestras. Se tomó una división de suelo y se analizaron parámetros físicos y químicos.

Una vez concluidos cinco meses del ciclo de cultivo se repite la metodología del análisis de suelo de cangahua, y sus análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de Agrocalidad.

### ***Parámetros Físicos***

Los parámetros físicos analizados en el suelo cangahua fueron: densidad aparente por el método gravimétrico, densidad real por el método del picnómetro, porosidad por medio de cálculo  $\%P = \left( \frac{Dr - Da}{Da} \right) \times 100$ , contenido de humedad por el método gravimétrico, textura por el método de Bouyoucos realizados en el Laboratorio de Suelos Aguas y Foliare de la Carrera Agropecuaria.

### ***Parámetros Químicos***

Los parámetros químicos analizados en el suelo cangahua fueron: potencial de hidrógeno (pH) analizado con un pH-metro marca Martini modelo Mi 151 en una suspensión de suelo en agua (1:1), conductividad eléctrica, salinidad y sólidos totales disueltos en un equipo marca Inolab, modelo WTW pH 730.

### **Figura 11**

*Toma de muestras de cangahua a los cinco meses de la siembra.*



### **Medición de nitrógeno y materia seca en el trébol**

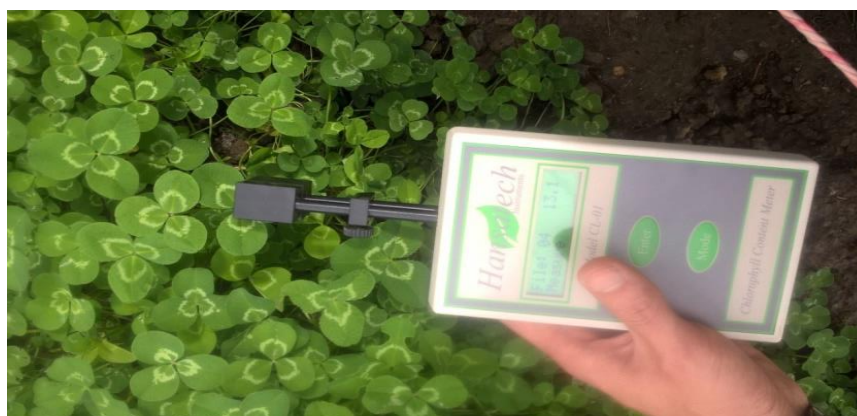
Los análisis en el trébol consistieron de nitrógeno y materia seca. Debido a que el área de la parcela fue de un metro cuadrado se escogieron las áreas con la mejor cobertura foliar. El material vegetal pesado, en fundas de papel, se lo secó por 24 horas en una estufa a 120 °C. Una vez seco se molió el material para las determinaciones de nitrógeno (Método de Dumas AGROCALIDAD) y materia seca por gravimetría.

### **Medición de clorofila**

Para la medición de clorofila, se usó el clorómetro Hansatech CL-01, se seleccionaron 15 hojas de desarrollo intermedio al azar de cada cama por tratamiento con sus respectivas repeticiones y se midió el porcentaje de clorofila.

### **Figura 12**

*Medición de Clorofila mediante un clorómetro Hansatech CL-01.*



### **Estimación de la cobertura foliar**

La medición de la cobertura foliar se realizó mediante fotografías cada 35 días, de cada tratamiento; mediante la aplicación celular Android CANOPEO (VERSIÓN 1.1.7), que estima el área foliar en porcentaje de cobertura.



### Cálculo del área bajo la curva del progreso de la cobertura foliar (AUDPC)

Otro parámetro que se analizó para cuantificar mejor el área de cobertura foliar fue a través del AUDPC, que permite calcular el área bajo la curva del progreso de la cobertura foliar generada en el tiempo. Para dicho cálculo se usó la siguiente fórmula (Forbes, Pérez & Andrade, 2014) (p. 50).

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

### Figura 13

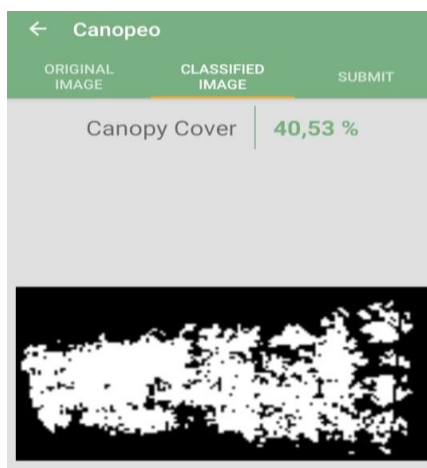
*Evolución del tratamiento con microorganismos*



Nota. A los 35, 70, 105 y 140 días del ciclo de cultivo, de izquierda a derecha

**Figura 14**

*Estimación de la cobertura foliar tratamiento con fertilizantes*



*Nota.* Captura de la aplicación CANOPEO, estimación de la cobertura foliar tratamiento T1R3(Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) correspondiente a los 70 días.

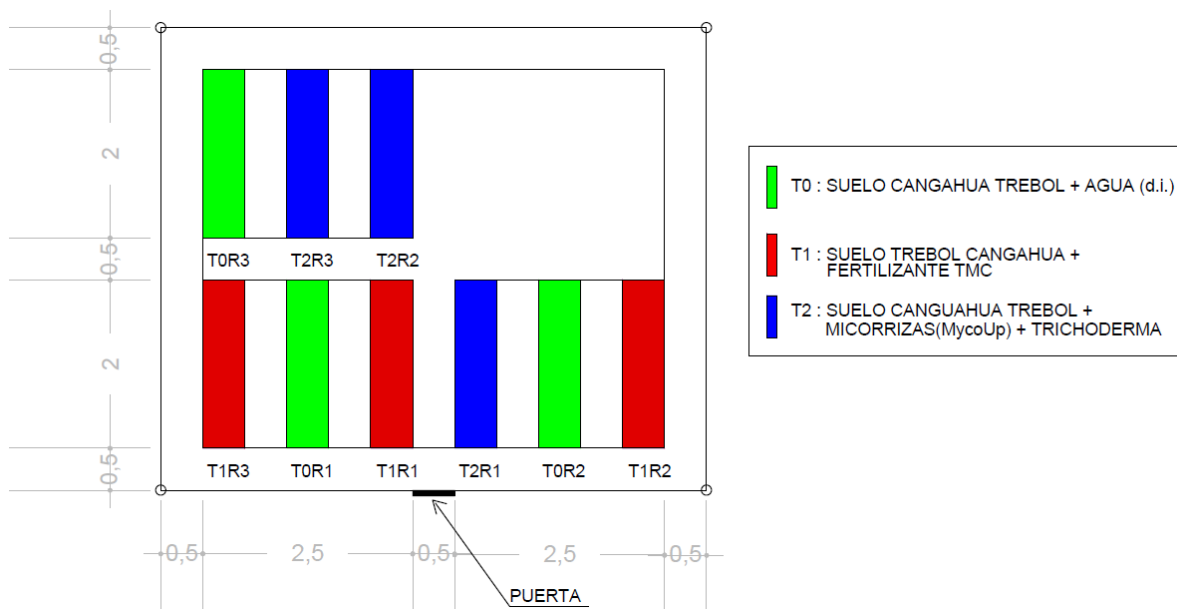
**Diseño experimental**

El experimento se realizó en un suelo cangahua donde se dispusieron tres tratamientos con tres repeticiones en un diseño completamente al azar. La unidad experimental fue denominada parcela, cuya dimensión fue de 0,5 x 2.0 m en las cuales se sembró trébol, con un total de nueve unidades experimentales. Las variables de respuesta en el suelo cangahua fueron densidad aparente, densidad real, porosidad, humedad, pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos y en el trébol, indicador biológico, las variables de respuestas fueron el contenido de nitrógeno, clorofila, materia seca y cobertura foliar.



**Figura 15**

*Esquema de la distribución de los tratamientos en las parcelas.*



### Tratamientos

Tratamientos	Nomenclatura	Descripción
1	T0	Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)
2	T1	Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC
3	T2	Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + <i>Trichoderma</i> spp.

### Modelo matemático

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Variable de respuesta

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

### **Croquis experimental**

T0R3	T2R3	T2R2			
T1R3	T0R1	T1R1	T2R1	T0R2	T1R2

### **Análisis estadístico**

Para analizar los datos de las diferentes variables en estudio se utilizó el paquete informático INFOSTAT, en el cual se realizaron las pruebas de análisis de varianzas (ANOVA) y para la comparación de medias, la prueba LSD  $p \leq 0,05$  % para diferenciar los efectos de los tratamientos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo cangahua y las diferencias de materia seca, contenido de nitrógeno, clorofila y área de cobertura en el trébol.

## Capítulo IV

### Discusión y Resultados

#### Resultados

##### Comparación de las características Físico-Químicas de las muestras de cangahua

Para la composición física se analizaron parámetros como la densidad aparente, densidad relativa, porosidad, humedad, mientras que para la composición química se analizaron parámetros como pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos.

##### Parámetros físicos, Densidad Aparente, Densidad Real, Porosidad, Humedad

En cuanto a las densidades aparente y real, en la Figura 16 se observa que la densidad aparente disminuye con la aplicación de los tratamientos T0=1.21g cc-1 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), T1= 1.22g cc-1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y T2= 1.22 g cc-1 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) con respecto a la densidad evaluada al inicio del ensayo S=1.42 g cc-1, mientras que la densidad real aumenta T0=2.17g cc-1 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), T1= 1.33g cc-1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y T2= 2.36 g cc-1 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) con respecto a la cangahua inicial con S=1.81 g cc-1.

En cuanto a la humedad, en la Figura 17 se puede ver que los tratamientos permiten un mayor contenido de esta variable en el suelo por el efecto de T0=28.77% (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), T1= 29.12% (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y T2= 28.18% (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) con respecto a la cangahua inicial S= 23.37%.

En cuanto al porcentaje de porosidad se puede ver en la Figura 18 como aumenta a medida que se aplican los tratamientos T0=43.67% (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), T1= 49.48% (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y T2= 46.86% (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) con respecto a la cangahua evaluada al inicio del ensayo con S= 21.88%.

**Tabla 2**

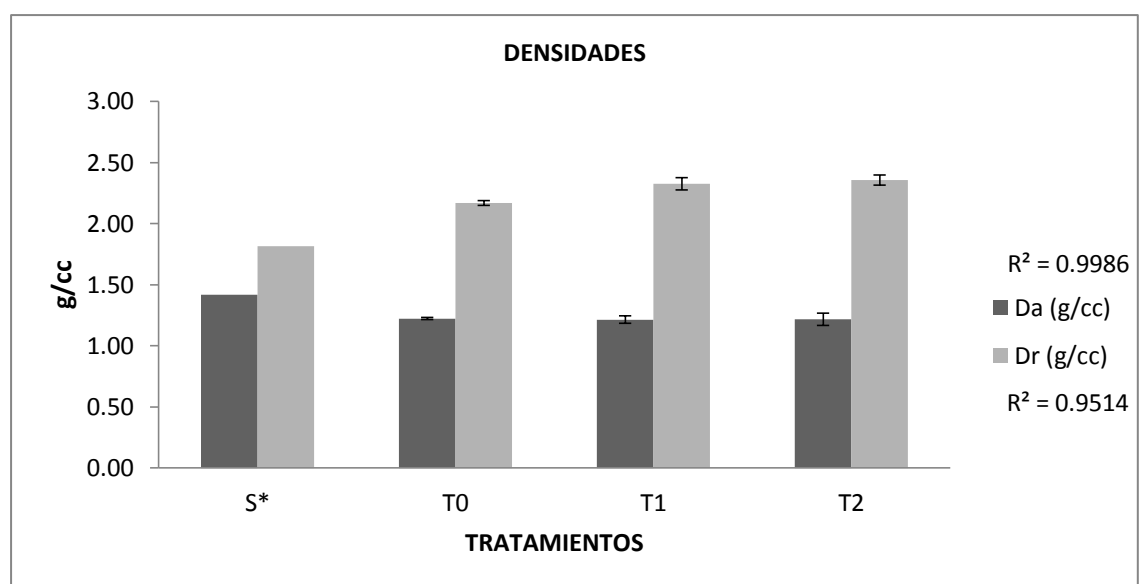
*Propiedades físicas de suelo cangahua bajo el efecto de los tratamientos*

Tratamientos	Da (g cc <sup>-1</sup> )	Dr (g cc <sup>-1</sup> )	Porosidad (%)	Humedad %
S*	1.42	1.81	21.88	23.37
T0	1.22±0.01	2.17±0.02	b 43.67±0.17	c 28.77±0.53
T1	1.21±0.03	2.33±0.05	a 49.48±0.34	a 29.12±1.03
T2	1.22±0.05	2.36±0.04	a 46.86±0.06	b 28.18±0.34

*Nota.* Separación de medias mediante LSD ( $p \leq 0,05$ ) y sus  $\pm$  error experimental de los valores de las propiedades físicas densidad, porosidad y contenido de humedad en parcelas de suelo cangahua (S) sin y cultivado con trébol, bajo el efecto de los tratamientos T S\*, Suelo cangahua , T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), trébol blanco + agua (d.i.), T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.), Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.

**Figura 16**

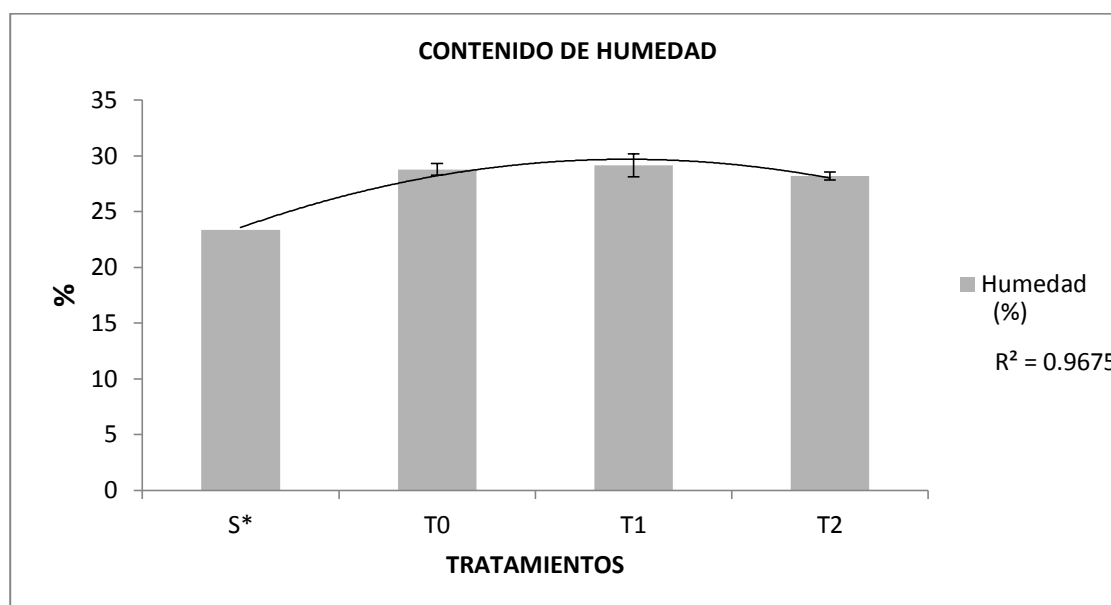
*Densidad aparente y real de las muestras de cangahua*



*Nota.* Densidad aparente y real, de las muestras de cangahua analizadas al término del ensayo, para cada uno de los tratamientos. S=muestra analizada al principio del ensayo,  $R^2$ , muestra cuando se ajusta la tendencia. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + Trichoderma spp.).

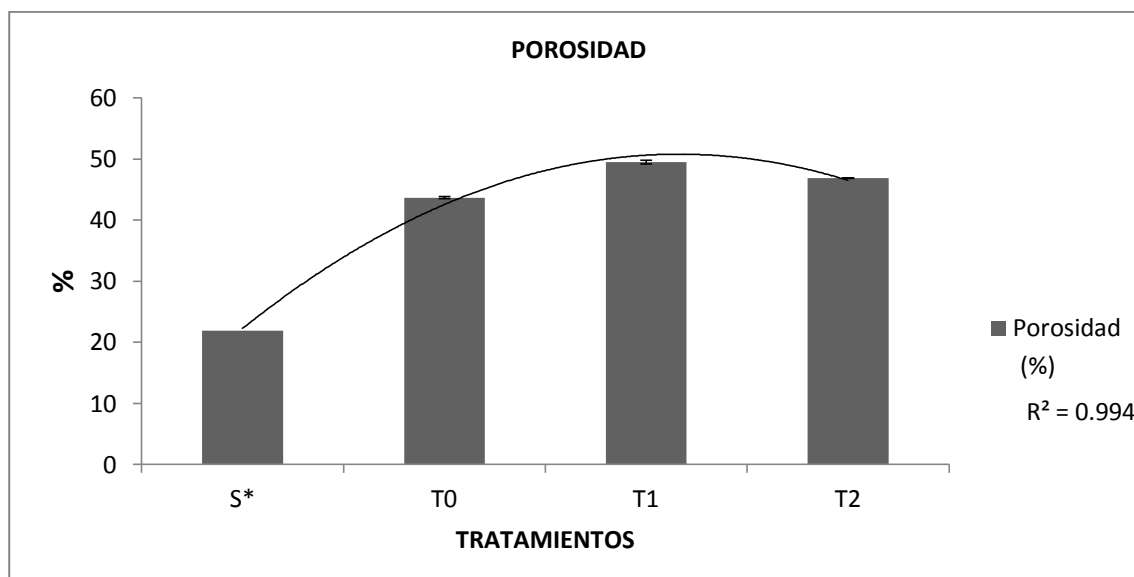
### Figura 17

*Porcentaje de humedad de las muestras de cangahua*



*Nota.* Porcentaje de humedad de las muestras de cangahua analizadas al término del ensayo, para cada uno de los tratamientos. S=muestra analizada al principio del ensayo,  $R^2$ , muestra cuando los datos se ajustan a la tendencia. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + Trichoderma spp.).

**Figura 18**  
 Porcentaje de porosidad de las muestras de cangahua



*Nota.* Porosidad de las muestras de cangahua analizadas al término del ensayo, para cada uno de los tratamientos.  $R^2$ , muestra cuanto los datos se ajustan a la tendencia. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.).

### Parámetros químicos, pH, CE, TDS

En cuanto a la conductividad eléctrica no existen diferencias significativas para los distintos tratamientos sin embargo  $T0=78.70 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)),  $T1= 74.05 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y  $T2= 76.43 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) son menores a la cangahua inicial con  $S=107.13 \mu\text{S cm}^{-1}$ .(Figura 19)

En cuanto a los sólidos totales disueltos (TDS) se encuentran relacionados con la conductividad eléctrica, donde  $T0=31\text{ppm}$  (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)),  $T1= 29.5\text{ppm}$  (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y  $T2= 30\text{ppm}$  (Suelo cangahua

trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) presentan una menor cantidad TDS, que en cangahua inicial S=43ppm (Figura 20).

En cuanto al potencial de hidrogeno (pH), existe una neutralización por la influencia de los tratamientos evaluados T0=7.55 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), T1= 6.87 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y T2= 7.33 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) mayores que el pH al inicio del ensayo S=6.17. (Figura 21)

**Tabla 3**

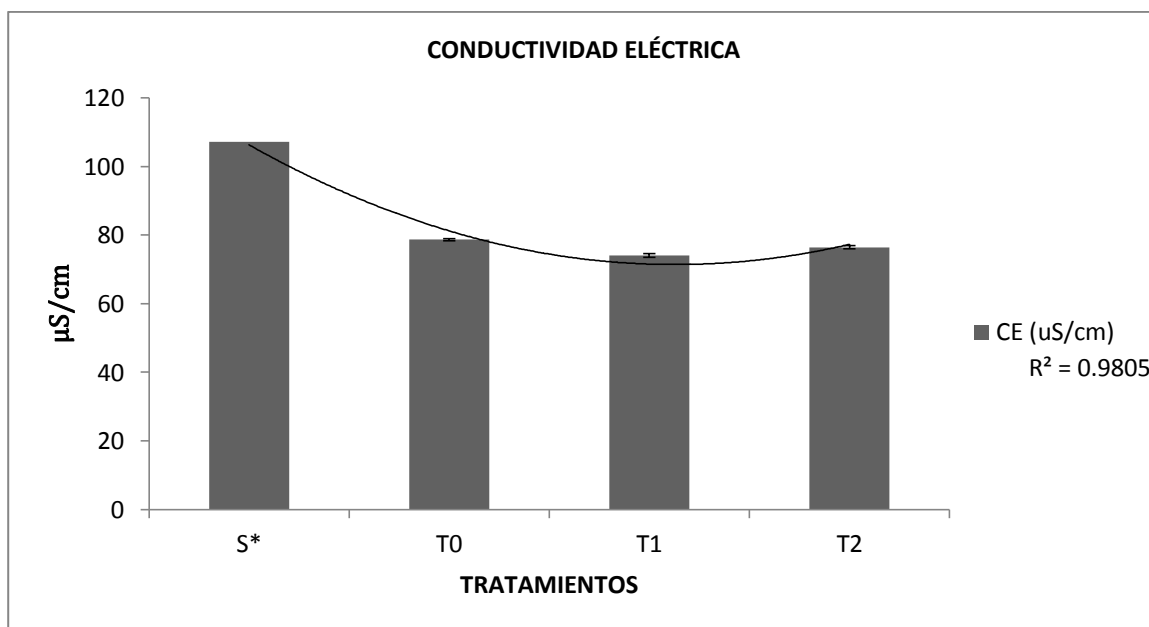
*Propiedades químicas del suelo cangahua bajo el efecto de los tratamientos*

Tratamientos	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )		TDS ppm	pH <sup>H<sub>2</sub>O</sup>	
S*	107.13		43.0	6.17	
T0	78.70 $\pm$ 0.30	a	31.0 $\pm$ 0.58	7.55 $\pm$ 0.12	a
T1	74.05 $\pm$ 0.55	c	29.5 $\pm$ 0.29	6.87 $\pm$ 0.09	b
T2	76.43 $\pm$ 0.44	b	30.0 $\pm$ 0.58	7.33 $\pm$ 0.04	a

*Nota.* Separación de medias mediante LSD ( $p \leq 0,05$ ) y sus  $\pm$  error experimental de los valores de las propiedades químicas conductividad eléctrica, solidos totales disueltos y potencial de hidrógeno en parcelas de suelo cangahua (S) sin y cultivado con trébol, bajo el efecto de los tratamientos T.S\*, Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.), T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.), Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.

**Figura 19**

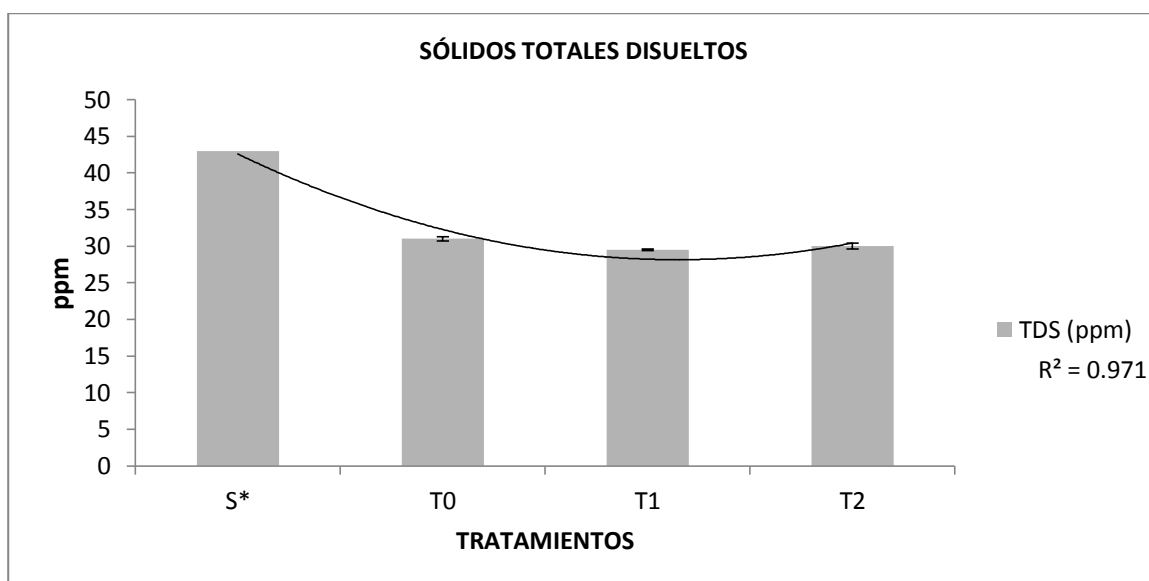
*Conductividad eléctrica de las muestras de cangahua*



*Nota.* Conductividad eléctrica de las muestras de cangahua analizadas al término del ensayo, para cada uno de los tratamientos.  $\mu\text{S}$ , micro Siemen,  $R^2$ , muestra cuanto los datos se ajustan a la tendencia. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma spp.*).

**Figura 20**

*Sólidos totales disueltos de las muestras de cangahua*

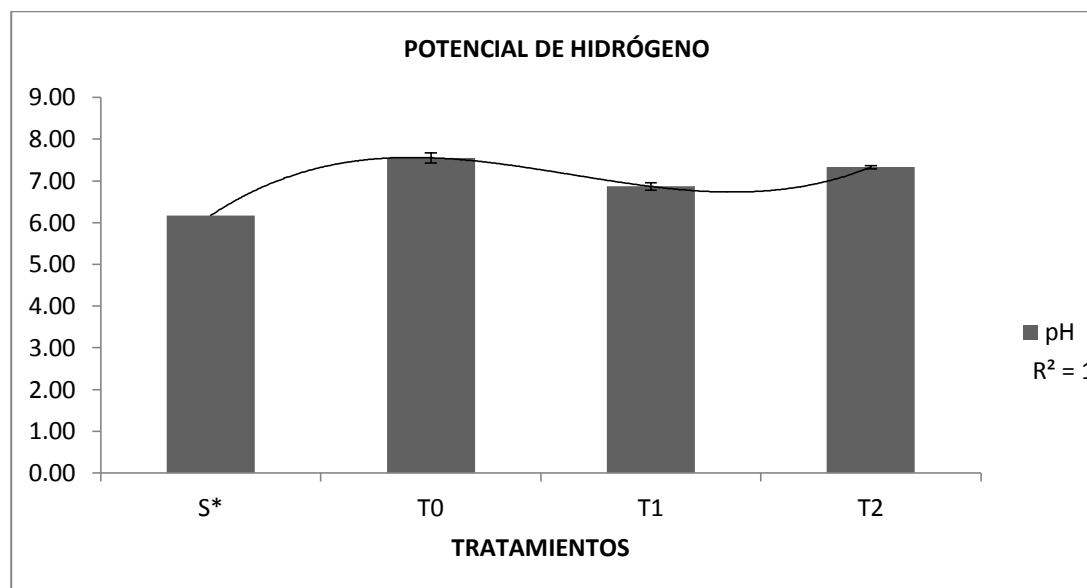




*Nota.* Solidos totales disueltos de las muestras de cangahua analizadas al término del ensayo, para cada uno de los tratamientos, ppm, partes por millón,  $R^2$ , muestra muestra cuanto se ajusta la tendencia. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + Trichoderma spp.).

### Figura 21

*pH de las muestras de cangahua*



*Nota.* pH de las muestras de cangahua analizadas al término del ensayo, para cada uno de los tratamientos.  $R^2$ , muestra cuando se ajusta a la tendencia. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + Trichoderma spp.).

### Composición física del suelo

#### Arena, Limo y Arcilla

En la Tabla 4, se reporta el contenido de arena, limo y arcilla analizada en las muestras de S, suelo cangahua.

**Tabla 4**

Contenido de arcilla, arena y limo del suelo cangahua de cada uno de los tratamientos.

Tratamiento	Arcilla	Arena	Limo
	%		
S	26	65	9
T0	26	66	8
T1	26	64	11
T2	25	65	9

Nota. S\*, Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.), T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.), Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.

#### Parámetros analizados en el trébol

Para los diferentes parámetros analizados en el trébol como indicador biológico, en cuanto al nitrógeno el tratamiento T2=2.42% (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) es ligeramente superior que el tratamiento T1=2.41% (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) seguido de T0=2.30% (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)) (Figura 23). Para el contenido porcentual de clorofila del tratamiento T1=19.42% (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) con microorganismos presenta un leve porcentaje mayor que T2=18.91% (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) y T0=18.40% (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)) (Figura 24).

En cuanto a la materia seca se encontraron diferencias significativas ( $F=20.45$ ,  $p=0.0021$ ) se puede observar que T1=52.57g (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) presenta mayor cantidad de materia seca que T2=39.55g (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) y T0=29.19g (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)) (Tabla 5 y Figura 24).

Para las áreas de cobertura foliar se compararon a los 35, 70, 105 y 140 días después de la siembra, donde no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos (Tabla 6 y Figura 25). Se realizó el cálculo del progreso del área de cobertura foliar en el tiempo, donde T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC), ligeramente fue superior a T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)) y T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.), (Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) (Tabla 6 y Figura 26)

**Tabla 5**

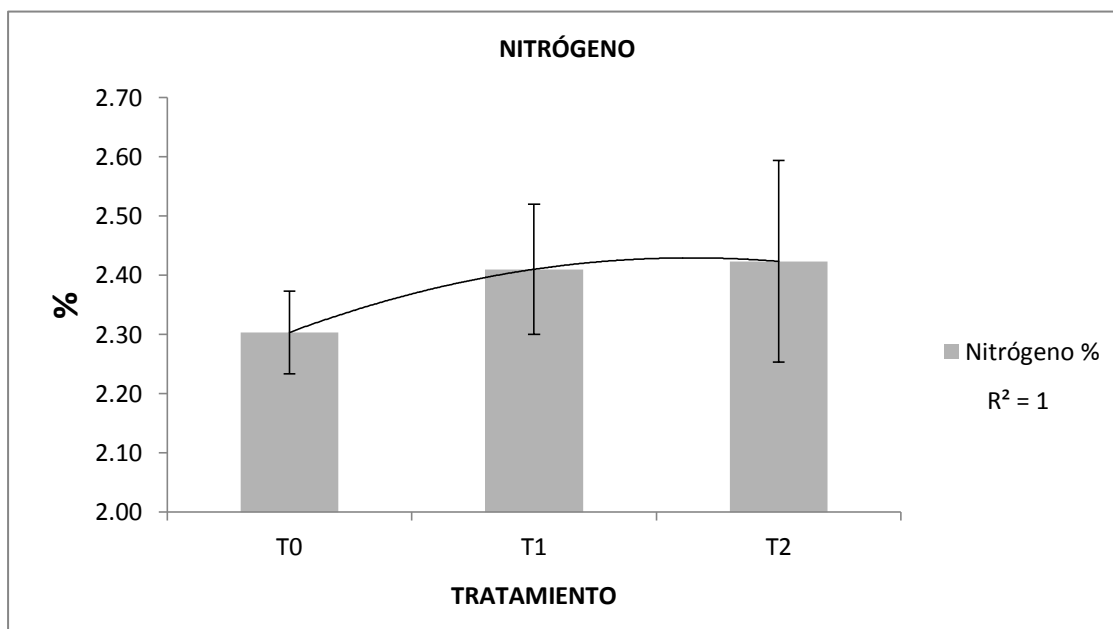
*Parámetros evaluados en el trébol bajo el efecto de los tratamientos*

<b>Tratamientos</b>	<b>Clorofila (%)</b>	<b>Nitrógeno (%)</b>	<b>Materia seca (g)</b>	
T0	19.64±1.16	2.30±0.07	29.19±1.72	b
T1	19.42±0.14	2.41±0.11	56.31±3.87	a
T2	18.91±0.36	2.42±0.17	36.52±3.31	b

*Nota.* Separación de medias mediante LSD ( $p \leq 0,05$ ) y sus  $\pm$  error experimental de los valores de los parámetros evaluados en el trébol, clorofila, nitrógeno y materia seca en parcelas de suelo cangahua (S) sin y cultivado con trébol, bajo el efecto de los tratamientos T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.). S\*, Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.), T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.), Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.

**Figura 22**

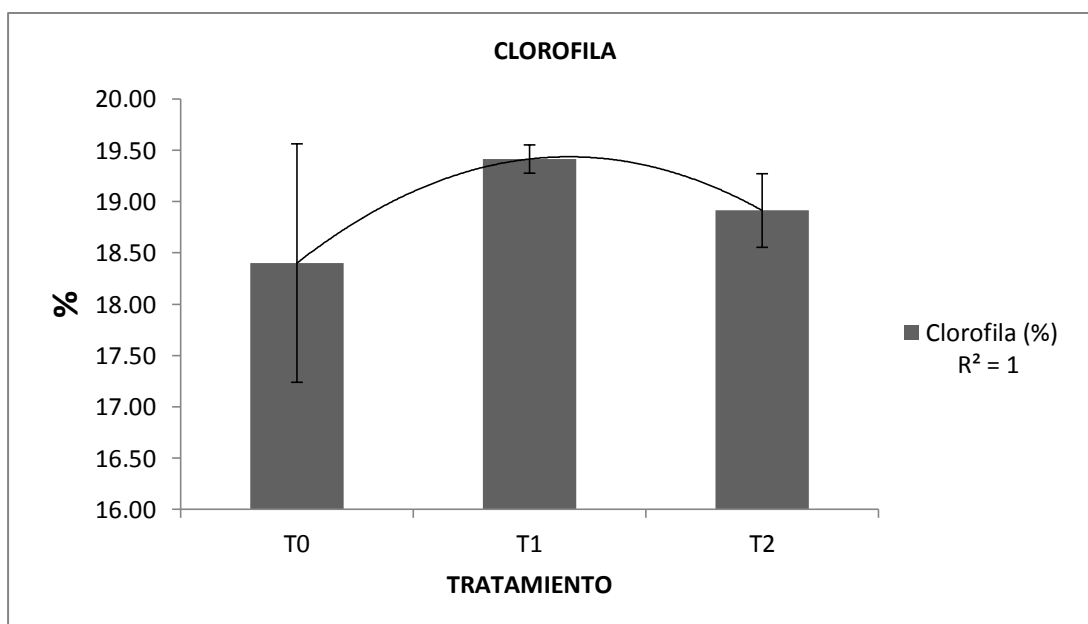
*Porcentaje de Nitrógeno de las muestras de trébol*



*Nota.* Porcentaje de Nitrógeno de las muestras de trébol analizadas al término del ensayo, para cada uno de los tratamientos,  $R^2$ , muestra cuanto los datos se ajustan a la tendencia. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycUp) + Trichoderma spp.).

**Figura 23**

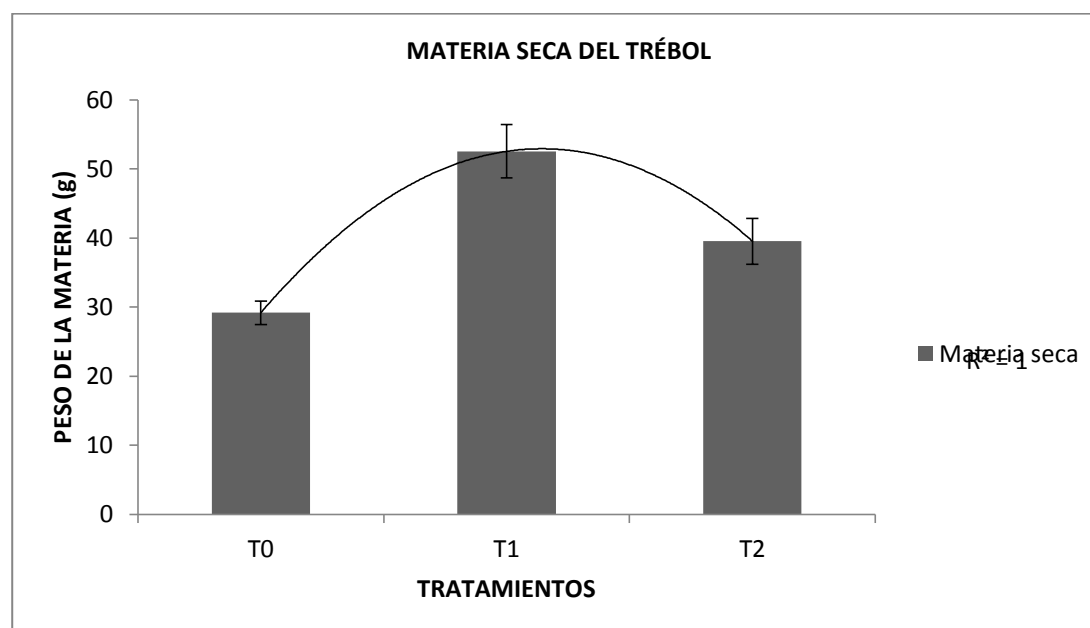
*Porcentaje de Clorofila de las muestras de trébol*



*Nota.* Porcentaje de Clorofila de las muestras de trébol analizadas al término del ensayo, para cada uno de los tratamientos,  $R^2$ , muestra cuanto los datos se ajustan a la tendencia. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma spp.*).

**Figura 24**

*Materia seca de las muestras de trébol*



*Nota.* Materia seca de las muestras de trébol analizadas al término del ensayo, para cada uno de los tratamientos,  $R^2$ , muestra cuanto los datos se ajustan a la tendencia. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma spp.*).

**Tabla 6**

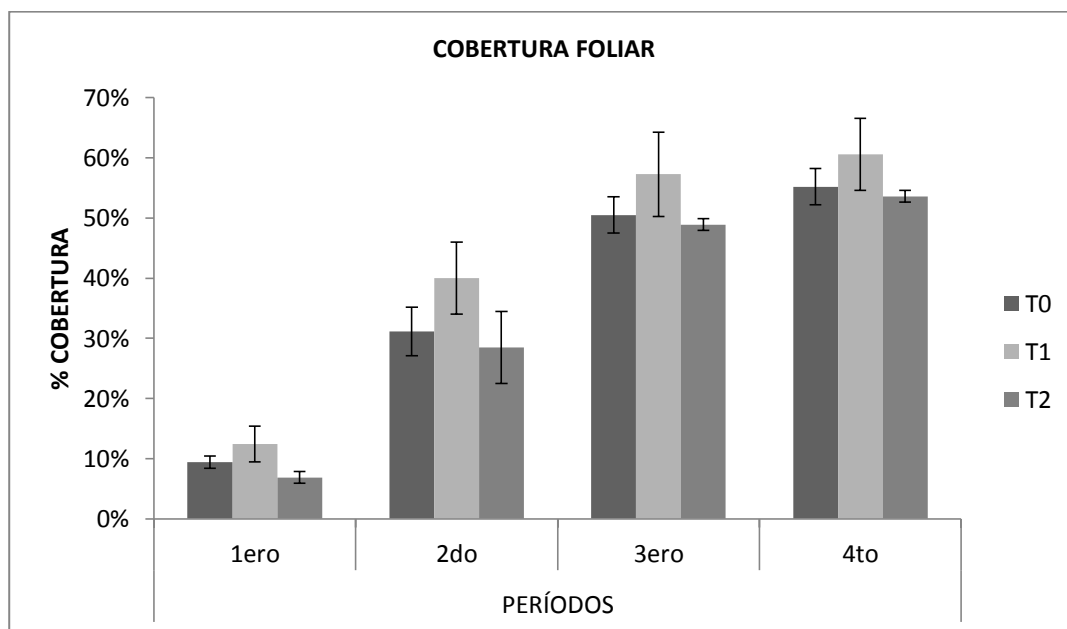
*Cobertura foliar del trébol sometidos bajo el efecto de cada tratamiento*

Tratamiento	1er mes	2do mes	3er mes	4to mes	PADCF*
T0	9.45%±0.01	31.14%±0.04	50.49%±0.02	55.19%±0.02	25.60±25.6
T1	12.44%±0.03	40.03%±0.06	57.25%±0.06	60.58%±0.06	29.80±3.99
T2	6.90%±0.06	28.50%±0.06	48.91%±0.01	53.61%±0.01	24.14±1.81

*Nota.* Separación de medias mediante LSD ( $p \leq 0,05$ ) y sus  $\pm$  error experimental de los valores de la cobertura foliar del trébol evaluado cada 35 días, en un suelo cangahua y sometidos a tratamientos de suelo cangahua (S) sin y cultivado con trébol, bajo el efecto de los tratamientos T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma spp.*). Cobertura foliar en porcentaje, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Trébol blanco; T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC), Trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma spp.*), Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma spp.*, PADCF\*, progreso del área de cobertura foliar.

**Figura 25**

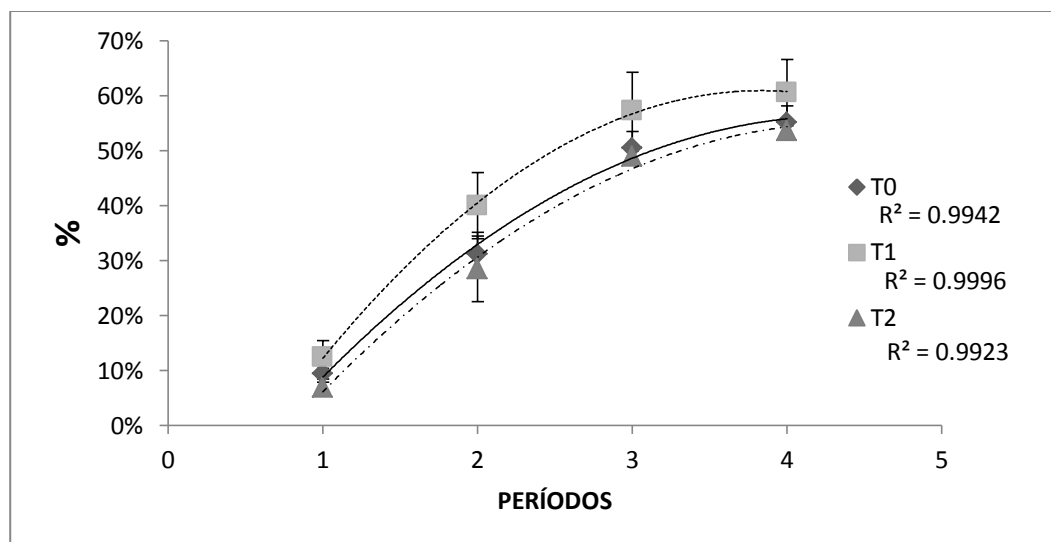
*Porcentaje de cobertura foliar del trébol bajo los tres tratamientos*



*Nota.* Porcentaje de cobertura foliar del trébol bajo los tres tratamientos evaluada cada período de 35 días del ciclo de cultivo, de cada uno de los tratamientos. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + Trichoderma spp.).

**Figura 26**

*Progreso del área de cobertura foliar del trébol*



*Nota.* Progreso del área de cobertura foliar del trébol bajo los tres tratamientos evaluada cada período de 35 días del ciclo de cultivo, de cada uno de los tratamientos. S\*, Suelo cangahua, T0 (Suelo cangahua trébol

blanco + agua (d.i.)), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC; T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.).

## **Discusión**

Uno de los parámetros físicos más importantes para ésta investigación es la densidad aparente, que presenta una disminución en los tratamientos con respecto al suelo cangahua (S), esto significa que existe una mayor cantidad de aire y agua al momento de realizar labores agrícolas manuales, principalmente roturación o ablandamiento de cangahuas, siembra de plantas, aplicación de riego, lo cual muestra un efecto benéfico en cuanto a la mejora de las propiedades del suelo. Sin embargo la aplicación de los tratamientos suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.) (T0), suelo cangahua trébol + fertilizante TMC (T1) y suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp (T2), no tuvieron diferencias entre ellos.

Blanco & Sepúlveda, 2009, afirman que la densidad aparente ( $\rho_a$ ), presenta una correlación significativa con la resistencia mecánica del suelo, lo que indica la influencia de los tratamientos en la importancia de la disminución en la compactación que podría mejorar la penetración de las raíces en la cangahua. Este efecto permite una mayor producción en la biomasa aérea y radicular (Venazi et al., 2015). Otro factor que puede incidir en la disminución de las densidades aparentes está relacionada con la aparición de los agregados en el suelo (Sáez, 2012).

Al contrario la densidad real incrementa en los tratamientos con respecto al suelo cangahua (S); y de forma significativa en T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) al comparar con T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)).

Si bien la diferencia de la densidad aparente entre los tratamientos como se mencionó anteriormente no es significativa, la variación con la densidad real, nos permite encontrar la porosidad; el aumento de este parámetro explica que evidentemente existe un cambio positivo en el suelo, ya que el hecho de incrementar la porosidad permite que el suelo pueda contener tanto aire como agua fundamentales para la vida vegetal como para la fertilidad. Por otro lado el tratamiento T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) presenta un porcentaje significativamente mayor de poros que T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) y este a su vez a T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)). Este resultado puede explicarse debido a que en T1 se aplicaron nutrientes y mejoradores de suelo como Soil Max, que favorece a la floculación de suelos compactos (HUMAGRO, 2018); este proceso físico-químico permite que los coloides en suspensión se depositen, permitiendo con el tiempo la formación de microagregados, base de la estructura del suelo (Thompson & Ukrainczk, 2002) (p. 250). En cuanto a la aplicación de T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) el incremento significativo de la porosidad con respecto a T0 (suelo cangahua + trébol + agua (d.i.)) se ve favorecida por el efecto de las micorrizas que principalmente producen compuestos húmicos y generan polisacáridos que permiten estabilizar la estructura del suelo, unir granos y homogenizar sus partículas finas y crear porosidad (Guadarrama, Sánchez, Álvarez, & Ramos, 2004); en cuanto al *Trichoderma*, favorece la producción del ácido indol acético (AIA), que tiene un efecto en el crecimiento de la raíz de la planta, capaz de romper la estructura y generar porosidad (Brotman et al., 2010). La porosidad total es directamente proporcional a la actividad biológica así como las raíces y fauna edáfica (Jürgen et al., 2007).



Para la humedad se presentaron diferencias entre la humedad del suelo cangahua (S) y la aplicación de los tratamientos (Figura 16), sin embargo no se presentaron diferencias estadísticas entre sí; el T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) fue ligeramente superior a T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) y T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)). El contenido de humedad del suelo es muy importante para la planta y mantiene una estrecha relación con la densidad aparente y la porosidad (Marulanda, 2016).

En la conductividad eléctrica al igual que los sólidos totales disueltos (TDS), existe una diferencia entre el suelo cangahua (S) respecto a los tratamientos, debido a que no existe una planta que participe en la absorción de nutrientes en forma de sales disueltas. La conductividad eléctrica fluctuó entre  $74.05 \mu\text{S cm}^{-1}$  (T1) a  $107.13 \mu\text{S cm}^{-1}$  (S) (Tabla 3), una menor conductividad eléctrica permite que la cangahua se encuentre en posibilidad de absorber mayor cantidad de nutrientes. Para considerar un suelo productivo ésta debe ser menor a  $500 \mu\text{S cm}^{-1}$  (Garrido, 1993); tal como se determinó, el suelo mantiene bajo los parámetros normales aptos para ser cultivado.

Cabe señalar que la conductividad eléctrica inicial del suelo cangahua (S) fue mayor que la de los tratamientos evaluados, mientras que T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC), presentó el menor valor de este parámetro. Debido a que la tecnología microcarbono ofrece materia orgánica que actúa con los iones metálicos liberando las sales disueltas y mejorando la disponibilidad de nutrientes para las plantas (HUMAGRO, 2018). En este mismo sentido T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) también tuvo la capacidad de liberar sales del suelo, ya que éste tratamiento al contener micorrizas y *Trichoderma* estimula el desarrollo radicular

mejorando la absorción de nutrientes, disminuyendo la conductividad eléctrica, por otro lado T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)), demuestra que el colocar cobertura vegetal en este caso el trébol blanco, disminuye considerablemente la CE con respecto al suelo cangahua (S), sin embargo no a los niveles de T1 y T2.

El pH presentó una neutralización al aplicar los tratamientos con respecto al suelo cangahua (S) lo cual indica que se produce una mayor disponibilidad de nutrientes para la planta como el Nitrogeno, Fosforo, Potasio, Azufre y Calcio (Castellanos, 2014). El pH ideal para el trébol se encuentra entre 5.5 y 7.5, mientras que para un suelo químicamente fértil debe estar entre 6 y 7 (Noriega, 2011) y un pH mayor 5.5 permite que el aluminio se precipite lo cual reduce la toxicidad en las raíces (Molina, 2011).

Entre los tratamientos, T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) presentó un pH más ácido seguido de T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) y T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)) con pHs más alcalinos

Una vez comparado los valores en el triángulo de texturas se puede apreciar que tanto la cangahua evaluada al inicio del ensayo (S) como después de haber aplicado los tratamientos muestran un suelo tipo franco arcilloso arenoso. La cantidad de arcilla es esencial para que un suelo sea fértil, ya que brindan iones negativos capaces de atraer nutrientes y la arena facilita una mayor aireación (Sánchez, 2020).

Los resultados en nitrógeno muestran que a pesar de la adición de los nutrientes en T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) como el ZAP (8%N), SOIL (5%N) MAX y X-TEND (5%N), y como la incorporación de microorganismos en T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.), estos tratamientos no

llegaron a diferenciarse de T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)) ni a los niveles óptimos de nitrógeno del tres por ciento en hojas (Análisis Foliare, Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V., 2011); esto puede deberse a que las plantas se encuentran en condiciones de estrés por el suelo cangahua que está en formación y posiblemente la cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno sea muy baja para la fijación de nitrógeno atmosférico. Esto se demuestra que el contenido porcentual de clorofila de T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) y T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) no se diferenciaron estadísticamente.

En cuanto a la materia seca, T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) presentó un mayor contenido que T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) y T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)) debido a la adición de nutrientes como el nitrógeno a través de los productos ZAP (8%N), SOIL (5%N) MAX y X-TEND (5%N), fósforo (Phos max 50%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), potasio (Super K 40% K<sub>2</sub>O), magnesio y azufre (44MAG 5%Mg + 5.5%S), Boro (Boron 5%B) y otros micronutrientes (Tabla 1), que contribuyen al crecimiento y desarrollo de las plantas. En cuanto a la cobertura foliar no se presentaron diferencias significativas sin embargo el T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) alcanzó una cobertura foliar del 60.58% y un progreso del área de cobertura foliar (PADCF) de 29.80, ligeramente superior al T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) y T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)).

## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

Al evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos *Trichoderma* y micorrizas en suelos cangahua, se presentaron cambios positivos en las propiedades físicas y químicas del suelo. Se encontraron diferencias significativas para las propiedades físicas: densidad real y porosidad, químicas como conductividad eléctrica y pH y para el contenido de materia seca del trébol.

Al comparar los tratamientos T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC), T2 (Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp) + *Trichoderma* spp.) y T0 (Suelo cangahua trébol blanco + agua (d.i.)) se puede observar que el tratamiento con fertilizantes TMC presentó mayor porosidad (49.86%), humedad (29.12%), menor densidad aparente ( $1.21 \text{ g cc}^{-1}$ ), densidad real ( $2.33 \text{ g cc}^{-1}$ ), conductividad eléctrica ( $74.05 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), TDS ( $29.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) y pH (6.87) que el suelo cangahua con trébol más microorganismos y el suelo solo con trébol (Tabla 2 y 3).

En cuanto a los parámetros de trébol blanco (*Trifolium repens* var. Ladino gigante) variedad analizado, el tratamiento con fertilizantes TMC mostró al final de ensayo mayor materia seca (56.31%) y área de cobertura foliar (60.58%) y menor contenido de nitrógeno (2.41%), que el tratamiento con microorganismos.

Se puede observar que existe un gran cambio en todos los parámetros analizados con respecto a la cangahua evaluada al inicio del ensayo, lo cual indica que la aplicación de fertilizantes y microorganismos produjeron una mejora del suelo estudiado, de tal forma que existe una relación entre las propiedades analizadas, con una mayor diferencia

entre la densidad aparente y la real indica que hay mayor espacio entre las partículas del suelo tanto para el aire como el agua, lo cual influye directamente en la porosidad y la humedad, estos parámetros permiten un suelo más productivo por lo que se puede ver el efecto en el trébol tanto en su materia seca como el área de cobertura foliar mejorando la densidad aparente junto con la porosidad y humedad.

### **Recomendaciones**

Aplicar T1 (Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC), Suelo cangahua trébol + fertilizante TMC) para agricultores con mayores posibilidades de inversión en el suelo.

Aplicar T2(Suelo cangahua Trébol + Micorrizas (MycoUp ) + *Trichoderma* spp.) para agricultores de bajos recursos económicos, realizando sistemas de multiplicación artesanal de micorrizas y *Trichodermas*

Continuar con el ensayo en un segundo ciclo de cultivo, ya que se muestran resultados que podrían ser estudiados más a profundidad.

Colocar más microorganismos benéficos distintos a los que se evaluaron en el presente ensayo.

Realizar ensayos con distintos cultivos para comprobar la efectividad del tratamiento mostrado.

## Bibliografía

- Andrade, J. (2010). Colonización micorrizica en plantas de aguacate (*Persea americana* L.). *Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales*.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a07.pdf>
- Asmelash, F., Bekele, T., & Birhane, E. (2016). The Potential Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Restoration of Degraded Lands. *Front.Microbiol.*  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4960231/#:~:text=Therefore%2C%20the%20successful%20restoration%20of,of%20few%20or%20single%20speci%20es.>
- Barra, E. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*.  
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/572/541>
- Blanco, R., & Sepúlveda. (2009). RELATIONSHIP BETWEEN BULK DENSITY AND MECHANICAL RESISTANCE AS AN INDICATOR OF SOIL COMPACTION. *Departamento de Geografía. Universidad de Málaga*, 43(3), 231-239.  
[https://www.researchgate.net/publication/286377809\\_Relationship\\_between\\_bulk\\_density\\_and\\_mechanical\\_resistance\\_as\\_an\\_indicator\\_of\\_soil\\_compaction](https://www.researchgate.net/publication/286377809_Relationship_between_bulk_density_and_mechanical_resistance_as_an_indicator_of_soil_compaction)
- Blancof, F., & Salas, E. (1997). MICORRIZAS EN LA AGRICULTURA: CONTEXTO MUNDIAL E INVESTIGACION REALIZADA EN COSTA RICA. *Agronomía Costarricense*, 21(1), 55-67. [https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v21n01\\_055.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n01_055.pdf)

- Bouazza, K., Ighilhariz, Z., Lajudie, P. d., Duponnois, R., & Bekki, A. (2015). Assessing The Native Arbuscular Mycorrhizal Symbioses To Rehabilitate A Degraded Coastal Sand Dune In Algeria. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(2), 194-202.  
[https://www.researchgate.net/publication/331968349\\_Assessing\\_The\\_Native\\_Arbuscular\\_Mycorrhizal\\_Symbioses\\_To\\_Rehabilitate\\_A\\_Degraded\\_Coastal\\_Sand\\_Dune\\_In\\_Algeria](https://www.researchgate.net/publication/331968349_Assessing_The_Native_Arbuscular_Mycorrhizal_Symbioses_To_Rehabilitate_A_Degraded_Coastal_Sand_Dune_In_Algeria)
- Brotman, Y., Kapuganti, G., & Viterbo, A. (2010). *Trichoderma*. *Pub Med*, 20(9), 390.  
doi: 10.1016/j.cub.2010.02.042
- Brown, D., Aragón, J., & Guerrero, V. (2017). Recuperación de suelo de cangahua para el cultivo de tomate. *Diario Ficaya Emprende*.  
<http://www.utn.edu.ec/ficayaemprende/?p=1065&print=pdf>
- Buckman, H. O., & Brady, N. C. (Ed. Montaner y Simón) (1991). Naturaleza y propiedades de los suelos: Texto de edafología para enseñanza. (pp. 15). Editorial Uteha.
- Camargo-Ricalde, S. L., Montañó, N. M., Rosa-Mera, C. J., & Arias, S. A. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, 13(7).  
<http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf>.
- Cano, M. (2011). A REVIEW OF INTERACTION OF BENEFICIAL MICROORGANISMS IN PLANTS: Mycorrhizae, *Trichoderma* spp. and *Pseudomonas* spp. *SCIELO*. 14(2), 15-31.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262011000200003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262011000200003).

Anónimo. (22 de agosto de 2011). El impuesto a la tierra se pagará según la zona. págs. *Diario la hora*. <https://lahora.com.ec/noticia/1101192475/el-impuesto-a-la-tierra-se-pagar-segn-la-zona->

Dias, L., Avilio, F., Campello, E., De Faria, S., & Da Silva, E. (1995). Leguminosas forestales: aspectos relacionados con su nutrición y uso en la recuperación de suelos degradados. *Bosque*. 16(1), 121-127.  
<https://doi.org/10.4206/bosque.1995.v16n1-15>

Alarcón, I. (24 de Junio de 2018). La mitad de las tierras en Ecuador muestran signos de degradación. *El Comercio*.  
<https://www.elcomercio.com/tendencias/degradacion-suelo-planetaeideas-ecuador-desertificacion.html>

Estrada, J. (2002). *Pastos y Forrajes para el trópico colombiano*. Editorial Universidad de Caldas.

Figueroa, D. (2 de febrero de 2004). *Estrategias para la recuperación de suelos degradados*. Interempresas. Horticultura.  
<https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/73362-Estrategias-para-la-recuperacion-de-suelos-degradados.html>

Forbes, G.; Pérez, W.; Andrade Piedra, J. (2014). Procedimiento para Evaluación Estándar y Manejo de Datos de Clones Avanzados de Papa. Guía para



Colaboradores Internacionales. Editorial Centro Internacional de la Papa (CIP).  
<https://issuu.com/internationalpotatocenter/docs/005391>

Garrido, S. (1993). *Interpretación de Análisis de Suelos*. Editorial Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

[https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_05.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf)

Gilchrist, E., Jaramillo, S., & Reynaldi, S. (2009). Efecto sobre la sarna polvosa de cuatro aislamientos del hongo *Trichoderma asperellum* en tres tipos de suelo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 62(1), 4783-4792.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a05v62n1.pdf>

Guadarrama, P., Sánchez, I., Álvarez, J., & Ramos, J. (2004). Hongos plantas, beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares. *CIENCIAS*. (73), 38-45.  
[https://www.researchgate.net/publication/26618283\\_Hongos\\_plantas\\_beneficios\\_a\\_diferentes\\_escalas\\_en\\_micorrizas\\_arbusculares](https://www.researchgate.net/publication/26618283_Hongos_plantas_beneficios_a_diferentes_escalas_en_micorrizas_arbusculares)

HUMAGRO. (2018). *Tecnología Micro Carbon*. Autoedición.

Jiménez, W., Loayza, V., Metzler, & Eric. (2018). Mapeo de cangahuas mediante teledetección en el Ecuador. *ResearchGate*. 5(1).  
<https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1426>

Joshi, S., Saikia, P., & Kojam, K. (2009). Characterization of Microbial Indicators to Assess the Health of Degraded soil in Cherrapunjee, India Highest Rainfall Area

of the World. *International Journal of Biotechnology and Biochemistry*. 5(4), 379-391.

[https://www.researchgate.net/publication/235634787\\_Characterization\\_of\\_Microbial\\_Indicators\\_to\\_Assess\\_the\\_Health\\_of\\_Degraded\\_soil\\_in\\_Cherrapunjee\\_India\\_-\\_Highest\\_Rainfall\\_Area\\_of\\_the\\_World](https://www.researchgate.net/publication/235634787_Characterization_of_Microbial_Indicators_to_Assess_the_Health_of_Degraded_soil_in_Cherrapunjee_India_-_Highest_Rainfall_Area_of_the_World)

Juarez, M. (2013). *Micorrizas en soja: beneficios y manejo de suelos para su conservación*. Editorial INTA.

[https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_mj\\_23faggiol2012micorrizas-y-soja.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mj_23faggiol2012micorrizas-y-soja.pdf)

Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *SCIELO*. 24(1), 49-61. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>

Jürgen, R., Galantini, A., Iglesias, J., & Kruger, H. (2007). Efectos de corto plazo sobre el espacio poroso en sistemas mixtos. *La siembra directa en los sistemas productivos del S y SO Bonaerense*. 20-23 doi: 10.13140/RG.2.2.18725.91364.

MAE. (2004). *Programa de Acción Nacional de la lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía*. Autoedición.

Ministeria de Agricultura y Ganaderia, MAG. (2017). *Mapa de cangahuas superficiales del Ecuador escala 1:25 000*. Autoedición. <https://fliphtml5.com/wtae/mctg/basic>

Marulanda, J. (2016). *Variación de la densidad aparente y la concentración de carbono en el suelo a lo largo de un gradiente de niveles de agua en una humedad de alta montaña*.

[http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2007/1/Variacion\\_densidad\\_aparente\\_carbono\\_suelo\\_humedal.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2007/1/Variacion_densidad_aparente_carbono_suelo_humedal.pdf)

Molina, E. (2011). *Análisis de Suelos y su Interpretación*. AMINO GROW INTERNACIONAL.

<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>

Noni, G., & Trujillo, G. (1984). *La erosión actual y potencial en Ecuador: Localización, manifestaciones y causas*.

[https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers08-01/23659.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-01/23659.pdf)

Noriega, V. (2011). *Cadena Productiva de Papa, Manejo y fertilidad de Suelos*. Editorial Ministerio de Agricultura Perú. <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>

Olmos, F. (2005). *Factores que afectan la persistencia y y productividad de pasturas mejoradas con Trébol blanco (Trifolium repens L)*. Editorial Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/11309021107123418.pdf>

Oyarzum, P., Borja, R., & Sherwood, S. (2015). La trágica ironía en el manejo de suelos en la sierra andina de Ecuador. *LEISA Revista Agroecológica*. 31(1).

<http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-31-numero-1/1094-la-tragica-ironia-en-el-manejo-de-suelos-en-la-sierra-andina-de-ecuador>

Randazzo, C., Rosso, B., & Pagano, E. (2013). Identification of white clover cultivars (*Trifolium repens* L.) using SSR. *Journal of Basic and Applied Genetics*. 24(1), 19-26.

[https://www.researchgate.net/publication/287311290\\_Identification\\_of\\_white\\_clover\\_cultivars\\_Trifolium\\_repens\\_L\\_using\\_SSR](https://www.researchgate.net/publication/287311290_Identification_of_white_clover_cultivars_Trifolium_repens_L_using_SSR)

Rozo, E. & Munévar, F. (1979). Respuesta del trébol blanco inoculado con *Rhizobium*, a la fertilización del boro en la Sabana de Bogotá. *AGROSAVIA*. 14(3), 141-154.

[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/625/77539\\_1962.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/625/77539_1962.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Sáez, C. (2012). *Efecto de la densidad aparente sobre la capacidad de contracción de agregados de distintos tamaños en Andisol*.

Sánchez, J. (2020). *Fertilidad del Suelo y Nutrición Mineral de Plantas. Conceptos Básicos*. FERTITEC.

<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>

Sarkar, U., Krishan, B., & Kumar, B. (2014). Vesicular Arbuscular Mycorrhizal (VAM) Spore Diversity and Density Across the Soil of Degraded Forest and Rubber Plantation in Tripura, India. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 14(10), 1080-1088.

doi: 10.5829/idosi.aejaes.2014.14.10.12432

Scott, R. S. (1997). The phosphate nutrition of white clover. *Invermay Agricultural Research Centre, MAF, Mosgiat*.

[https://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland\\_publication\\_1425.pdf](https://www.grassland.org.nz/publications/nzgrassland_publication_1425.pdf)

Thompson, ML. (2002). Comportamiento coloidal del suelo y reacciones de superficie en J. Porta, M. Lopez-Acevedo, R. M. Poch (Ed.), *Uso y protección de suelo* (p. 250). Editorial Mundiprensa.

Venanzi, S., & Kruger, H. (2002). *Crecimiento del cultivo de avena en función de la densidad aparente del suelo*.

[https://www.researchgate.net/publication/276100488\\_Crecimiento\\_de\\_avena\\_en\\_funcion\\_de\\_la\\_densidad\\_aparente\\_del\\_suelo](https://www.researchgate.net/publication/276100488_Crecimiento_de_avena_en_funcion_de_la_densidad_aparente_del_suelo)

Venazi, S., Vallati, A., & Kruger, H. (2015). *Crecimiento Temprano Del Trigo En Función De La Densidad Aparente del Suelo*. INTA.

[https://www.researchgate.net/publication/276099258\\_Crecimiento\\_temprano\\_del\\_trigo\\_en\\_funcion\\_de\\_la\\_densidad\\_aparente\\_del\\_suelo](https://www.researchgate.net/publication/276099258_Crecimiento_temprano_del_trigo_en_funcion_de_la_densidad_aparente_del_suelo)

Woodfield, D. R., & Caradus, J. R. (1996). Factors affecting white clover persistence in New Zealand pastures. *AgResearch Grasslands*. 58, 229-235.  
<https://doi.org/10.33584/jnzg.1996.58.2196>

Zebrowsky, C. (1996). *El cultivo de la cangahua en el medio campesino tradicional en el Ecuador*. Universidad Central del Ecuador.

Zohary, M., & Heller, D. (1984). *The genus Trifolium*. Editorial The Israel Academy of Sciences and Humanities.