



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**

**NATURALES**

**CARRERA DE AGONOMÍA**

## **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON  
DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS  
SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 4”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniera Agrónoma

**Autora:**  
Jima Lanchimba Carolina Jeaneth

**Tutor:**  
Chasi Vizuete Wilman Paolo

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Marzo 2026**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Jima Lanchimba Carolina Jeaneth, con cédula de ciudadanía No. 1755100151, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 4”**, siendo el Ingeniero Mg. Wilman Paolo Chasi Vizuete, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Carolina Jeaneth Jima Lanchimba  
C.C: 1755100151  
**ESTUDIANTE**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **JIMA LANCHIMBA CAROLINA JEANETH**, identificada con cédula de ciudadanía **1755100151** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 4”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Ing. Wilman Paolo Chasi Vizueté, Mg.

Tema: **“EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 4”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 23 días del mes de febrero del 2026.

Carolina Jeaneth Jima Lanchimba  
**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 4”**, de Jima Lanchimba Carolina Jeaneth, de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Ing. Wilman Paolo Chasi Vizúete , Mg.  
C.C: 0502409725  
**DOCENTE TUTOR**

## **AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Jima Lanchimba Carolina Jeaneth , con el título del Proyecto de Investigación: “**EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 4**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 23 de febrero del 2026

Ing. Troya Sarzosa Jorge Fabian, PhD.

C.C: 050164556-8

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

Ing. Carlos Javier Torres Miño, PhD.

C.C: 050232923-8

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

Ing. Ilbay Yupa Mercy Lucila, PhD.

CC: 060414790-0

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Esta investigación quiero agradecer en primer lugar a Dios por permitirme realizar mis sueños y metas que algún día anhele cumplir. A mi familia por brindarme su apoyo incondicional en el trayecto de mi formación tanto personal como profesional, por creer en mí y por la confianza depositada en cada una de mis decisiones, siendo mi principal fuente de motivación en situaciones prósperas y complejas.*

*A mis amigas Heidy, Daniela, Estefania, Mercy, Katererine y a mi amigo Brayan por acompañarme en cada etapa académica, por su comprensión y amistad sincera, especialmente durante el tiempo que estuve lejos de casa.*

*A mi tutor Ing. Paolo le agradezco infinitamente por su guía académica y orientación elemental para llevar a cabo este proceso, por la paciencia y apoyo constante. Al Ing. Paul Jiménez por brindarme sus conocimientos y disposición que contribuyeron de manera relevante la culminación de esta investigación. A los docentes que conforman la carrera de Agronomía, por impartir sus conocimientos y enseñanzas a lo largo de mi formación académica.*

*A mis compañeros de trabajo (HG) que se convirtieron en grandes amigos, por el respeto, por su amabilidad, por su disposición para ayudarme, por sus consejos oportunos y palabras de motivación cuando fue necesario durante esta etapa de formación académica.*

*Por último, agradecer a la familia Callitasig Laica por la acogida brindada durante el tiempo de mi estancia y apoyo.*

**Carolina Jeaneth Jima Lanchimba**

## **DEDICATORIA**

*A mi madre María Lanchimba, que ha sido la persona más importante de este proceso, por ser mi mayor inspiración y el motor que impulsó cada uno de mis esfuerzos. A mi hermana Liseth Jima, por su compañía, comprensión y apoyo en cada etapa de mi formación. Su presencia y motivación han sido un aliento permanente pese a la distancia. A mi mamita Cristina y a mi papito Antonio, por su cariño, sabiduría y valores inculcados, los cuales han guiado mi crecimiento personal y académico. A mi querida amiga Heidy Nayeli, por su amistad sincera, su apoyo constante y por acompañarme en cada etapa de este proceso. Su presencia y compañía fueron un impulso importante para alcanzar esta meta. Finalmente, a mi familia materna, por su amor, respaldo permanente y confianza depositada en mí. Este logro también les pertenece, pues es reflejo del apoyo, la unión y los valores que siempre me han brindado.*

*A ellos, por su amor, respaldo permanente y por creer siempre en mis capacidades.*

**Carolina Jeaneth Jima Lanchimba**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TÍTULO: “EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 4”.**

**Autora:**

Jima Lanchimba Carolina Jeaneth

### RESUMEN

Las diferentes técnicas de conservación del suelo en la agricultura altoandina han sido implementadas en muchos sectores, y en la mayoría no se ha realizado un análisis del verdadero efecto de estas, en los recursos de la producción. La presente investigación se desarrolló en el Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi en la terraza de banco N.º 4; y tuvo como objeto evaluar los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con diferentes manejos. Para lo cual se estableció dos tratamientos uno con manejo conservacionista y el otro sin intervención donde se recolectó 21 muestras compuestas de la capa superficial del suelo (0–20 cm), por ser el estrato de mayor dinámica edáfica, actividad microbiana y acumulación de materia orgánica. Las muestras fueron procesadas mediante metodologías estandarizadas para determinar textura, densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica, contenido de nutrientes y biomasa microbiana. De los resultados obtenidos se muestra que la textura del suelo no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, confirmando su estabilidad como propiedad inherente. Sin embargo, el suelo bajo manejo conservacionista evidenció tendencias positivas en variables estructurales y funcionales, como ligera disminución de la densidad aparente, mayor porosidad, mejor infiltración y mayor retención de partículas finas. Asimismo, se observaron condiciones químicas más equilibradas y un incremento leve en materia orgánica, factores que favorecen la actividad biológica y la estabilidad estructural del suelo. Las prácticas de conservación implementadas en la terraza de banco N°4 del Campus Salache del total de muestras el 50% evidencian que han generado mejoras significativas en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La determinación de cambios, basada en análisis comparativos, permite concluir que las prácticas de conservación influyen progresivamente en la calidad edáfica, fertilidad y sostenibilidad productiva en sistemas agrícolas de montaña.

**Palabras clave:** conservación de suelos, terrazas de banco, erosión hídrica, materia orgánica, sostenibilidad del suelo.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**THEME: “Evaluation of Changes in the Physical, Chemical, and Biological Properties of Soil under Different Conservation Management Practices at the Salache Campus, Bench Terrace No 4”**

**Authora:**  
Jima Lanchimba Carolina Jeaneth

**ABSTRACT**

Different soil conservation techniques in high Andean agriculture have been implemented in many areas; however, in most cases, a thorough analysis of their actual effects on production resources has not been conducted. The present research was carried out at the Salache Campus of the Technical University of Cotopaxi, on Bench Terrace No. 4, with the objective of evaluating changes in the physical, chemical, and biological properties of the soil under different management practices. Two treatments were established: one under conservation management and the other without intervention. Twenty-one composite samples were collected from the topsoil layer (0–20 cm), as this stratum exhibits the highest edaphic dynamics, microbial activity, and organic matter accumulation. The samples were processed using standardized methodologies to determine soil texture, bulk density, porosity, hydraulic conductivity, nutrient content, and microbial biomass. The results showed that soil texture did not present statistically significant differences between treatments, confirming its stability as an inherent property. However, soil under conservation management exhibited positive trends in 50% of the evaluated properties, including a slight decrease in bulk density, higher porosity, improved infiltration, and greater retention of fine particles, indicating a reduction in soil loss due to erosion. Additionally, more balanced chemical conditions and a slight increase in organic matter were observed, factors that enhance biological activity and structural stability. Based on comparative analysis, it can be concluded that conservation practices progressively influence soil quality, fertility, and sustainable productivity in mountain agricultural systems.

**Keywords:** soil conservation, bench terraces, water erosion, organic matter, soil sustainability.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |      |
|--|------|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....   | ii   |
| CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....                            | iii  |
| AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....                                    | v    |
| AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....                                  | vi   |
| AGRADECIMIENTO .....   | vii  |
| <i>DEDICATORIA</i> .....   | viii |
| RESUMEN .....  | ix   |
| ABSTRACT .....   | x    |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS.....  | xi   |
| ÍNDICE DE CUADROS .....  | xv   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | xv   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....  | xvi  |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL .....   | 1    |
| 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....  | 2    |
| 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....  | 3    |
| 4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN: .....   | 3    |
| 5. OBJETIVOS:.....   | 4    |
| 5.1. General.....  | 4    |
| 5.2. Específicos.....  | 4    |
| 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS<br>PLANTEADOS ..... | 4    |
| 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....  | 6    |
| 7.1. Suelo .....   | 6    |

|  |    |
|--|----|
| 7.2. Propiedades físicas del suelo .....   | 6  |
| 7.3. Propiedades químicas del suelo .....  | 6  |
| 7.4. Las propiedades biológicas.....   | 6  |
| 7.5. Degradación de suelo.....   | 7  |
| 7.6. Conservación de suelo .....   | 7  |
| 7.7. Suelos de montaña .....   | 7  |
| 7.8. Conservación del suelo .....  | 7  |
| 7.9. Terrazas de banco .....   | 8  |
| 8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA .....  | 8  |
| 9. METODOLOGÍA.....  | 8  |
| 9.1 Delimitación del área de estudio .....   | 10 |
| 9.2 Muestreo de suelo.....   | 11 |
| 9.2.1 Muestreo para obtención de indicadores físicos.....  | 11 |
| 9.2.2 Muestreo para obtención de indicadores químicos.....   | 13 |
| 9.3 Práctica de laboratorio en la Facultad CAREN con las muestras recolectado con el método volumétrico de densidad aparente ..... | 15 |
| 9.4 Práctica de laboratorio Internacional previo a la obtención de los indicadores químicos de las muestras.....                   | 16 |
| 9.4.1 pH del suelo .....   | 16 |
| 9.4.2 Materia orgánica del suelo.....  | 17 |
| 9.4.3 Potasio intercambiable.....  | 17 |
| 9.4.4 Fósforo disponible .....   | 17 |
| 9.4.5 Calcio intercambiable .....  | 17 |
| 9.4.6 Magnesio intercambiable.....   | 17 |
| 9.4.7 Acidez intercambiable (H + Al <sup>3+</sup> ).....   | 17 |
| 9.4.8 Suma de bases intercambiables .....  | 18 |
| 9.4.9 Capacidad potencial de intercambio catiónico (CEC a pH 7,0).....   | 18 |

|  |    |
|--|----|
| 9.4.10 Índice de saturación de bases.....  | 18 |
| 9.4.11 Zinc, hierro, manganeso y cobre disponibles. ....   | 18 |
| 9.4.12 Boro disponible .....   | 18 |
| 9.4.13 Azufre disponible .....   | 18 |
| 9.5 Muestreo de suelos previo a la obtención de indicadores biológicos.....                        | 19 |
| 9.6 Determinar indicadores Biológicos. ....  | 19 |
| 9.7. Evaluación estadística de varianza y comparación de medias en los indicadores en estudio..... | 21 |
| 10. RESULTADOS .....   | 21 |
| 10.1. Caracterización de variables físicas en la terraza de Salache UTC.....                       | 21 |
| 10.1.1. Arena (%) .....  | 21 |
| 10.1.2 Limo (%) .....  | 22 |
| 10.1.3 Arcilla (%).....  | 23 |
| 10.1.4 Densidad aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) .....                                   | 24 |
| 10.1.5 Porosidad ( $\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$ ) .....  | 25 |
| 10.1.6 Conductividad hidráulica ( $\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$ ).....                          | 27 |
| 10.2 Caracterización de variables Químicas en suelo de terrazas de Salache.....                    | 28 |
| 10.2.1 pH .....  | 28 |
| 10.2.2 Materia orgánica (M.O.).....  | 29 |
| 10.2.3 Fósforo disponible .....  | 30 |
| 10.2.4. Potasio intercambiable.....  | 32 |
| 10.2.5. Calcio intercambiable .....  | 33 |
| 10.2.6. Magnesio (Mg) .....  | 34 |
| 10.2.7. Azufre disponible .....  | 35 |
| 10.2.8. Zinc disponible .....  | 36 |
| 10.2.9. Hierro disponible .....  | 37 |
| 10.2.10. Manganeso disponible .....  | 38 |

|  |    |
|--|----|
| 10.2.11. Cobre disponible.....   | 40 |
| 10.2.12. Boro disponible .....   | 41 |
| 10.2.13 Acidez Intercambiable $H + Al^{3+}$ .....                                    | 42 |
| 10.2.14. Suma de bases (SB) .....  | 44 |
| 10.2.15. Capacidad de intercambio catiónico (CEC a pH 7,0).....                      | 45 |
| 10.2.16 Saturación de bases (Sat_B) .....  | 46 |
| 10.3 Caracterización de Variables Biológicas en suelo de terraza de Salache UTC..... | 47 |
| 11. CONCLUSIONES.....  | 51 |
| 12. RECOMENDACIONES .....  | 52 |
| 13. BIBLIOGRAFÍA.....  | 52 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| <b>Cuadro 1:</b> Actividades de acuerdo con los objetivos planteados .....            | 5  |
| <b>Cuadro 2:</b> Niveles de interpretación las variables físicas del suelo. ....      | 16 |
| <b>Cuadro 3:</b> Niveles de interpretación de las variables químicas. ....            | 19 |
| <b>Cuadro 4:</b> Niveles de interpretación de cada variable biológica del suelo. .... | 20 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Ejecución del proyecto terrazas de Banco. ....                                   | 9  |
| <b>Figura 2:</b> Cambio general de las terrazas de Banco. ....                                    | 9  |
| <b>Figura 3:</b> Campus Salache.....  | 11 |
| <b>Figura 4:</b> Recolección de muestras.....   | 14 |
| <b>Figura 5:</b> Calor seco controlado para eliminar la humedad de muestras de tierra. ....       | 14 |
| <b>Figura 6:</b> Empaquetado y etiquetado de muestras.....  | 14 |
| <b>Figura 7 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar de arena.....                       | 22 |
| <b>Figura 8:</b> Media de tratamientos y desviación estándar para % de limo.....                  | 23 |
| <b>Figura 9:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de la arcilla. ....                  | 24 |
| <b>Figura 10:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de la densidad aparente.....        | 25 |
| <b>Figura 11:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de la porosidad.....                | 26 |
| <b>Figura 12:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de la conductividad hidráulica..... | 27 |
| <b>Figura 13 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar del pH. ....                       | 29 |
| <b>Figura 14 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar de M.O. ....                       | 30 |
| <b>Figura 15 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar de P. ....                         | 32 |
| <b>Figura 16 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar de K. ....                         | 33 |
| <b>Figura 17:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de Ca. ....                         | 34 |
| <b>Figura 18 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar de Mg.....                         | 35 |
| <b>Figura 19:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de S. ....                          | 36 |
| <b>Figuras 20 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar de Zn. ....                       | 37 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 21:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de Fe. ....                     | 38 |
| <b>Figura 22:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de Mn.....                      | 39 |
| <b>Figura 23:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de Cu.....                      | 41 |
| <b>Figura 24:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de Boro. ....                   | 42 |
| <b>Figura 25 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar de acidez Intercambiable. .... | 44 |
| <b>Figura 26:</b> Media de tratamientos y desviación estándar de suma de bases. ....          | 45 |
| <b>Figura 27 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar de intercambio catiónico.....  | 46 |
| <b>Figura 28 :</b> Media de tratamientos y desviación estándar de saturación de bases. ....   | 47 |
| <b>Figura 29:</b> Media biomasa microbiana.....   | 48 |
| <b>Figura 30</b> Media de porcentaje bacteriano .....   | 49 |
| <b>Figura 31:</b> Media porcentaje fúngico. ....  | 50 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1:</b> Registro de datos práctica infiltrometro de disco.....   | 13 |
| <b>Tabla 2:</b> Registro de datos. ....  | 15 |
| <b>Tabla 3:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student para % de arena. ....   | 21 |
| <b>Tabla 4:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student para % de limo.....   | 22 |
| <b>Tabla 5:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student para % de arcilla. ....   | 23 |
| <b>Tabla 6.</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student para la densidad aparente $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .....         | 24 |
| <b>Tabla 7:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student para porosidad $\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$ . ....                | 26 |
| <b>Tabla 8:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student para conductividad hidráulica $\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$ . .... | 27 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 9.</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student del pH. ....                    | 28 |
| <b>Tabla 10:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de M.O. ....                   | 29 |
| <b>Tabla 11:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de P. ....                     | 30 |
| <b>Tabla 12:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de K. ....                     | 32 |
| <b>Tabla 13:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de Ca.....                     | 33 |
| <b>Tabla 16:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de Zn. ....                    | 36 |
| <b>Tabla 17:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de Fe . ....                   | 38 |
| <b>Tabla 18:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de Mn.....                     | 39 |
| <b>Tabla 19:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de Cu.....                     | 40 |
| <b>Tabla 20:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de Boro. ....                  | 41 |
| <b>Tabla 21:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de acidez Intercambiable. .... | 43 |
| <b>Tabla 22:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de suma de bases.....          | 44 |
| <b>Tabla 24:</b> Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba <i>t</i> de Student de Saturación de bases. ....   | 47 |
| <b>Tabla 25:</b> Relación de biomasa microbiana.....   | 48 |
| <b>Tabla 26:</b> Comparación de variables entre el tratamiento de conservación y el testigo.....   | 50 |

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del Proyecto:** Evaluación de los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en terrazas de banco.

**Fecha de inicio:** 07/2025

**Fecha de finalización:**01/2026

**Lugar de ejecución:** Salache - Eloy Alfaro - Latacunga – Cotopaxi - Campus Salache

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**Carrera que auspicia:** Agronomía

**Equipo de Trabajo:**

**Tutor:** Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuetete Mg.

**Lector 1:** Ing. Troya Sarzosa Jorge Fabian, PhD.

**Lector 2:** Ing. Carlos Javier Torres Miño, PhD.

**Lector 3:** Ing. Ilbay Yupa Mercy Lucila, PhD.

**Coordinador del Proyecto:**

Carolina Jeaneth Jima Lanchimba

**Teléfonos:** 0980345314

**Correo electrónico:** [carolina.jima0151@utc.edu.ec](mailto:carolina.jima0151@utc.edu.ec)

**Área de Conocimiento:**

**Línea de investigación:**

Manejo y conservación de los recursos naturales para adaptación de la agricultura al cambio climático.

**Línea de vinculación de la carrera:**

Gestión de recursos naturales, biotecnología, biodiversidad y gestión para el desarrollo humano y social.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La degradación del suelo conforma uno de los principales desafíos para la sostenibilidad y sustentabilidad de la producción agrícola, en especial en los suelos de montaña, donde la pendiente, la erosión hídrica y el manejo inadecuado del suelo incrementan la vulnerabilidad del recurso. A nivel mundial, se estima que cerca del 33 % de los suelos presentan algún grado de degradación física, química o biológica, lo que compromete su función productiva (FAO, 2015).

En América Latina y particularmente en la región andina, se ha reportado que en sistemas agrícolas de ladera las pérdidas de suelo pueden superar las  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , afectando significativamente la fertilidad y estabilidad estructural del recurso (Lal, 2015). Estas condiciones resultan críticas en territorios donde la agricultura constituye la principal fuente de sustento de las poblaciones rurales.

En el Ecuador, el Ministerio de Agricultura y Ganadería reconoce que una proporción importante de los suelos andinos presenta signos de degradación asociados a erosión, compactación y disminución de materia orgánica, lo que incide directamente en la productividad de los cultivos (MAG, 2019). De manera complementaria, investigaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias evidencian que la pérdida de fertilidad, la disminución de la actividad biológica y el deterioro de la estructura del suelo constituyen limitantes frecuentes en sistemas agrícolas de montaña del país (INIAP, 2018).

Ante esta problemática, resulta fundamental evaluar el estado del suelo mediante el análisis integrado de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, ya que estos indicadores permiten cuantificar objetivamente las diferencias del manejo agrícola y determinar su impacto en la calidad del recurso. La diferenciación entre suelos con prácticas agrícolas y suelos sin intervención productiva, ubicados bajo condiciones altitudinales similares, permite reducir la variabilidad ambiental y obtener resultados confiables que reflejen el efecto real del manejo sobre la dinámica del suelo.

### **3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

Los beneficiarios directos de esta investigación son el estudiante y el docente responsable del proyecto, quienes trabajan de manera conjunta en su desarrollo, aprendizaje y cumplimiento de los objetivos propuestos. De forma indirecta, se beneficiarán también otros estudiantes, docentes y personas externas interesadas, quienes podrán aprovechar los resultados obtenidos para ampliar sus conocimientos, mejorar sus prácticas y fortalecer su formación académica o profesional.

### **4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:**

A nivel mundial, la degradación de los suelos agrícolas en zonas de montaña constituye un desafío significativo para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Los suelos poco profundos y con fuertes pendientes presentan una alta vulnerabilidad a la erosión hídrica (Wang et al., 2023), lo que disminuye su fertilidad y capacidad productiva. Aunque se reconocen diversas prácticas de conservación como la construcción de terrazas y el uso de manejo orgánico, su adopción sigue siendo desigual y limitada en muchas regiones, generando un vacío en los esfuerzos de rehabilitación de suelos degradados (Lal, 2001).

En la región Sierra del Ecuador, las condiciones topográficas y climáticas hacen que los suelos sean frágiles ante la erosión y la pérdida de fertilidad. A ello se suma la escasa implementación de estrategias de conservación, lo que ha intensificado los procesos de degradación, afectando tanto la productividad como el bienestar de las comunidades rurales (Espinosa et al., 2022). Si bien existen experiencias exitosas en el uso de terrazas agrícolas y en el aporte de materia orgánica, la carencia de estudios comparativos entre suelos intervenidos y no intervenidos bajo condiciones similares limita la difusión y replicación de estas prácticas a mayor escala (Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, 2008).

A nivel local, se evidencian contrastes marcados entre parcelas donde se aplican prácticas de conservación como terrazas de banco combinadas con fertilización y aquellas que permanecen sin manejo (Gutiérrez, 2020). Los suelos sin intervención presentan signos claros de degradación, con pérdida de estructura y fertilidad, mientras que los suelos manejados muestran mejoras en sus propiedades físicas y químicas (Broncano, 2023).

## 5. OBJETIVOS:

### 5.1. General

Evaluar los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con diferentes manejos de conservación en el campus Salache terraza de Banco N° 4

### 5.2. Específicos

- Analizar los indicadores físicos , químicos del suelo de una terraza agrícola con diferentes sistemas de conservación.
- Evaluar la actividad biológica del suelo, mediante la presencia de microorganismos y biomasa microbiana.
- Determinar los cambios de los indicadores físicos químicos y biológicos de los dos sistemas en estudio.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

| Cuadro de actividades  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| Objetivos  | Actividad   | Resultados  | Medio de verificación.                   |
| * Analizar los indicadores físicos , químicos del suelo de una terraza agrícola con diferentes sistemas de conservación. | * Delimitación del área de estudio  | * Áreas de estudio delimitadas por manejo de conservación.  | * Mapa de área de investigación          |
|  | * Colecta de muestras de suelos. Prácticas realizadas con instrumentos en campo y laboratorio | * Muestras de suelos de diferentes sistemas de conservación.<br>* Datos recopilados en las diferentes prácticas ya sea de campo o de laboratorio. | * Libro de Campo<br>*Tablas de registros |
|  | * Consideración de los indicadores físicos de las muestras.                                   | * Densidad aparente del suelo<br>* Textura<br>* Porosidad<br>* Conductividad hidráulica   | * Tablas de resultados.                  |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
|  | * Derterminación los indicadores químicos de las muestras.                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>* pH del Suelo</li> <li>* Materia Orgánica del Suelo</li> <li>* Potasio Intercambiable</li> <li>* Fósforo Disponible</li> <li>* Calcio Intercambiable</li> <li>* Magnesio Intercambiable</li> <li>* Acidez Intercambiable (H + Al<sup>3+</sup>)</li> <li>* Suma de Bases Intercambiables</li> <li>* Capacidad Potencial de Intercambio Catiónico (CEC apH 7.0)</li> <li>* Índice de Saturación de Bases</li> <li>* Zinc Disponible</li> <li>* Hierro Disponible</li> <li>* Manganeso Disponible</li> <li>* Cobre Disponible</li> <li>* Boro Disponible</li> <li>* Azufre Disponible</li> </ul> | * Tablas de resultados.  |
| * Evaluar la actividad biológica del suelo, mediante la presencia de microorganismos y biomasa microbiana. | * Muestreo aleatorio simple de suelos.  | * Muestras de suelos de diferentes sistemas de conservación.  | * Libro de Campo   |
|  | * Determinar indicadores Biológicos.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Biomasa microbiana (ug/g)</li> <li>* % Bacteriano</li> <li>* % Fúngico</li> <li>* Carbono de biomasa microbiana (ug C/g)</li> <li>* Nitrógeno de la biomasa microbiana (ug /g N)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* Tablas de resultados.</li> <li>* Registros</li> </ul> |
| * Determinar los cambios de los indicadores físicos químicos y biológicos.                                 | * Caracterización estadística de varianza y comparación de medias en los Indicadores en estudio | * Pruebas de significación por cada indicador.  | * Tablas y gráficas descriptivas   |

**Cuadro 1:** Actividades de acuerdo con los objetivos planteados

**Elaborado por:** Carolina Jima, (2026).

## **7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA**

### **7.1. Suelo**

Según el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP, 2015), el suelo es un recurso natural esencial para la vida y la producción agrícola, ya que constituye el medio donde se desarrollan las raíces de las plantas y de donde estas obtienen el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento.

### **7.2. Propiedades físicas del suelo**

En el 2026 la FAO, describe las propiedades físicas del suelo cómo está formado y cómo se comporta el suelo en condiciones naturales y agrícolas en aspectos como la estructura, la textura, la porosidad, la densidad, el movimiento del agua, el color. Lo que permiten entender qué tan adecuado es un suelo para el crecimiento de los cultivos, ofreciendo a las plantas el soporte físico que necesitan, además de suministrarles aire y agua para que sus raíces se desarrollen correctamente.

### **7.3. Propiedades químicas del suelo**

Según la FAO (2026), permiten comprender cómo el suelo almacena y libera los nutrientes que las plantas necesitan para crecer y como los aspectos como el pH, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de carbono orgánico, la presencia de sales y los nutrientes esenciales influyen directamente en la fertilidad del suelo. En conjunto, estas características determinan qué tan disponible están los elementos nutritivos y qué tan favorable es el suelo para el desarrollo saludable de los cultivos.

### **7.4. Las propiedades biológicas**

Las propiedades biológicas del suelo se refieren a los organismos vivos que lo habitan, como bacterias, hongos y otros microorganismos, así como a las relaciones que se establecen entre ellos. La actividad de estos seres vivos permite descomponer la materia orgánica y reciclar nutrientes, lo que contribuye a mantener la fertilidad, mejorar la estructura y conservar el equilibrio natural del suelo (FAO, 2026).

### **7.5. Degradación de suelo**

Es ese proceso en el que la tierra pierde su vitalidad: se deterioran sus cualidades físicas, químicas o biológicas, quedando menos fértil e incapaz de producir alimentos o mantener el equilibrio natural, como el ciclo de nutrientes o los ecosistemas que dependen de ella. Causada por la erosión del viento y el agua, o actividades humanas intensas: el pastoreo excesivo que pisa y agota el suelo, la deforestación que lo deja expuesto, el mal uso de fertilizantes que lo acidifica o saliniza, y la contaminación que lo envenena poco a poco. Al final, trae consecuencias duras, como menos cosechas, desertificación que avanza sin parar, pérdida de biodiversidad y hasta problemas para la seguridad alimentaria de millones, agravando el cambio climático (EOS Data Analytics, 2025).

### **7.6. Conservación de suelo**

Es el esfuerzo clave para proteger la capa viva y fértil de la Tierra de la erosión, el agotamiento y los daños que la dejan estéril, garantizando que siga nutriendo cultivos, reteniendo agua y sosteniendo ecosistemas. Se logra con prácticas sencillas como la siembra directa, que evita remover la tierra y deja los restos de plantas como escudo contra el viento y la lluvia; la rotación de cultivos, alternando especies para equilibrar nutrientes y espantar plagas. Los cultivos de cobertura como trébol o mostaza que tapan el suelo desnudo y lo enriquecen con nitrógeno; terrazas en pendientes para frenar el escurrimiento, y el control del pastoreo para no pisotearlo todo. Al final, estas técnicas no solo salvan el suelo, sino que lo revitalizan, mejoran la biodiversidad, capturan carbono contra el cambio climático y aseguran cosechas más estables y abundantes (Live Plant Biotech, 2024).

### **7.7. Suelos de montaña**

Los suelos de montaña presentan condiciones particulares asociadas a la topografía y al clima, lo que exige prácticas de manejo adaptadas para mantener su estabilidad y capacidad productiva en el tiempo (Wang et al., 2023).

### **7.8. Conservación del suelo**

La conservación del suelo agrupa prácticas orientadas a mantener y mejorar sus propiedades físicas y químicas, con el fin de asegurar su funcionalidad y productividad a largo plazo. Su aplicación resulta especialmente importante en sistemas agrícolas ubicados en zonas con pendiente, donde el suelo es más vulnerable a procesos de degradación (Schwilch et al., 2014).

### **7.9. Terrazas de banco**

Forma práctica de adaptar terrenos con pendiente para cultivos la cual consiste en transformar la ladera en una serie de escalones o “bancos” planos, hechos al cortar y acomodar la tierra, de manera que el suelo quede firme y fácil de trabajar. Ayudan a que el agua de lluvia no arrastre la tierra, reducen la erosión y permiten que los cultivos crezcan en mejores condiciones, incluso en zonas inclinadas lo que permite darles estabilidad y vida productiva a terrenos que, sin esta técnica, serían difíciles de aprovechar (FAO, 2020).

### **8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA**

¿Se puede determinar los cambios en el suelo de sistemas de conservación, mediante el análisis en las propiedades físicas químicas y biológicas?

### **9. METODOLOGÍA**

Para la presente investigación se tiene en cuenta el diseño de tipo observacional y descriptivo a través de análisis. El proyecto de terrazas de formación lenta desarrollado en la montaña de la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión Salache, fue elaborado el 9 de mayo de 2016, y contempló la ejecución de los trabajos de campo durante el periodo comprendido entre abril y agosto de 2016 (Chanaluisa, Chiluisa & Oa, 2016). Las terrazas de banco surgen como una práctica de conservación destinada a enfrentar los problemas de erosión en suelos con fuerte pendiente, espacio, que durante años estuvo expuesto al escurrimiento superficial del agua y a la pérdida progresiva de suelo fértil, requería una intervención que permitiera recuperar su estabilidad.

Por ello, estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Agronómica impulsaron la construcción de terrazas de banco, transformando gradualmente el terreno inclinado en superficies más seguras para el establecimiento de cultivos. Esta iniciativa no solo busca reducir la erosión hídrica, sino también restaurar la estructura del suelo y convertir la montaña en un área productiva y sostenible para la formación académica y la investigación (Chanaluisa, Chiluisa & Oa, 2016).



**Figura 1:** Ejecución del proyecto terrazas de Banco.

**Fotografía:** Fabian Troya Sarzosa.



**Figura 2:** Cambio general de las terrazas de Banco.

**Fotografía:** Carolina Jima (2025).

La presente investigación consiste en evaluar las propiedades del suelo, el Tratamiento es una de las terrazas de banco del Campus y el tratamiento testigo es un área de la montaña donde no se ha realizado labores agrícolas ni modificaciones ambos, ubicados a la misma altura. La terraza agrícola se mantiene actualmente como un sistema activo de conservación y producción,

sobre su superficie se encuentra establecida la alfalfa (*Medicago sativa*), que aporta cobertura permanente al suelo, mientras que los residuos orgánicos y la vegetación ayudan a protegerlo frente al impacto de la lluvia y la pérdida de humedad.

En los extremos de la parcela se observan cordones de vegetación conformados por especies forestales nativas como el cholán (*Tecoma stans*), yagual (*Polylepis spp.*) y la acacia negra (*Acacia melanoxylon*). Estas son barreras vivas que delimitan el área y también cumplen un papel fundamental en la reducción de la erosión, la estabilización del terreno y la creación de un microclima más favorable. En conjunto, la terraza funciona como un sistema agroforestal que equilibra la producción con la conservación del suelo, manteniéndose vigente y operativo hasta la actualidad. Para poder comprobar realmente la diferencia de los tratamientos, se trabajó con parcelas de control sin prácticas de conservación, ubicadas junto a las parcelas experimentales.

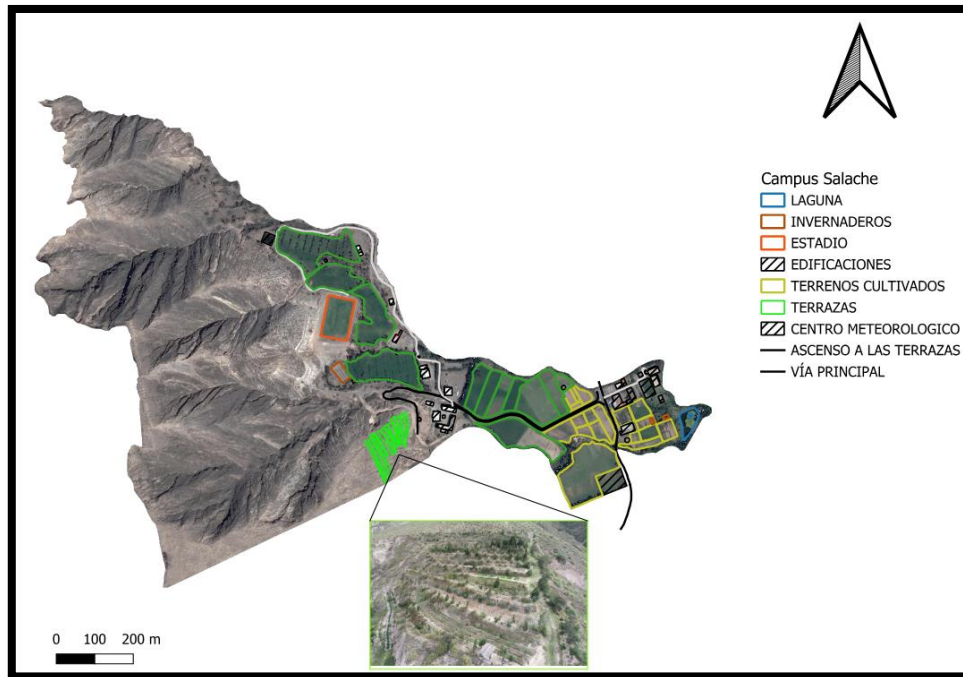
De esta manera, fue posible verificar de forma directa las áreas conservadas con aquellas que no recibieron intervención, lo que permitió evidenciar con mayor claridad las diferencias generadas por las prácticas implementadas.

En el marco de esta investigación, se seguirá un procedimiento sistemático para la evaluación de las propiedades del suelo, en concordancia con los objetivos planteados, con el fin de obtener resultados precisos.

### **9.1 Delimitación del área de estudio**

Para la delimitación del área de estudio se utilizó un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), mediante el cual se registraron puntos de georreferenciación representativos del sitio. Estos puntos permitieron definir con precisión los límites espaciales del área evaluada y garantizar la correcta ubicación de las unidades de muestreo en campo (Bolstad, 2019).

Los puntos georreferenciados obtenidos en campo fueron posteriormente procesados para la elaboración del mapa del área de estudio utilizando el software QGIS, que permitió la visualización, edición y análisis de la información geográfica (QGIS Development Team, 2023). El área de estudio se ubica en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, sector Campus Salache, caracterizado por terrazas de banco, con coordenadas geográficas aproximadas de 00°59'57" S y 78°37'14" O, lo que sitúa el sitio dentro del valle interandino ecuatoriano a una altitud alrededor de 2 700–3 000 m.s.n.m. (Franco Puco, 2018).



**Figura 3:** Campus Salache.

**Elaborado por:** Carolina Jima, (2026).

## 9.2 Muestreo de suelo

Según la FAO en el 2015 determina que el método de recolección de muestras aleatorias de suelo consiste en seleccionar puntos de muestreo al azar dentro del terreno de estudio, de modo que todas las áreas tengan la misma posibilidad de ser evaluadas.

### 9.2.1 Muestreo para obtención de indicadores físicos

#### - Recolección de muestras método volumétrico de densidad aparente.

##### Materiales 1:

- Una pala o azada
- Espatula
- Tubos pvc de 5 cm de alto
- Plástico film
- Marcador

##### Procedimiento:

- Tomamos el cilindro PVC una plancha de metal o madera introducimos el cilindro y encima colocamos la plancha entonces se debe realizar dos golpes leves hasta introducir el cilindro y la muestra haya quedado hasta los bordes.

- Con ayuda de plástico film sellamos las muestras e identificamos nombre o código de muestra.

### **- Recolección de muestras o datos con la práctica de Infiltrómetro de disco 2.**

El infiltrómetro de disco de tensión, herramienta de campo que permite evaluar cómo el agua ingresa al suelo bajo, sin alterar significativamente su estructura natural. A diferencia de otros métodos, este instrumento aplica una succión definida que limita el flujo por macroporos grandes, ofreciendo una medición más representativa del comportamiento hidráulico de la capa superficial del suelo y de su calidad física (Kargas, Koka & Londra, 2022).

#### **Materiales :**

- Agua
- Infiltrómetro de disco
- Cuaderno de campo
- Temporizador
- bolígrafo

#### **Procedimiento:**

- Elegimos un punto representativo y relativamente plano del área de estudio, evitando zonas alteradas o con compactación visible.
- Retiramos con cuidado los residuos vegetales y piedras superficiales sin modificar la estructura del suelo
- Llenamos el infiltrómetro con agua y saturar completamente el disco poroso, eliminando burbujas de aire del sistema.
- Se Regula la tensión deseada,  $-2$  cm de columna de agua.
- Posiciona suavemente el disco sobre la superficie del suelo y verificar que esté estable y bien apoyado.
- Medimos el descenso del nivel de agua en el intervalo de tiempo de 10 minutos hasta que la tasa de infiltración se estabilice y vamos registrando cada 30 segundos como podemos observar en la tabla 1 donde:

M: Muestras  
 G: Testigo  
 T: Terrazas  
 t: Tiempo

| N° | t (s) | M (ml) |      |      |      |      | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 |
|----|-------|--------|------|------|------|------|----|----|----|----|----|
|    |       | T3M1   | T3M2 | T3M3 | T3M4 | T3M5 |    |    |    |    |    |
| 1  | 0     | 75     | 84   | 85   | 83   | 86   | 85 | 82 | 84 | 85 | 83 |
| 2  | 30    | 74     | 83   | 84   | 82   | 85   | 84 | 81 | 84 | 84 | 82 |
| 3  | 60    | 71     | 83   | 82   | 82   | 85   | 83 | 79 | 83 | 82 | 81 |
| 4  | 90    | 70     | 81   | 81   | 81   | 84   | 82 | 80 | 83 | 81 | 80 |
| 5  | 120   | 68     | 80   | 81   | 80   | 83   | 81 | 79 | 83 | 80 | 79 |
| 6  | 150   | 67     | 79   | 80   | 79   | 83   | 80 | 78 | 82 | 78 | 78 |
| 7  | 180   | 66     | 78   | 79   | 78   | 82   | 80 | 77 | 81 | 77 | 70 |
| 8  | 210   | 65     | 76   | 78   | 77   | 81   | 80 | 76 | 80 | 75 | 69 |
| 9  | 240   | 63     | 75   | 77   | 76   | 80   | 79 | 75 | 80 | 74 | 68 |
| 10 | 270   | 62     | 74   | 75   | 75   | 79   | 79 | 74 | 79 | 73 | 67 |
| 11 | 300   | 60     | 73   | 75   | 74   | 78   | 78 | 73 | 79 | 72 | 66 |
| 12 | 330   | 59     | 72   | 74   | 73   | 77   | 77 | 72 | 78 | 71 | 65 |
| 13 | 360   | 58     | 71   | 73   | 73   | 76   | 77 | 71 | 77 | 70 | 64 |
| 14 | 390   | 57     | 70   | 72   | 72   | 75   | 76 | 70 | 76 | 69 | 63 |
| 15 | 420   | 55     | 68   | 70   | 71   | 74   | 75 | 69 | 75 | 68 | 62 |
| 16 | 450   | 54     | 67   | 69   | 70   | 73   | 74 | 68 | 75 | 67 | 61 |
| 17 | 480   | 53     | 66   | 68   | 69   | 72   | 73 | 68 | 74 | 67 | 60 |
| 18 | 510   | 52     | 65   | 67   | 68   | 71   | 72 | 67 | 73 | 65 | 59 |
| 19 | 540   | 50     | 64   | 66   | 67   | 70   | 71 | 66 | 72 | 64 | 58 |
| 20 | 570   | 49     | 63   | 65   | 66   | 69   | 69 | 65 | 71 | 63 | 57 |
| 21 | 600   | 48     | 62   | 65   | 65   | 69   | 68 | 64 | 71 | 62 | 56 |

**Tabla 1:** Registro de datos práctica infiltrómetro de disco.

**Elaborado por:** Carolina Jima, (2026).

### 9.2.2 Muestreo para obtención de indicadores químicos.

Para recolectar las muestras se aplicó un muestreo aleatorio simple, se recolectó 5 muestras en el área con manejo de conservación y 5 muestras en el área sin manejo.

#### **Materiales:**

- Una pala o azada
- Espatula
- Fundas
- Marcador
- Estufa
- Fundas con cierre hermético
- Etiquetas

#### **Procedimiento:**

1. Recolectamos las muestras de suelo perforando con la azada a una profundidad de 20 cm por ser la capa con mayor actividad biológica y dinámica de nutrientes.
2. Con ayuda de la espátula sacamos la parte inferior y superior de la muestra.
3. Colocamos el suelo extraído por el método aleatorio en una funda plástica e identificamos.



**Figura 4:** Recolección de muestras

4. En el laboratorio procedemos a colocar en recipientes de metal y luego en la estufa a 105° por 24 horas.



**Figura 5:** Calor seco controlado para eliminar la humedad de muestras de tierra.

5. Una vez completo el tiempo sacamos y empaquetamos en fundas con cierre hermético y luego colocamos la respectiva identificación y ordenamos en fundas grandes para finalizar se realizó el envío a Brasil.



**Figura 6:** Empaquetado y etiquetado de muestras.

- Para recolectar las muestras previo a la obtención de indicadores físicos, se aplicó un muestreo aleatorio simple, se recolectó 5 muestras en el área con manejo de conservación y 5 muestras en el área sin manejo en este caso nuestro testigo.

### 9.3 Práctica de laboratorio en la Facultad CAREN con las muestras recolectado con el método volumétrico de densidad aparente

1. Tomamos las muestras del cilindro, colocamos en orden por muestra, luego tomamos una liga de hule y una gasa.
2. Retiramos el papel film de la muestra, la gasa se debe colocar en la parte inferior del cilindro, sujetamos con la liga.
3. Una vez realizado el proceso de todas las muestras, en una bandeja de metal ordenamos los cilindros y ponemos agua destilada a 1 cm de la superficie dejamos reposar 24 horas.
4. Ecurrir el agua en exceso, procedemos a pesar y así tener los primeros datos.
5. Después se debe colocar en un recipiente de metal y dejar en la estufa a 105 °C por 24 horas, se saca, se deja enfriar y posterior pesar; completo, gasa + liga, cilindro.
6. Registramos los datos.

Donde:

M: Muestras

G: Testigo

T: Terrazas

| Peso completo húmedo | Gramos      | Peso completo seco | Gramos      | Peso completo húmedo | Gramos      | Peso completo seco | Gramos      |
|----------------------|-------------|--------------------|-------------|----------------------|-------------|--------------------|-------------|
| M1                   | 146.03      | M1                 | 99.66       | G1                   | 150.26      | G1                 | 103.69      |
| M2                   | 134.42      | M2                 | 89.47       | G2                   | 155.66      | G2                 | 106.42      |
| M3                   | 159.41      | M3                 | 104.37      | G3                   | 162.46      | G3                 | 138.81      |
| M4                   | 155.61      | M4                 | 107.92      | G4                   | 159.96      | G4                 | 114.44      |
| M5                   | 161.85      | M5                 | 107.5       | G5                   | 156.87      | G5                 | 110.46      |
| Peso gasa + liga     | Gramos      | Peso cilindro      | Gramos      | Peso gasa + liga     | Gramos      | Peso cilindro      | Gramos      |
| M1                   | 1.22        | M1                 | 22.05       | G1                   | 1.43        | G1                 | 26.03       |
| M2                   | 1.36        | M2                 | 20.06       | G2                   | 1.28        | G2                 | 20.04       |
| M3                   | 1.33        | M3                 | 28.11       | G3                   | 1.38        | G3                 | 21.44       |
| M4                   | 1.31        | M4                 | 20.45       | G4                   | 1.38        | G4                 | 22.19       |
| M5                   | 1.31        | M5                 | 20.85       | G5                   | 1.22        | G5                 | 22.53       |
| Altura               | Centímetros | Diametro           | Centímetros | Altura               | Centímetros | Diametro           | Centímetros |
| M1                   | 5           | M1                 | 4.8         | G1                   | 5           | G1                 | 4.8         |
| M2                   | 5           | M2                 | 4.8         | G2                   | 5           | G2                 | 4.8         |
| M3                   | 5           | M3                 | 4.8         | G3                   | 5           | G3                 | 4.8         |
| M4                   | 5           | M4                 | 4.8         | G4                   | 5           | G4                 | 4.8         |
| M5                   | 5           | M5                 | 4.8         | G5                   | 5           | G5                 | 4.8         |

**Tabla 2:** Registro de datos.

**Elaborado por:** Carolina Jima, (2026).

En esta investigación en el cuadro 2 se presenta los niveles en las que se encuentran las variables físicas del suelo, como la textura, la densidad aparente, la porosidad y la conductividad hidráulica, establecidas tomando como referencia criterios técnicos ampliamente reconocidos en el ámbito agrícola (FAO, 2017).

| Variable \ Nivel                                 | Bajo  | Medio       | Alto  | Observación                             |
|--|-------|-------------|-------|---|
| <b>Arena (%)</b>                                 | <30   | 30 – 60     | >60   | Depende de textura                      |
| <b>Limo (%)</b>                                  | <20   | 20 – 50     | >50   | Exceso puede generar compactación       |
| <b>Arcilla (%)</b>                               | <15   | 15 – 35     | >35   | Mayor arcilla = mayor retención de agua |
| <b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>      | >1.4  | 1.2 – 1.4   | <1.2  | Menor valor = mejor estructura          |
| <b>Porosidad (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b> | <0.45 | 0.45 – 0.55 | >0.55 | Mayor valor = mejor aireación           |
| <b>Conductividad hidráulica (mm/h)</b>           | <20   | 20 – 35     | >35   | Mayor valor = mejor infiltración        |

**Cuadro 2:** Niveles de interpretación las variables físicas del suelo.

**Elaborado por:** Carolina Jima, (2026).

#### **9.4 Práctica de laboratorio Internacional previo a la obtención de los indicadores químicos de las muestras.**

Las muestras obtenidas fueron trasladadas desde Ecuador hasta el laboratorio de la Universidad Federal de Lavras (UFLA), en Brasil, con la finalidad de realizar los análisis especializados bajo condiciones controladas y con equipamiento de alta precisión. Posteriormente, se realizaron las siguientes determinaciones en laboratorio según indica el siguiente estudio (EMBRAPA, 2017).

##### **9.4.1 pH del suelo**

Se preparó una mezcla de suelo seco y tamizado con agua destilada o con una solución de cloruro de calcio. La muestra se agitó suavemente y, después de un breve reposo, el pH se midió utilizando un potenciómetro previamente calibrado (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.2 Materia orgánica del suelo**

Se determinó mediante un método químico basado en la oxidación del carbono orgánico. El suelo reaccionó con una solución oxidante y, a partir del consumo del reactivo, se estimó el contenido de materia orgánica presente en la muestra (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.3 Potasio intercambiable**

El potasio intercambiable se obtuvo al poner el suelo en contacto con una solución extractante que libera este nutriente del complejo de intercambio. El potasio extraído se cuantificó mediante un equipo instrumental, lo que permitió estimar su disponibilidad en el suelo (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.4 Fósforo disponible**

Para evaluar el fósforo disponible, el suelo se trató con una solución ácida diluida que permite extraer el fósforo fácilmente aprovechable por las plantas. La cantidad extraída se determinó mediante un método colorimétrico, observando la intensidad del color desarrollado (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.5 Calcio intercambiable**

El calcio intercambiable se extrajo utilizando una solución específica que desplaza este elemento del suelo. Posteriormente, su concentración se determinó en laboratorio mediante técnicas analíticas que permiten cuantificar con precisión este nutriente (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.6 Magnesio intercambiable**

El magnesio se determinó a partir del mismo extracto utilizado para el calcio. Su contenido se midió con métodos similares, lo que permitió evaluar su disponibilidad dentro del complejo de intercambio del suelo (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.7 Acidez intercambiable ( $H + Al^{3+}$ )**

La acidez intercambiable se evaluó mediante la extracción del suelo con una solución salina. A partir de esta extracción se estimó la cantidad de hidrógeno y aluminio presentes, lo que permitió conocer el nivel de acidez activa del suelo (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.8 Suma de bases intercambiables**

La suma de bases se obtuvo calculando el total de calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables previamente determinados, lo que permitió evaluar el nivel general de fertilidad química del suelo (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.9 Capacidad potencial de intercambio catiónico (CEC a pH 7,0)**

La capacidad de intercambio catiónico se estimó saturando el suelo con una solución patrón y cuantificando los cationes retenidos. Este procedimiento permitió conocer la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.10 Índice de saturación de bases**

El índice de saturación de bases se calculó relacionando la suma de bases con la capacidad total de intercambio catiónico, expresando el resultado como un porcentaje. El índice de saturación de bases depende de las observaciones en cuanto a presentar o no dificultades dependiendo del porcentaje contenido en el suelo (EMBRAPA, 2017).

#### **9.4.11 Zinc, hierro, manganeso y cobre disponibles.**

Estos micronutrientes se extrajeron del suelo utilizando una solución ácida suave. Posteriormente, sus concentraciones se determinaron mediante análisis instrumental, lo que permitió evaluar su disponibilidad para las plantas.

#### **9.4.12 Boro disponible**

El boro se extrajo del suelo mediante un procedimiento con agua caliente, que permite liberar este elemento. Su contenido se determinó a través de un método colorimétrico, basado en el desarrollo de una coloración característica.

#### **9.4.13 Azufre disponible**

El azufre disponible se determinó extrayendo los sulfatos presentes en el suelo con una solución específica. La concentración obtenida se midió mediante un método que evalúa la turbidez generada, permitiendo estimar su contenido.

Las variables químicas del suelo influyen directamente en la disponibilidad de nutrientes y en el rendimiento de los cultivos; por esta razón, el uso de cuadros de niveles de interpretación (bajo, medio, alto) permite establecer diagnósticos técnicos más precisos y definir planes adecuados de fertilización y manejo del suelo (USDA, 2014).

| Variable \ Nivel            | Bajo         | Medio              | Alto                 | Muy Alto             | Observaciones                              |
|-----------------------------|--------------|--------------------|----------------------|----------------------|--|
| <b>pH</b>                   | <5.5 (Ácido) | 5.5 – 7.5 (Neutro) | 7.5 – 8.5 (Alcalino) | >8.5 (Alcalino alto) | Regula disponibilidad de nutrientes.       |
| <b>Materia Orgánica (%)</b> | <1           | 1 – 3              | 3 – 5                | >5                   | Mejora fertilidad y estructura del suelo.  |
| <b>Fósforo (mg/kg)</b>      | <15          | 15 – 30            | 30 – 60              | >60                  | Favorece desarrollo radicular y floración. |
| <b>Potasio (mg/kg)</b>      | <100         | 100 – 250          | 250 – 400            | >400                 | Mejora resistencia y equilibrio hídrico.   |
| <b>Calcio (cmol/kg)</b>     | <2           | 2 – 5              | 5 – 10               | >10                  | Aporta estabilidad estructural.            |
| <b>Magnesio (cmol/kg)</b>   | <0.5         | 0.5 – 1.5          | 1.5 – 3              | >3                   | Interviene en la fotosíntesis.             |
| <b>Zinc (mg/kg)</b>         | <0.5         | 0.5 – 1            | 1 – 3                | >3                   | Favorece crecimiento vegetal.              |
| <b>Hierro (mg/kg)</b>       | <4           | 4 – 10             | 10 – 20              | >20                  | Participa en formación de clorofila.       |
| <b>Manganeso (mg/kg)</b>    | <5           | 5 – 15             | 15 – 30              | >30                  | Activa procesos enzimáticos.               |
| <b>Cobre (mg/kg)</b>        | <0.5         | 0.5 – 1            | 1 – 2                | >2                   | Contribuye a funciones metabólicas.        |
| <b>Boro (mg/kg)</b>         | <0.2         | 0.2 – 0.5          | 0.5 – 1              | >1                   | Favorece reproducción vegetal.             |
| <b>Azufre (mg/kg)</b>       | <5           | 5 – 15             | 15 – 30              | >30                  | Participa en síntesis de proteínas.        |

**Cuadro 3:** Niveles de interpretación de las variables químicas.

**Elaborado por :** Carolina Jima(2026).

### 9.5 Muestreo de suelos previo a la obtención de indicadores biológicos.

Para la obtención de muestras de suelo se aplicó un muestreo aleatorio simple, considerando únicamente dos áreas de estudio, se recolectó 2 muestras para el área con manejo de conservación y 1 muestra para el área sin manejo, tomadas a una profundidad de 0–20 cm, por ser la capa con mayor actividad biológica y dinámica de nutrientes.

### 9.6 Determinar indicadores Biológicos.

Los indicadores biológicos evaluados en la presente investigación fueron: biomasa bacteriana, % bacteriano, % fúngico realizado por el método de test rápido microBIOMETER® PRO

- Preparamos las muestras de suelo para microBIOMETER, tamizar el suelo en una hoja de papel y retiramos partículas de gran tamaño, como piedras o ramas.
- Llené el tubo de medición hasta el borde con agua destilada y se añadió a un tubo de extracción de 10 ml.
- Añadimos el polvo en el tubo de extracción, mezclamos el polvo con la dilución removiendo unos cuantos segundos.

- Medimos el suelo con una jeringa del con el suelo tamizado hasta la marca de 1 ml, presionar el dedo contra la punta de la jeringa y compactar la tierra hasta la marca de 0,5.
- Añadimos el suelo antes medido en el tubo de extracción que contine el polvo y el agua entonces mezclamos la solución durante 30 segundos el batidor debe descansar en la boca del tubo, dejamos reposar por 5 minutos, transcurrido el tiempo se debe golpear de 3 a 4 veces el fondo del tubo para q se asiente cualquier material flotante y nuevamente dejamos reposar ahora por 15 minutos. Después transcurrido el tiempo ha llegado el momento de tomar la muestra
- Centramos la tarjeta de prueba en la región blanca del fondo suministrado para limitar cualquier variabilidad. Aspiramos la solución aproximadamente a 1 pulgada desde la parte superior del líquido, evitando cualquier material. Aplica lentamente 3 gotas de la solución en la ventana de muestra. Permitimos que cada gota se absorba por completo antes de agregar la siguiente.
- Finalmente escaneamos la tarjeta en el marcador de 2 minutos con ayuda del móvil y así automáticamente la aplicación mostrara los resultados para seguir con el análisis y registramos los resultados.

Se empleó el cuadro de niveles de interpretación para identificar la categoría correspondiente de cada variable biológica del suelo, permitiendo valorar su estado (bajo, medio o alto) y facilitar un análisis comparativo que respalde decisiones técnicas en el manejo y mejoramiento de la fertilidad, conforme a criterios de evaluación establecidos en manuales de análisis de suelos (USDA, 2014).

| Variable \ Nivel                 | Nivel |           |      | Observación                                |
|----------------------------------|-------|-----------|------|--|
|                                  | Bajo  | Medio     | Alto |  |
| <b>Biomasa microbiana (ug/g)</b> | <300  | 300 – 500 | >500 | Mayor biomasa = mayor actividad biológica  |
| <b>% Bacteriano</b>              | <50%  | 50 – 70%  | >70% | Equilibrio ideal 60–75%                    |
| <b>% Fúngico</b>                 | <20%  | 20 – 40%  | >40% | Mayor proporción indica suelo más estable. |

**Cuadro 4:** Niveles de interpretación de cada variable biológica del suelo.

**Elaborado por:** Carolina Jima, (2026)

## 9.7. Evaluación estadística de varianza y comparación de medias en los indicadores en estudio.

Para la presente investigación, los datos obtenidos en cuanto a las propiedades físicas, químicas y biológicas fueron procesados, se realizó un análisis con la prueba *t* de Student, herramienta de estadística que se utiliza para comparar las medias de dos grupos y determinar si la diferencia observada entre ellos es realmente significativa (Molina , 2020).

En algunos estudios experimentales y comparativos, como los análisis de suelos con distintos manejos, la prueba *t* permite evaluar si un tratamiento genera efectos estadísticamente diferentes respecto a un testigo, apoyando en la toma de decisiones basadas en evidencia científica (Mocan, 2016). Las gráficas de barras comparativas permiten representar de manera clara los valores promedio de las variables analizadas para los tratamientos de suelo con manejo de conservación y testigo, incorporando barras de error que expresan la desviación estándar. Este tipo de gráfico facilita la comparación visual entre grupos y ayuda a interpretar la variabilidad de los datos, complementando el análisis estadístico realizado mediante la prueba *t* para identificar diferencias significativas entre medias (Montgomery, 2017).

## 10. RESULTADOS

### 10.1. Caracterización de variables físicas en la terraza de Salache UTC

#### 10.1.1. Arena (%)

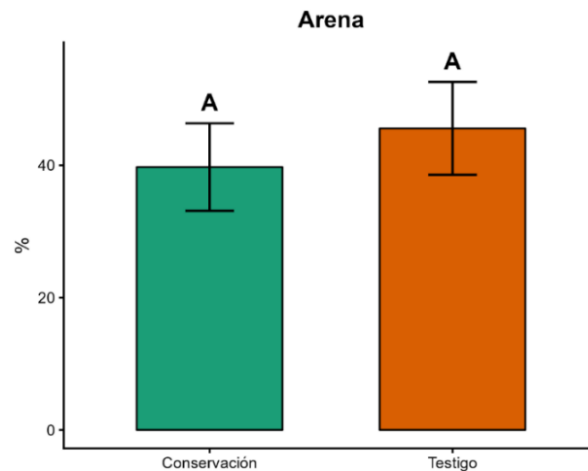
En la tabla 3 el contenido de arena fue similar entre conservación 39.73%,  $\pm$  6.61 y testigo 45.59%,  $\pm$ 7.02, así como también se logra ubicar que se presenta sin diferencia significativa ( $p > 0.05$ )

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 39.73 | 6.61                | 32.68  | 46.56  | 16.64 | 0.21    | ns                       |
| Testigo      | 45.59 | 7.02                | 33.72  | 51.42  | 15.40 |         |                          |

**Tabla 3:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student para % de arena.

En la figura 7 muestra valores similares entre el suelo con manejo de conservación y el testigo sin diferencia marcada, lo que indica que el contenido de arena se mantiene estable independientemente del manejo aplicado. La ausencia de diferencias significativas respecto al

contenido de arena en esta investigación puede manifestarse por la estabilidad de la textura del suelo, la cual es una propiedad edáfica poco susceptible a cambios derivados del manejo agrícola (FAO, 2006).



**Figura 7 :** Media de tratamientos y desviación estándar de arena.

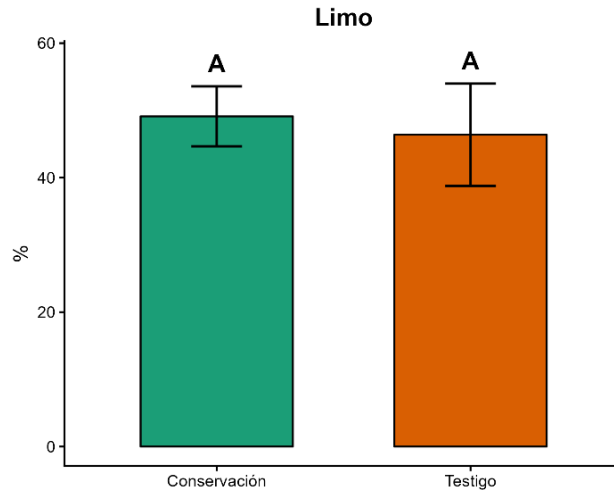
### 10.1.2 Limo (%)

En la tabla 4 la media de limo no representa diferencias significativas con 49.12%,  $\pm$  4.46 para conservación y 46.38%,  $\pm$  7.61, del testigo, además no presenta diferencia significativa ( $p > 0,05$ ).

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 49.12 | 4.46                | 44.01  | 54.17  | 9.07  | 0.51    | ns                       |
| Testigo      | 46.38 | 7.61                | 39.16  | 59.13  | 16.40 |         |                          |

**Tabla 4:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student para % de limo.

En la figura 8 se representa la comparación de suelo con manejo de conservación frente al testigo en cuanto al % de Limo (indicador más fino que la arena, pero más grueso que la arcilla) se observa un comportamiento parecido entre los tratamientos con una separación clara que no generan diferencia definida entre tratamientos. Esto puede obedecer a estudios del 2017, Brady & Weil donde resaltan que las prácticas de conservación tienden a generar efectos más notorios sobre propiedades químicas del suelo, antes que modificar la proporción de las fracciones texturales, lo que explica la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos observada en este estudio.



**Figura 8:** Media de tratamientos y desviación estándar para % de limo.

### 10.1.3 Arcilla (%)

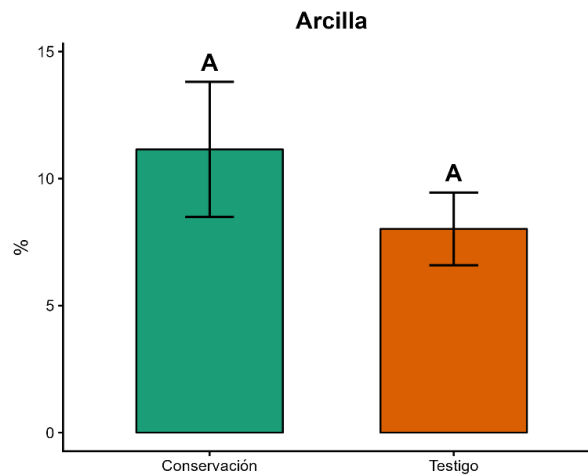
En la tabla 5 el indicador se presenta con mayor porcentaje, medias en conservación con 11.15%,  $\pm$  2.66, mientras que el testigo con 8.02%,  $\pm$  1.43, sin diferencia significativa ( $p > 0,05$ ).

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 11.15 | 2.66                | 7.08   | 13.85  | 23.84 | 0.06    | ns                       |
| Testigo      | 8.02  | 1.43                | 6.05   | 9.43   | 17.84 |         |                          |

**Tabla 5:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student para % de arcilla.

La figura 9 muestra una ligera tendencia a valores mayores en el suelo con manejo de conservación; sin embargo, la diferencia visual no es marcada. Esto indica que la fracción arcillosa permanece relativamente constante y que las variaciones observadas no pueden atribuirse directamente al manejo del suelo. El análisis del contenido de arcilla muestra que el sistema con manejo de conservación presentó valores ligeramente superiores al testigo, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Esta tendencia sugiere que las prácticas de conservación podrían contribuir a una mayor estabilidad del suelo y a una menor pérdida de partículas finas, especialmente frente a procesos de erosión hídrica. Es decir que, en sistemas agrícolas de ladera o terrazas, las prácticas conservacionistas ayudan a reducir la remoción selectiva de estas fracciones finas, favoreciendo su permanencia en el horizonte superficial como lo indica la (FAO, 2015).

Según Arnáez et al. en el 2011 indica que los bancales en la montaña mediterránea no solo cumplen una función productiva, sino que también actúan como una estrategia clave para proteger el suelo frente a la erosión. En estos sistemas, la presencia de una mayor fracción de arcilla favorece la formación de estructuras más estables, mejora la retención de agua y nutrientes y, en consecuencia, contribuye a mantener la fertilidad del suelo a lo largo del tiempo.



**Figura 9:** Media de tratamientos y desviación estándar de la arcilla.

#### 10.1.4 Densidad aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )

En la tabla 6 la densidad aparente se considera de tipo cuantitativa continua. Se presenta significativamente menor en conservación  $0.98 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $\pm 0.07$ , mientras que en el testigo  $1.18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $\pm 0.06$ , diferencia significativa de ( $p < 0,01$ ).

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV   | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|------|---------|--------------------------|
| Conservación | 0.98  | 0.07                | 0.89   | 1.08   | 7.06 | 0.001   | *                        |
| Testigo      | 1.18  | 0.06                | 1.12   | 1.26   | 4.85 |         |                          |

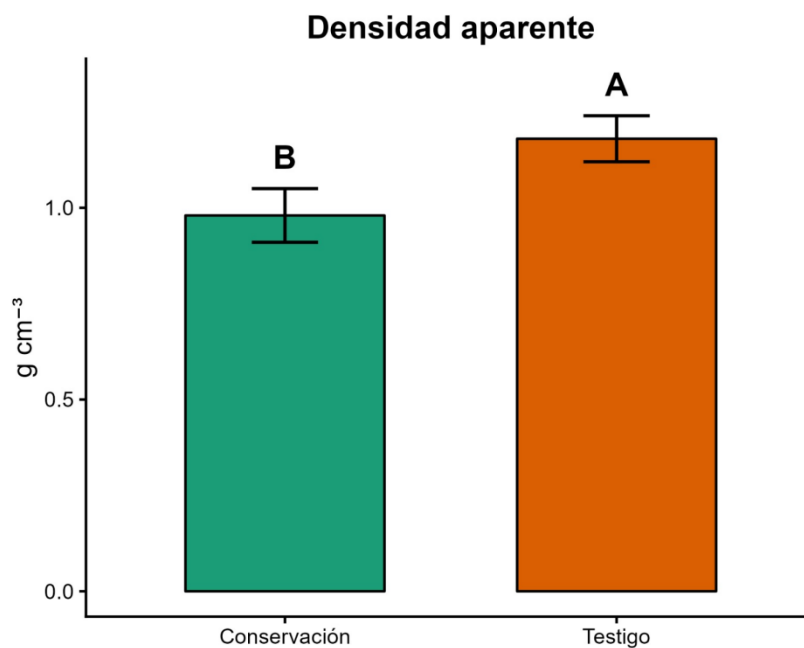
**Tabla 6.** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba  $t$  de Student para la densidad aparente  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

La figura 10 muestra que el suelo bajo conservación presenta valores más bajos de densidad aparente, lo que sugiere una menor compactación y una mejor estructura del suelo, favoreciendo la porosidad, la aireación y el crecimiento radicular. Por el contrario, el testigo muestra una

densidad aparente más alta, asociada a mayor compactación, condición que puede limitar la infiltración de agua y el desarrollo de las raíces.

La reducción de densidad aparente en el suelo con manejo de conservación indica una estructura más suelta y mayor porosidad. Este comportamiento se asocia directamente con mayor aporte de materia orgánica y menor tránsito mecánico, condiciones que favorecen la agregación del suelo.

En el 2001 Lal. afirma que los sistemas de conservación incrementan la estabilidad estructural del suelo y disminuyen la compactación, lo que mejora la aireación y el desarrollo radicular. De forma similar, Schwilch en el 2014 reporta que en suelos de montaña las prácticas conservacionistas reducen la densidad aparente y aumentan la resiliencia física del suelo.



**Figura 10:** Media de tratamientos y desviación estándar de la densidad aparente.

### 10.1.5 Porosidad (cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>)

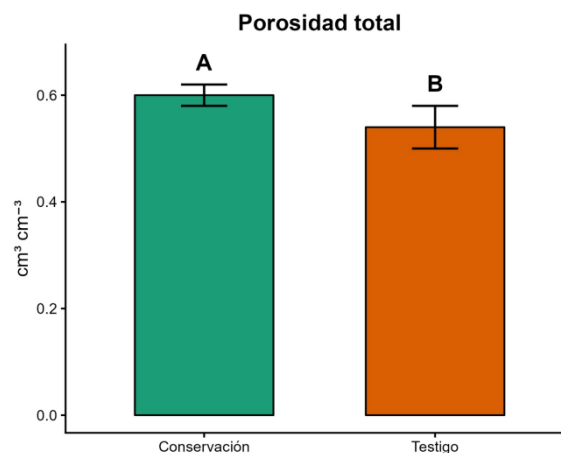
Para esta investigación en la tabla 7 de la porosidad muestra que fue mayor en conservación con 0.60 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>, ± 0.02, mientras que el testigo con 0.54 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>, ± 0.04 con diferencia significativa de (p<0,01).

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV   | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|------|---------|--------------------------|
| Conservación | 0.60  | 0.02                | 0.57   | 0.62   | 2.85 | 0.03    | *                        |
| Testigo      | 0.54  | 0.04                | 0.50   | 0.60   | 7.28 |         |                          |

**Tabla 7:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student para porosidad  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ .

La figura 11 muestra que el suelo con manejo de conservación presenta una mayor porosidad total en comparación con el testigo, lo que indica una mejor organización de los poros dentro del suelo. Esta condición permite una mayor capacidad para retener agua y aire, favoreciendo el desarrollo de las raíces y el buen funcionamiento de los procesos físicos y biológicos. En contraste, el suelo sin manejo de conservación exhibe una menor porosidad, reflejando un suelo más compacto y con menor capacidad para almacenar y movilizar agua.

El incremento en la porosidad total está directamente relacionado con una menor compactación del suelo, mayor estabilidad de agregados y una mejor distribución de macro y microporos, lo que favorece la infiltración y retención de agua, así como una adecuada aireación del sistema radicular (Hillel, 2004). Asimismo, este comportamiento suele estar vinculado a un mayor contenido de materia orgánica y a una mayor actividad biológica, factores clave para la formación de poros biogénicos y la mejora de la estructura del suelo a largo plazo (Brady & Weil, 2016).



**Figura 11:** Media de tratamientos y desviación estándar de la porosidad.

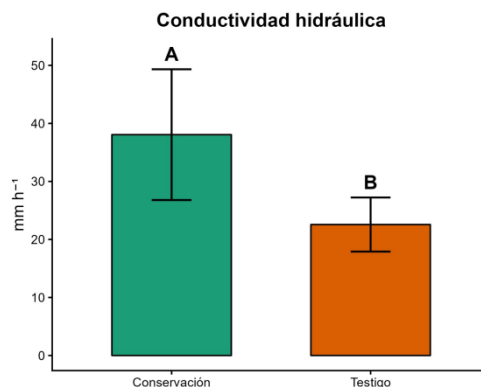
### 10.1.6 Conductividad hidráulica ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )

En la tabla 8 se indica que la conductividad hidráulica fue mayor en el suelo con manejo de conservación, con un valor medio de  $38.06 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ,  $\pm 11.27$ , mientras que el tratamiento testigo presentó un valor inferior de  $22.57 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ,  $\pm 4.66$ , observándose una diferencia altamente significativa ( $p < 0,05$ ).

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 38.06 | 11.27               | 26.41  | 54.95  | 29.61 | 0.03    | **                       |
| Testigo      | 22.57 | 4.66                | 17.17  | 29.71  | 20.63 |         |                          |

**Tabla 8:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student para conductividad hidráulica  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ .

La figura 12 evidencia que el suelo con manejo de conservación presenta una mayor conductividad hidráulica que el testigo, lo que indica una mejor conectividad de los poros y mayor infiltración de agua. En comprobación, el suelo sin manejo de conservación muestra valores menores, asociados a una mayor compactación que limita el movimiento del agua en el suelo. En la presente investigación el menor valor observado en el tratamiento testigo sugiere condiciones físicas menos favorables para la infiltración, lo que puede limitar la dinámica hídrica y aumentar el riesgo de escorrentía. Estos resultados coinciden con lo reportado en la literatura, donde se señala que los sistemas de manejo conservacionista mejoran la conductividad hidráulica y la infiltración del agua al optimizar las propiedades físicas del suelo (Bronick & Lal, 2005).



**Figura 12:** Media de tratamientos y desviación estándar de la conductividad hidráulica.

## 10.2 Caracterización de variables Químicas en suelo de terrazas de Salache.

VARIABLES FUNDAMENTALES O INDICADORES PERMITEN COMPRENDER MEJOR LAS CONDICIONES REALES DEL SUELO, SU NIVEL DE FERTILIDAD Y LAS POSIBLES LIMITACIONES QUE PODRÍAN INFLUIR EN EL DESARROLLO DEL CULTIVO. DE TAL MANERA QUE LA INFORMACIÓN PRESENTADA NO SOLO DESCRIBE LAS CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS DE NUESTRA ZONA DE ESTUDIO, SINO QUE TAMBIÉN SIRVE COMO PUNTO DE PARTIDA PARA INTERPRETAR DE UNA FORMA TÉCNICA Y FUNDAMENTADA LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

### 10.2.1 pH

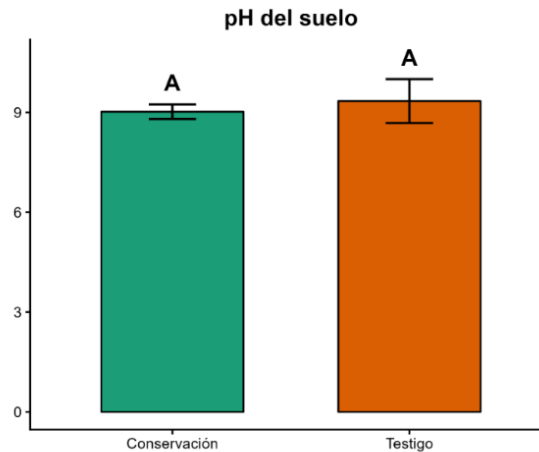
EN LA TABLA 9 SE EVIDENCIA QUE EL TRATAMIENTO CON MANEJO DE CONSERVACIÓN PRESENTÓ UN VALOR PROMEDIO DE pH DE  $9.02 \pm 0.22$ , MIENTRAS QUE EL TRATAMIENTO TESTIGO REGISTRÓ  $9.34 \pm 0.66$ , SE MUESTRAN QUE NO HAY DIFERENCIAS ESTADÍSTICAS SIGNIFICATIVAS ENTRE TRATAMIENTOS ( $p > 0,05$ ), LO QUE INDICA QUE LA PRÁCTICA DE CONSERVACIÓN NO MODIFICÓ LA REACCIÓN DEL SUELO.

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV   | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|------|---------|--------------------------|
| Conservación | 9.02  | 0.22                | 8.8    | 9.3    | 2.40 | 0.350   | ns                       |
| Testigo      | 9.34  | 0.66                | 8.6    | 10.1   | 7.05 |         |                          |

**Tabla 9.** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student del pH.

EN LA FIGURA 13 LOS RESULTADOS INDICAN QUE AMBOS SUELOS PRESENTAN UNA REACCIÓN ALCALINA, CARACTERÍSTICA COMÚN EN SUELOS DE LA ZONA DE ESTUDIO. LA LIGERA DIFERENCIA OBSERVADA ENTRE TRATAMIENTOS NO FUE ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVA, POR LO QUE SE INFIERE QUE EL MANEJO DE CONSERVACIÓN NO ALTERÓ EL pH DEL SUELO, PERO SÍ MANTUVO CONDICIONES QUÍMICAS ESTABLES.

ESTE RESULTADO ES RELEVANTE, YA QUE EL pH ES UN FACTOR CLAVE QUE CONDICIONA LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES Y EL DESARROLLO DE LOS CULTIVOS. LA ESTABILIDAD ESTADÍSTICA DE AMBOS TRATAMIENTOS INDICA QUE LAS PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN NO GENERAN ALTERACIONES QUÍMICAS. POR ELLO, LOS RESULTADOS MANTIENEN QUE EL MANEJO DE CONSERVACIÓN PUEDE IMPLEMENTARSE SIN MODIFICAR LA REACCIÓN DEL SUELO, PERMITIENDO QUE SUS BENEFICIOS SE CONCENTREN EN LA MEJORA DE PROPIEDADES FÍSICAS Y BIOLÓGICAS, ASÍ LO CONFIRMA EL ESTUDIO DE (Havlin et al., 2014).



**Figura 13 :** Media de tratamientos y desviación estándar del pH.

### 10.2.2 Materia orgánica (M.O.)

En la tabla 10 la materia orgánica registró un incremento altamente significativo en el tratamiento de conservación, 1.10%,  $\pm$  0.37, respecto al testigo 0.60%,  $\pm$  0.09, con diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 1.10  | 0.37                | 0.73   | 1.51   | 33.70 | 0.03    | **                       |
| Testigo      | 0.602 | 0.09                | 0.52   | 0.7    | 15.06 |         |                          |

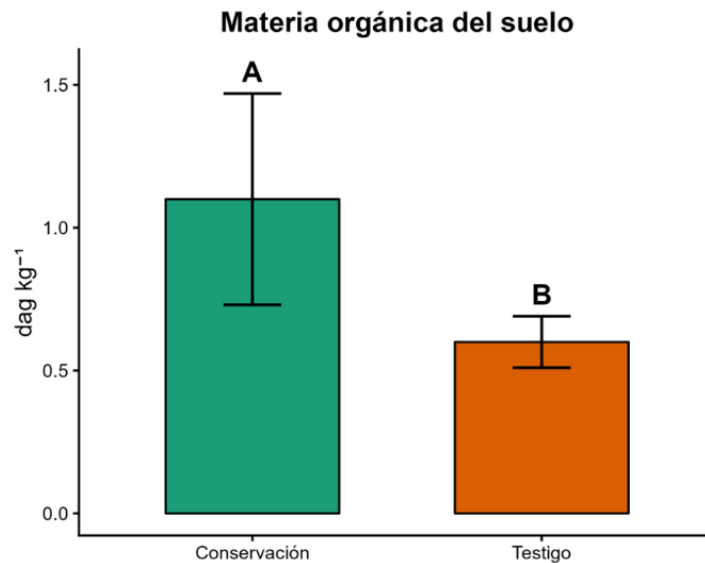
**Tabla 10:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de M.O.

En la figura 14 los resultados obtenidos muestran que el manejo de conservación tuvo un efecto positivo sobre el contenido de materia orgánica del suelo. En las parcelas donde se sabe que se aplicaron prácticas de conservación se observó una mayor acumulación de residuos orgánicos y una actividad biológica más intensa, mayor estabilidad de los agregados y una mayor capacidad para retener nutrientes.

Por el contrario, en el suelo sin manejo de conservación, el menor aporte de residuos vegetales se reflejó en contenidos más bajos de materia orgánica, el menor contenido de materia orgánica puede explicarse también por la reducción en el aporte y permanencia de residuos vegetales sobre la superficie del suelo.

Este resultado indica que las prácticas de conservación actúan en cuanto a la acumulación de residuos orgánicos y la actividad biológica del suelo, contribuyendo a una mejor estructura y capacidad de retención de nutrientes.

De acuerdo con el estudio de la FAO en el 2017, donde se señala que las prácticas de manejo conservacionista promueven el aumento del contenido de materia orgánica del suelo y mejoran su funcionamiento general.



**Figura 14 :** Media de tratamientos y desviación estándar de M.O.

### 10.2.3 Fósforo disponible

En la tabla 11 los valores del fosforo muestra una gran diferencia en cuanto al suelo con manejo de conservación con 480.06%,  $\pm$  43.35, mientras que el testigo presentó 41.68%,  $\pm$  42.54 para el testigo con diferencia altamente significativa ( $p < 0,001$ ).

| Tratamientos | Media  | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV     | p-valor               | Diferencia significativa |
|--------------|--------|---------------------|--------|--------|--------|-----------------------|--------------------------|
| Conservación | 480.06 | 43.35               | 441.7  | 552.24 | 9.03   | $2.19 \times 10^{-7}$ | **                       |
| Testigo      | 41.68  | 42.54               | 7.51   | 115.32 | 102.07 |                       |                          |

**Tabla 11:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de P.

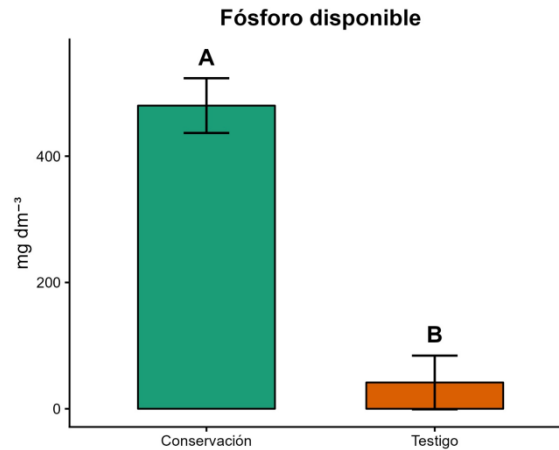
La figura 15 muestra una diferencia muy marcada entre tratamientos, donde el suelo con manejo de conservación presenta valores ampliamente superiores al testigo lo que emite una mayor disponibilidad de fósforo asociada al manejo del suelo y a la acumulación de materia orgánica, los valores más bajos observados en el suelo sin manejo reflejan una menor capacidad para conservar este nutriente, posiblemente debido a la falta de cobertura vegetal y a una mayor pérdida de nutrientes.

Este incremento puede estar relacionado con la acumulación progresiva de residuos orgánicos y la mejora de la actividad biológica del suelo, factores que intervienen en la mineralización del fósforo orgánico y reducen su inmovilización en formas no disponibles. Según Stevenson y Cole (1999), la materia orgánica desempeña un papel clave en la regulación del fósforo al formar complejos que limitan su fijación por óxidos de hierro y aluminio, especialmente en suelos tropicales.

Adicionalmente, el manejo de conservación mejora la estructura del suelo y la estabilidad de los agregados, lo que disminuye las pérdidas de fósforo por erosión. Tiessen, Cuevas y Chacón (1994) señalan que, en sistemas agrícolas sin prácticas de conservación, el fósforo es altamente susceptible a pérdidas superficiales, lo que explica los bajos valores observados en el tratamiento testigo.

De acuerdo con el estudio de Sánchez en el 2019, el reducido contenido de fósforo en el suelo sin manejo de conservación presenta una limitada eficiencia en el reciclaje de nutrientes, asociada a la ausencia de cobertura vegetal y al deterioro de las propiedades químicas del suelo. Asimismo, la elevada variabilidad del fósforo en este tratamiento refleja una distribución irregular del nutriente, característica de suelos degradados y con bajo contenido de materia orgánica.

En conjunto, estos resultados confirman que el manejo de conservación favorece la disponibilidad de fósforo y contribuye a la sostenibilidad de los sistemas productivos agrícolas.



**Figura 15 :** Media de tratamientos y desviación estándar de P.

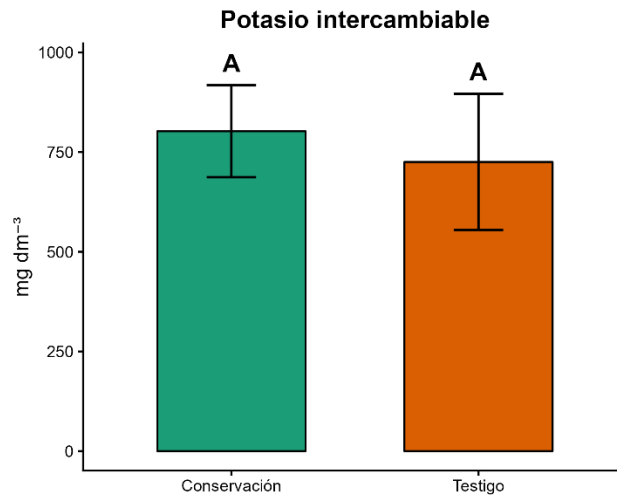
#### 10.2.4. Potasio intercambiable

En la tabla 12 los valores del potasio presentan similitud entre tratamientos con una media de  $802.51 \text{ mg dm}^{-3} \pm 115.3$  para conservación y  $725.38 \text{ mg dm}^{-3}, \pm 170.57$  del testigo, sin diferencia significativa ( $p > 0,05$ ).

| Tratamientos | Media  | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|--------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 802.51 | 115.34              | 620.9  | 905.13 | 14.37 | 0.430   | ns                       |
| Testigo      | 725.38 | 170.57              | 558.36 | 976.83 | 23.51 |         |                          |

**Tabla 12:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de K.

La figura 16 evidencia valores relativamente altos de potasio en ambos tratamientos, con una ligera tendencia a mayores valores en el suelo con conservación, pero, la similitud en la altura de las barras indica que el manejo no produjo un cambio marcado en este nutriente.



**Figura 16 :** Media de tratamientos y desviación estándar de K.

### 10.2.5. Calcio intercambiable

En la tabla 13 el resultado de calcio muestra similitud en cuanto a la media de los tratamientos con  $4.71 \text{ cmol c dm}^{-3}$ ,  $\pm 0.39$  para conservación y  $4.41 \text{ cmol c dm}^{-3}$ ,  $\pm 1.68$ , para el testigo siendo así no presenta diferencia significativa.

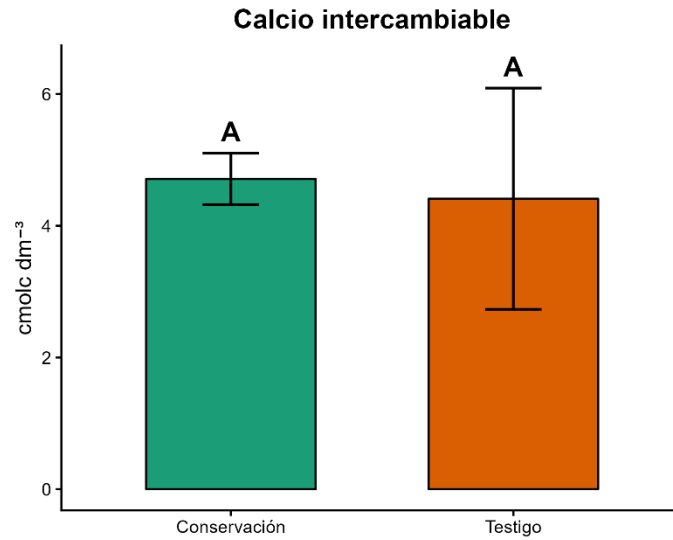
| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 4.71  | 0.39                | 4.15   | 5.09   | 8.27  | 0.713   | ns                       |
| Testigo      | 4.41  | 1.68                | 1.51   | 5.74   | 37.99 |         |                          |

**Tabla 13:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de Ca.

Visualmente, la figura 17 muestra valores de calcio similares entre ambos tratamientos, sin una diferencia clara entre las barras. Esto sugiere que el manejo de conservación no influyó de manera significativa en la disponibilidad de este elemento.

Por esta razón, a ausencia de diferencias significativas puede explicarse por el hecho de que el calcio es un catión básico poco móvil en el suelo, cuya disponibilidad está principalmente determinada por el material parental y el pH, más que por prácticas de manejo a corto plazo. Diversos autores señalan que, a diferencia de otros nutrientes, el calcio tiende a presentar menor variabilidad temporal y responde lentamente a cambios en el manejo del suelo (Brady & Weil, 2017). En este sentido, los resultados obtenidos coinciden con lo reportado en la literatura,

donde se indica que las prácticas de conservación pueden no generar cambios inmediatos en la concentración de calcio del suelo.



**Figura 17:** Media de tratamientos y desviación estándar de Ca.

### 10.2.6. Magnesio (Mg)

En la tabla 14 el suelo con manejo de conservación presenta concentraciones claramente superiores de  $3.15 \text{ c mol c dm}^{-3}$ ,  $\pm 0.33$  y mientras que el testigo presenta una media de  $0.79 \text{ c mol c dm}^{-3}$ ,  $\pm 0.41$ , con diferencia altamente significativa ( $p < 0,001$ ).

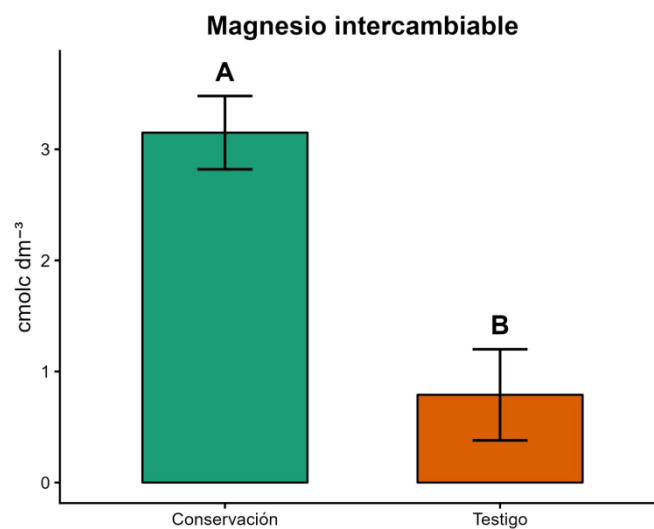
| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor               | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|-----------------------|--------------------------|
| Conservación | 3.15  | 0.33                | 2.87   | 3.70   | 10.42 | $1.12 \times 10^{-5}$ | **                       |
| Testigo      | 0.79  | 0.41                | 0.21   | 1.35   | 51.56 |                       |                          |

**Tabla 14:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de Mg.

En la figura 18 la diferencia entre tratamientos es evidente con valores altamente para suelos con manejo de conservación lo que representa mayor balance de bases intercambiables bajo las prácticas de conservación.

El incremento observado en el suelo con manejo de conservación se debe principalmente al mayor aporte de residuos orgánicos y a una menor alteración del suelo, lo que favorece la acumulación de materia orgánica y una mayor actividad microbiana (Sánchez, 2019).

Estas condiciones permiten que los nutrientes se retengan mejor y se liberen de forma gradual, explicando los valores más altos registrados en este tratamiento. En cambio, el suelo testigo presentó contenidos más bajos, lo que indica una menor capacidad para conservar nutrientes, probablemente relacionada con la falta de cobertura vegetal y un manejo más intensivo que acelera la degradación del suelo (Stevenson & Cole, 1999).



**Figura 18 :** Media de tratamientos y desviación estándar de Mg.

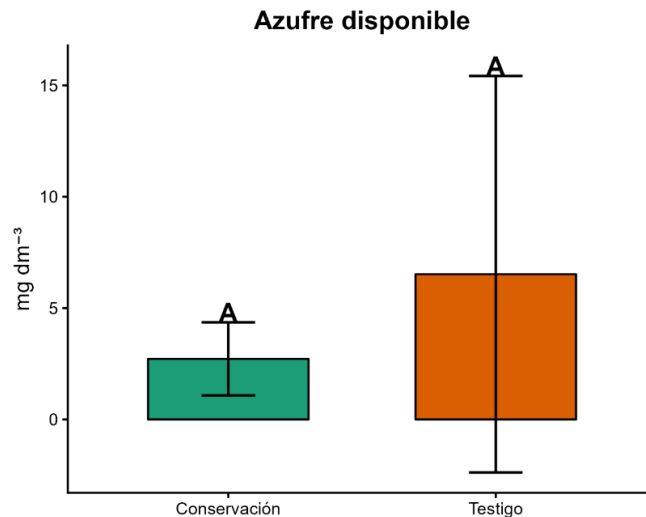
### 10.2.7. Azufre disponible

En la tabla 15 el azufre disponible muestra la comparación entre el suelo con manejo de conservación y el testigo, evidenciando que el tratamiento de conservación presenta un promedio de  $2.72 \text{ mg dm}^{-3} \pm 1.64$ , mientras que el testigo alcanza  $6.52 \text{ mg dm}^{-3}, \pm 8.90$ , y no presenta diferencia significativa.

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV     | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|--------|---------|--------------------------|
| Conservación | 2.72  | 1.64                | 0.9    | 4.7    | 60.38  | 0.398   | ns                       |
| Testigo      | 6.52  | 8.90                | 1.9    | 22.4   | 136.56 |         |                          |

**Tabla 15:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de Azufre.

La figura 19 de azufre disponible evidencia que el suelo bajo manejo de conservación presenta un contenido promedio menor de azufre en comparación con el testigo; no obstante, la amplia dispersión de los datos en el suelo sin manejo y la coincidencia de la misma letra estadística en ambos tratamientos confirman que no existen diferencias significativas entre ellos ( $p > 0,05$ ), indicando que el manejo de conservación no produjo un efecto marcado sobre la disponibilidad de azufre en el suelo en las condiciones evaluadas.



**Figura 19:** Media de tratamientos y desviación estándar de S.

### 10.2.8. Zinc disponible

En la tabla 16 el zinc pone en evidencia valores claramente mayores en el suelo con manejo de conservación con  $1.90 \pm 0.67$ , mientras que en el testigo presenta valores bajos con  $0.98, \pm 0.08$  presentando diferencia altamente significativa.

| Tratamientos | Media | Desvió estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|-----------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 1,90  | 0,67            | 1,40   | 3,00   | 35,50 | 0,004   | *                        |
| Testigo      | 0,18  | 0,08            | 0,10   | 0,30   | 46,48 |         |                          |

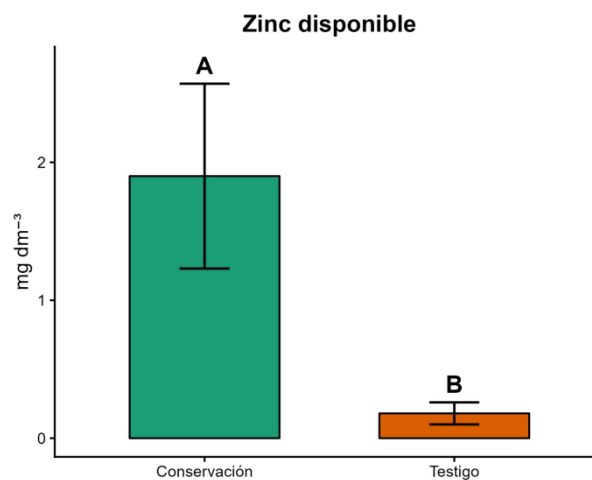
**Tabla 16:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba  $t$  de Student de Zn.

La figura 20 muestra una evidente diferenciación en la que se interpreta al testigo con valores por debajo del tratamiento de conservación. En conjunto, estos resultados confirman que el manejo de conservación mejora la disponibilidad de micronutrientes esenciales como el zinc,

lo cual tiene implicaciones directas sobre la nutrición vegetal, el crecimiento de los cultivos y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo.

Este comportamiento puede explicarse por el efecto del manejo de conservación sobre la dinámica de los micronutrientes, particularmente en suelos con mayor contenido de materia orgánica. El manejo de conservación favorece la acumulación de residuos orgánicos y una mayor actividad biológica, lo que incrementa la formación de complejos orgánico–metálicos que mantienen el zinc en formas más disponibles y reducen su inmovilización en el suelo. Además, la materia orgánica actúa como agente quelante, protegiendo al zinc de procesos de fijación o precipitación, especialmente en suelos con pH neutro a ligeramente alcalino.

Por otro lado, la menor perturbación del suelo contribuye a mantener una estructura más estable y una mejor retención de micronutrientes, disminuyendo las pérdidas por lixiviación o erosión. En contraste, los bajos valores de zinc observados en el tratamiento testigo sugieren una menor capacidad del suelo para retener este micronutriente, posiblemente asociada a la degradación de la materia orgánica, una menor cobertura vegetal y a condiciones que favorecen la adsorción del zinc en formas poco disponibles.



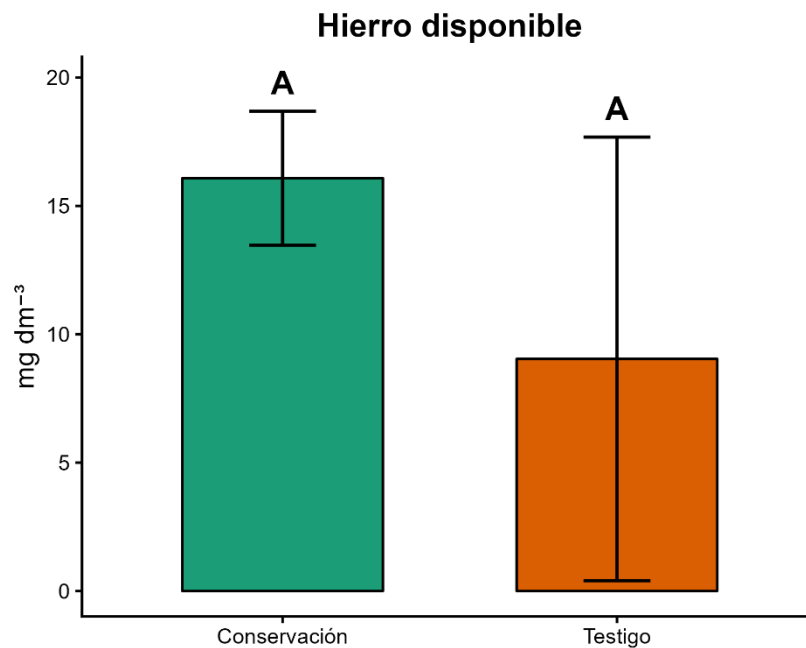
**Figuras 20 :** Media de tratamientos y desviación estándar de Zn.

### 10.2.9. Hierro disponible

La tabla 17 muestra que el hierro disponible es mayor en el suelo con manejo de conservación media de 16,08 mg dm<sup>-3</sup>, ± 2.61 en comparación con el suelo testigo 9,04 mg dm<sup>-3</sup>, ± 8.64 lo que sugiere un efecto positivo del manejo conservacionista sobre la disponibilidad de este micronutriente, pero no presenta diferencia significativa.

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 16.08 | 2.61                | 12.4   | 18.7   | 16.21 | 0.145   | ns                       |
| Testigo      | 9.04  | 8.64                | 1.8    | 23.8   | 95.60 |         |                          |

**Tabla 17:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de Fe .



**Figura 21:** Media de tratamientos y desviación estándar de Fe.

### 10.2.10. Manganeso disponible

La figura 18 muestra que el contenido de manganeso en el sistema con manejo de conservación registró una media de 32.02 mg dm<sup>-3</sup>,  $\pm$  7.62, lo que indica una distribución relativamente homogénea del nutriente en el suelo. A diferencia, el testigo presentó una media de 8.08 mg dm<sup>-3</sup>,  $\pm$  5.15, reflejando una mayor dispersión relativa de los valores. El análisis estadístico mediante la prueba *t* de Student arrojó un p-valor de 0.00064, evidenciando diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0.01$ ).

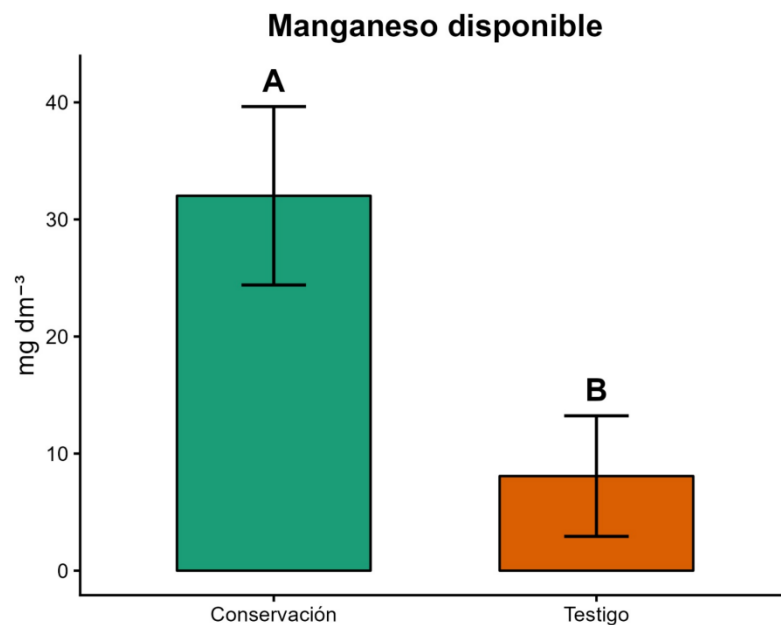
| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 32.02 | 7.62                | 23.7   | 43.7   | 23.79 | 0.00064 | **                       |
| Testigo      | 8.08  | 5.15                | 2.3    | 15.9   | 63.79 |         |                          |

**Tabla 18:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de Mn.

En la figura 22 el manganeso en el suelo con manejo de conservación presenta concentraciones notablemente más altas de manganeso en comparación con el suelo testigo, lo que sugiere que las prácticas de conservación favorecen la disponibilidad de este micronutriente.

Este comportamiento puede estar asociado a una mayor acumulación de materia orgánica y a una actividad biológica más intensa, factores que influyen positivamente en la solubilidad y disponibilidad del manganeso en el suelo.

En efecto, el suelo testigo presenta menores concentraciones, lo que podría limitar la nutrición vegetal y reflejar un manejo menos favorable para la estabilidad de los micronutrientes.



**Figura 22:** Media de tratamientos y desviación estándar de Mn.

### 10.2.11. Cobre disponible

En la tabla 19 aunque el suelo bajo manejo de conservación presenta una media ligeramente mayor  $1,18 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $\pm 0,22$  en comparación con el testigo  $0,91 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $\pm 0,68$ , esta diferencia no es suficiente para evidenciar un efecto significativo del manejo aplicado sobre la disponibilidad de este micronutriente.

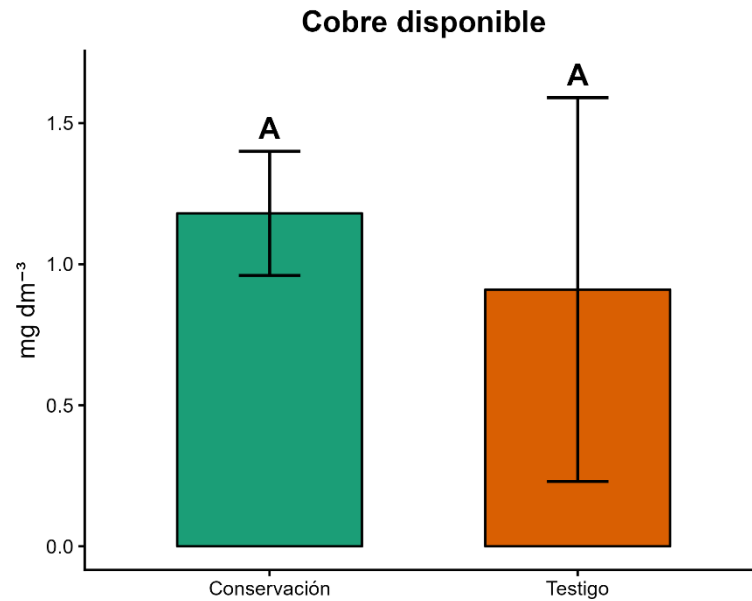
| Tratamientos | Media | Deviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|--------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 1.18  | 0.22               | 0.86   | 1.38   | 18.41 | 0.437   | ns                       |
| Testigo      | 0.91  | 0.68               | 0.30   | 2.03   | 74.84 |         |                          |

**Tabla 19:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de Cu.

La figura 23 de cobre disponible indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento de conservación y el testigo, ya que ambos comparten la misma letra “A”, aunque el suelo bajo conservación presenta un valor promedio ligeramente mayor, y la variabilidad observada sugiere que ambos manejos mantienen niveles comparables de cobre disponible en el suelo.

La falta de respuesta significativa del cobre al manejo de conservación puede explicarse porque este micronutriente tiende a formar complejos estables con la materia orgánica y los óxidos de hierro y manganeso, lo que limita su movilidad y provoca que su disponibilidad cambie lentamente frente a variaciones de manejo, especialmente en evaluaciones de corto plazo. En este sentido, aun cuando el manejo de conservación mejora la calidad general del suelo, sus efectos sobre el cobre disponible pueden no manifestarse de manera inmediata.

En conjunto, los resultados sugieren que el manejo de conservación no alteró significativamente la disponibilidad de cobre durante el período de estudio; sin embargo, sí contribuyó a una mayor estabilidad y uniformidad en la distribución de este micronutriente en el suelo, lo cual es relevante desde el punto de vista de la fertilidad y la sostenibilidad del sistema agrícola.



**Figura 23:** Media de tratamientos y desviación estándar de Cu.

#### 10.2.12. Boro disponible

En la tabla 20 el suelo con manejo de conservación presenta valores notablemente mayores de boro con  $0.72 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $\pm 0.18$  en comparación con el testigo  $0.07 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $\pm 0.05$  presentando una diferencia altamente significativa.

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 0.72  | 0.18                | 0.54   | 1.01   | 6     | 0.00084 | **                       |
| Testigo      | 0.07  | 0.05                | 0.03   | 0.15   | 68.32 |         |                          |

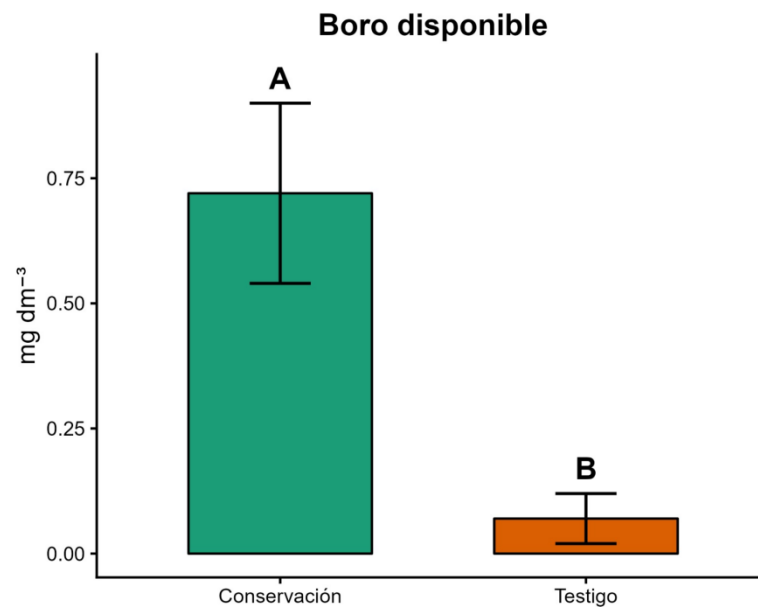
**Tabla 20:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de Boro.

La figura 24 del boro disponible muestra que el tratamiento de conservación presenta un contenido significativamente mayor de boro en el suelo en comparación con el testigo, ya que ambos tratamientos pertenecen a grupos estadísticos diferentes (B para conservación y A para testigo), lo que indica que las prácticas de conservación incrementan la disponibilidad de este micronutriente, mientras que el testigo presenta valores bajos que podrían limitar el desarrollo adecuado de los cultivos.

El mayor contenido de boro en el suelo con manejo de conservación puede atribuirse principalmente al incremento de la materia orgánica, la cual desempeña un papel clave en la retención y liberación gradual de micronutrientes. El boro se encuentra estrechamente asociado

a la fracción orgánica del suelo, por lo que prácticas que reducen la perturbación del suelo y favorecen la acumulación de residuos vegetales contribuyen a mejorar su disponibilidad para las plantas.

Asimismo, el manejo de conservación mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de humedad, factores que reducen la lixiviación del boro, un elemento altamente móvil y susceptible a pérdidas en sistemas agrícolas sin cobertura vegetal. En contraste, los valores extremadamente bajos observados en el tratamiento testigo sugieren una mayor pérdida de boro, posiblemente asociada a procesos de lixiviación, degradación de la materia orgánica y menor estabilidad estructural del suelo.



**Figura 24:** Media de tratamientos y desviación estándar de Boro.

### 10.2.13 Acidez Intercambiable $H^+$ + $Al^{3+}$

En la tabla 21 la acidez intercambiable se mantiene en niveles similares en ambos tratamientos, con una media de suelo bajo manejo de conservación de  $1.22 \text{ cmol c dm}^{-3} \pm 0.26$  y  $0.98 \text{ cmol c dm}^{-3} \pm 0.37$  para el testigo y no presenta diferencia significativa.

| Tratamientos | Media | Desviación<br>estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia<br>significativa |
|--------------|-------|------------------------|--------|--------|-------|---------|-----------------------------|
| Conservación | 1.22  | 0.26                   | 0.80   | 1.50   | 21.22 | 0.273   | ns                          |
| Testigo      | 0.98  | 0.37                   | 0.50   | 1.40   | 37.77 |         |                             |

**Tabla 21:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de acidez Intercambiable.

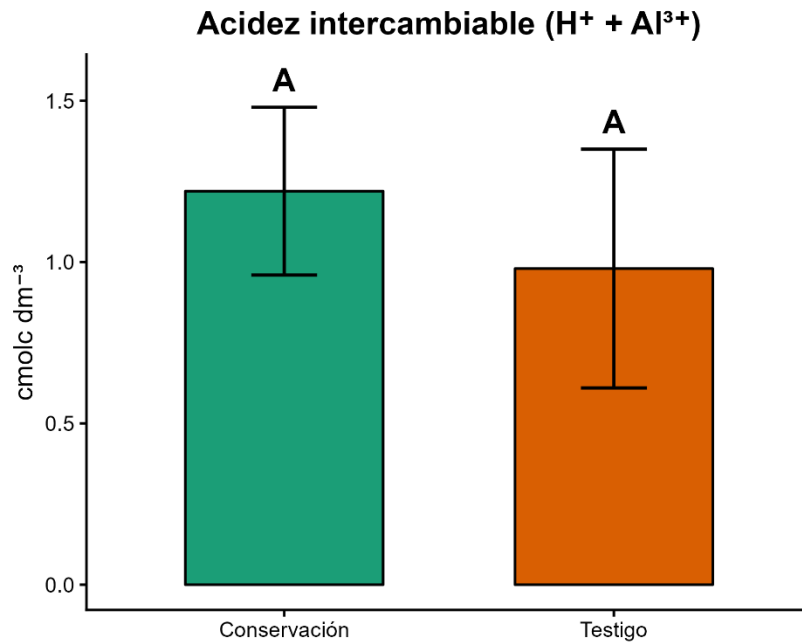
La figura 25 representa una acidez visiblemente similar entre ambos tratamientos, sin una separación marcada lo que indica que la acidez se mantiene relativamente estable independientemente del manejo de conservación aplicado.

La acidez intercambiable se mantuvo en niveles similares tanto en el suelo con manejo de conservación como en el tratamiento testigo, lo que indica que esta propiedad química no respondió de manera inmediata a las prácticas de manejo aplicadas. Este comportamiento es esperable, ya que la acidez intercambiable está estrechamente relacionada con la presencia de aluminio e hidrógeno intercambiables y depende en gran medida de factores intrínsecos del suelo, como el material parental y el pH, los cuales suelen cambiar lentamente en el tiempo (Brady & Weil, 2017).

Diversos estudios señalan que, aunque el manejo de conservación contribuye a mejorar la calidad general del suelo, los cambios en la acidez intercambiable requieren períodos prolongados para manifestarse de forma significativa, especialmente cuando no se aplican enmiendas alcalinas como la cal agrícola (Sanchez, 2019).

En este sentido, la similitud observada entre tratamientos sugiere que el tiempo de evaluación del estudio no fue suficiente para generar modificaciones sustanciales en el equilibrio ácido-base del suelo.

La ciencia afirma que la acidez intercambiable presenta una baja variabilidad temporal y suele mantenerse relativamente estable bajo distintos sistemas de manejo a corto plazo, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio (FAO, 20015).



**Figura 25 :** Media de tratamientos y desviación estándar de acidez Intercambiable.

#### 10.2.14. Suma de bases (SB)

En la tabla 22 la suma de bases presenta diferencia en los datos obtenidos con una media de  $9.92 \text{ cmol c dm}^{-3}$ ,  $\pm 0.52$  para conservación mientras que el testigo presenta  $7.06 \text{ cmol c dm}^{-3}$ ,  $\pm 1.67$  con una diferencia significativa de ( $p > 0,05$ ).

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 9.92  | 0.52                | 9.29   | 10.43  | 5.22  | 0.016   | *                        |
| Testigo      | 7.06  | 1.67                | 4.22   | 8.56   | 23.70 |         |                          |

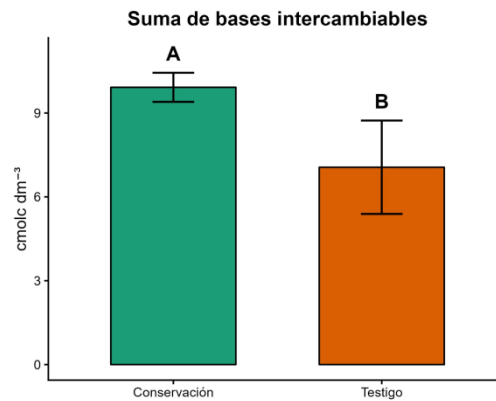
**Tabla 22:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de suma de bases.

En la figura 26 se observa que el suelo con manejo de conservación presenta una mayor suma de bases en comparación con el testigo, lo que indica una mejor condición química del suelo. La suma de bases refleja la cantidad de nutrientes básicos retenidos en el suelo, principalmente calcio, magnesio, potasio y sodio, los cuales son esenciales para la nutrición de las plantas y para mantener la estabilidad del suelo. Un valor más alto sugiere que el suelo tiene mayor capacidad para aportar nutrientes y sostener un pH más equilibrado.

Este resultado puede explicarse porque el manejo de conservación ayuda a reducir la erosión y el arrastre de nutrientes, permitiendo que estos permanezcan en el suelo por más tiempo.

Además, la mayor presencia de materia orgánica en el sistema conservado favorece la retención de nutrientes y mejora la capacidad del suelo para almacenarlos y liberarlos gradualmente.

En conjunto, estos factores muestran que el suelo manejado con prácticas de conservación presenta mejores condiciones para el crecimiento de los cultivos y un funcionamiento más estable a largo plazo.



**Figura 26:** Media de tratamientos y desviación estándar de suma de bases.

#### 10.2.15. Capacidad de intercambio catiónico (CEC a pH 7,0)

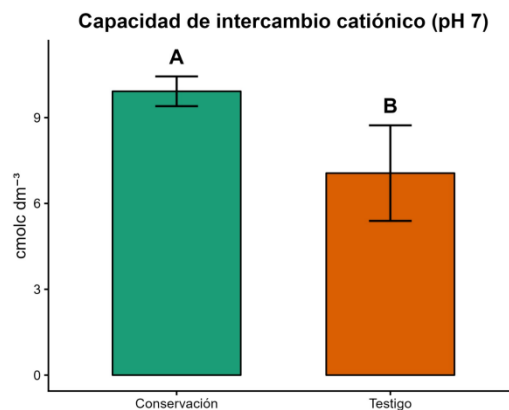
En la tabla 23 se analiza que la capacidad de intercambio catiónico presenta una media mayor 9.92,  $\pm$  0.52 para conservación en comparación con el testigo de 7.06,  $\pm$  1.67 y presenta diferencia significativa.

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV    | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|-------|---------|--------------------------|
| Conservación | 9.92  | 0.52                | 9.29   | 10.43  | 5.22  | 0.016   | *                        |
| Testigo      | 7.06  | 1.67                | 4.22   | 8.56   | 23.70 |         |                          |

**Tabla 23:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de capacidad de intercambio catiónico.

La figura 27 muestra valores más altos de CEC en el suelo bajo manejo de conservación, lo cual pone en evidencia una mayor capacidad de retención e intercambio de nutrientes que contribuyen a una mayor fertilidad del suelo en comparación con el área sin manejo de conservación.

Este comportamiento puede atribuirse al mayor contenido de materia orgánica asociado al manejo de conservación, ya que esta fracción del suelo aporta una elevada densidad de cargas negativas dependientes del pH, lo que incrementa la capacidad de retención e intercambio de cationes. Además, la reducción del disturbio del suelo favorece la formación y estabilidad de los complejos arcillo-húmicos, los cuales desempeñan un papel clave en el incremento de la capacidad de intercambio catiónico (Six et al., 2004). En contraste, los valores más bajos observados en el tratamiento testigo sugieren una menor capacidad de retención de nutrientes, asociada a la degradación de la materia orgánica y a una estructura del suelo menos estable, características comunes en sistemas con manejo intensivo (Bot & Benites, 2005).



**Figura 27** : Media de tratamientos y desviación estándar de intercambio catiónico.

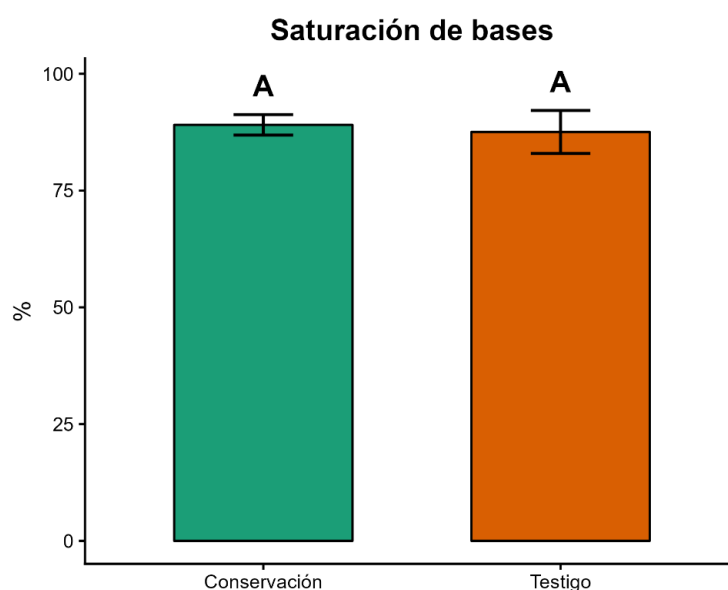
#### 10.2.16 Saturación de bases (Sat\_B)

En la tabla 24 la saturación de bases en el tratamiento con conservación presentó una media ligeramente mayor que el testigo, presentando un valor 89.07 %,  $\pm 2.19$  valor correspondiente para el tratamiento con conservación mientras que para el testigo presenta un valor de 87.55%,  $\pm 4.60$  sin diferencia significativa.

| Tratamientos | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo | CV   | p-valor | Diferencia significativa |
|--------------|-------|---------------------|--------|--------|------|---------|--------------------------|
| Conservación | 89.07 | 2.19                | 87.43  | 92.86  | 2.46 | 0.531   | Ns                       |
| Testigo      | 87.55 | 4.60                | 82.51  | 93.48  | 5.25 |         |                          |

**Tabla 24:** Valores expresados de las diferencias entre tratamientos evaluadas con la prueba *t* de Student de Saturación de bases.

En la figura 28 las barras del tratamiento de conservación muestran similitud frente al testigo, indicando una saturación comparable, mostrando que el porcentaje de saturación de bases es alto y similar tanto en el tratamiento de conservación como en el testigo, con valores cercanos al 85–90 %, y la presencia de la misma letra “A” en ambos casos indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que el manejo de conservación no produjo cambios relevantes en la saturación de bases del suelo y que ambos presentan una condición favorable de fertilidad química.



**Figura 28 :** Media de tratamientos y desviación estándar de saturación de bases.

### 10.3 Caracterización de Variables Biológicas en suelo de terraza de Salache UTC

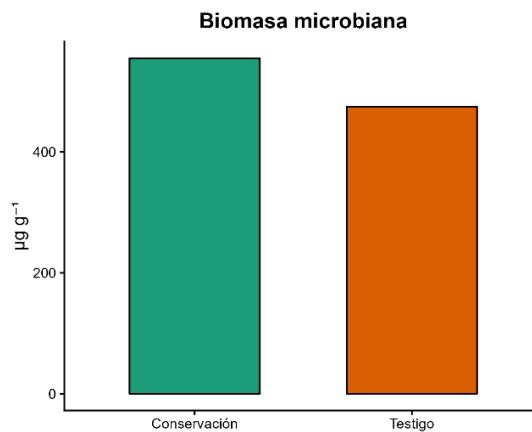
En la tabla 25 muestra mayor biomasa microbiana en conservación (555  $\mu\text{g/g}$ ) frente al testigo (475  $\mu\text{g/g}$ ), aparte de mayor carbono microbiano y proporciones bacterianas elevadas. Según la FAO en el 2026 reconoce que la actividad microbiana aumenta en suelos con mayor materia

orgánica y estructura estable. Además, MicroBIOMETER Science Report (2023) señala que sistemas agrícolas con prácticas conservacionistas presentan mayor biomasa microbiana y mejor equilibrio hongo-bacteria.

| <b>Tratamientos</b> | <b>Biomasa<br/>microbiana<br/>(<math>\mu\text{g/g}</math>)</b> | <b>Fúngico<br/>(%)</b> | <b>Bacteriano<br/>(%)</b> |
|---------------------|--|------------------------|---------------------------|
| Conservación        | 555  | 26                     | 74                        |
| Testigo             | 475  | 29                     | 71                        |

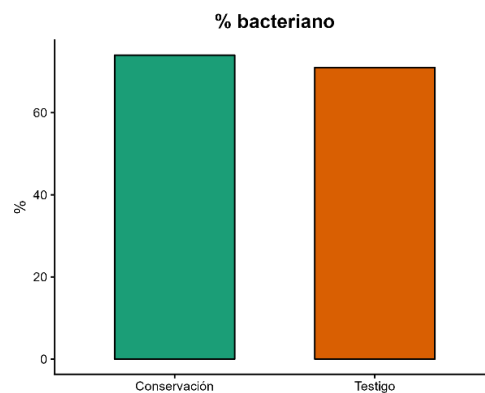
**Tabla 25:** Relación de biomasa microbiana.

La figura 29 de biomasa microbiana evidencia que el tratamiento con manejo de conservación presenta valores superiores ( $555 \mu\text{g/g}$ ) en comparación con el tratamiento testigo ( $475 \mu\text{g/g}$ ), lo que indica una mayor actividad y desarrollo de la comunidad microbiana en suelos bajo prácticas de conservación; esta diferencia sugiere que dicho manejo favorece condiciones edáficas más adecuadas, posiblemente asociadas a un mayor aporte de materia orgánica y menor disturbio del suelo, en contraste con el testigo, que muestra una biomasa microbiana menor.



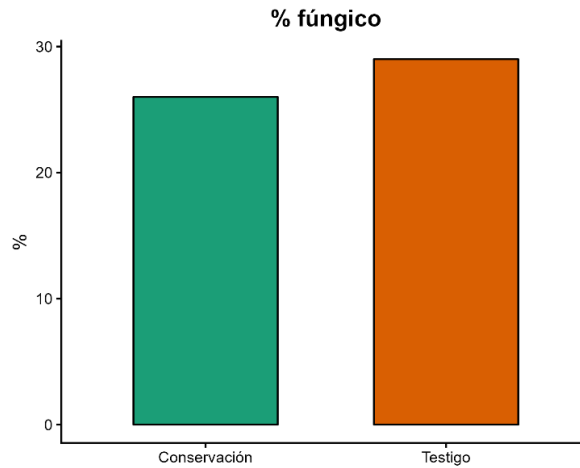
**Figura 29:** Media biomasa microbiana

La figura 30 del porcentaje bacteriano muestra que ambos tratamientos presentan un claro predominio de bacterias dentro de la biomasa microbiana del suelo, siendo ligeramente mayor en el tratamiento con manejo de conservación (74 %) en comparación con el testigo (71 %); esta similitud indica que, aunque las prácticas de conservación incrementan la biomasa microbiana total, la estructura de la comunidad microbiana se mantiene dominada por bacterias en ambos casos, lo que sugiere condiciones edáficas favorables para este grupo microbiano independientemente del manejo, con una leve ventaja asociada al sistema de conservación.



**Figura 30** Media de porcentaje bacteriano

De acuerdo con la figura 31, el porcentaje de biomasa fúngica es ligeramente mayor en el tratamiento testigo (29%) en comparación con el tratamiento con conservación (26%). La gráfica de barras visualiza esta diferencia, mostrando una barra más alta para el testigo. Esto indica que, aunque el suelo bajo conservación presenta mayor biomasa microbiana total (555  $\mu\text{g/g}$  frente a 475  $\mu\text{g/g}$  del testigo), la proporción de hongos dentro de la comunidad microbiana es relativamente más alta en el testigo. En contraste, el tratamiento con conservación muestra una mayor proporción bacteriana (74%), lo que sugiere que las prácticas de conservación favorecieron principalmente el crecimiento bacteriano más que el fúngico, posiblemente por una mayor disponibilidad de nutrientes fácilmente degradables.



**Figura 31:** Media porcentaje fúngico.

#### 10.4. Tabla de discriminación de las variables físicas, químicas y biológicas del suelo.

En conjunto, los resultados confirman que las prácticas de conservación implementadas en la terraza de banco N°4 del Campus Salache del total de muestras el 50% evidencian que han generado mejoras significativas en las propiedades siendo el 33,33 % de mejora o diferencia entre tratamientos correspondiente a las propiedades físicas, el 12.5 % a las propiedades químicas y el 4.17% a las propiedades biológicas del suelo.

| Tabla de Discriminación |   |   |   |
|-------------------------|---|---|---|
| Variables               |   | T1 Manejo de conservación               | Testigo                                 |
| Propiedades físicas     | Arena   | 39.73 %                                 | 45.49 %                                 |
|                         | Limo  | 49.12 %                                 | 46.38 %                                 |
|                         | Arcilla   | 11.15 %                                 | 8.02 %                                  |
|                         | Densidad aparente   | 0.98 g·cm <sup>-3</sup>                 | 1.18 g·cm <sup>-3</sup>                 |
|                         | Conductividad Hidráulica                                    | 38.06 cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> | 22.57 cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> |
|                         | Porosidad   | 0.6 cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup>   | 0.54 cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup>  |
| Propiedades químicas    | pH del Suelo  | 9.02                                    | 9.34                                    |
|                         | Materia Orgánica del Suelo                                  | 1.1 dag kg <sup>-1</sup>                | 0.602 dag kg <sup>-1</sup>              |
|                         | Potasio Intercambiable                                      | 802.51 mg dm <sup>-3</sup>              | 725.38 mg dm <sup>-3</sup>              |
|                         | Fósforo Disponible  | 480.06 mg dm <sup>-3</sup>              | 41.68 mg dm <sup>-3</sup>               |
|                         | Calcio Intercambiable                                       | 4.71 cmol c dm <sup>-3</sup>            | 4.41 cmol c dm <sup>-3</sup>            |
|                         | Magnesio Intercambiable                                     | 3.15 cmol c dm <sup>-3</sup>            | 0.79 cmol c dm <sup>-3</sup>            |
|                         | Acidez Intercambiable (H + Al <sup>3+</sup> )               | 1.22 cmol c dm <sup>-3</sup>            | 0.98 cmol c dm <sup>-3</sup>            |
|                         | Suma de Bases Intercambiables                               | 9.92 cmol c dm <sup>-3</sup>            | 7.06 cmol c dm <sup>-3</sup>            |
|                         | Capacidad Potencial de Intercambio Catiónico (CEC a pH 7.0) | 9.92 cmol c dm <sup>-3</sup>            | 7.06 cmol c dm <sup>-3</sup>            |
|                         | Índice de Saturación de Bases                               | 89.07 %                                 | 86.55 %                                 |
|                         | Zinc Disponible   | 1.9 mg dm <sup>-3</sup>                 | 0.18 mg dm <sup>-3</sup>                |
|                         | Hierro Disponible   | 16.08 mg dm <sup>-3</sup>               | 9.04 mg dm <sup>-3</sup>                |
|                         | Manganeso Disponible  | 32.02 mg dm <sup>-3</sup>               | 80.8 mg dm <sup>-3</sup>                |
|                         | Cobre Disponible  | 1.18 mg dm <sup>-3</sup>                | 0.91 mg dm <sup>-3</sup>                |
| Boro Disponible         | 0.72 mg dm <sup>-3</sup>                                    | 0.07 mg dm <sup>-3</sup>                |   |
| Azufre Disponible       | 2.72 mg dm <sup>-3</sup>                                    | 6.52 mg dm <sup>-3</sup>                |   |
| Propiedades biológicas  | Biomasa Microbiana  | 555 mg kg <sup>-1</sup> suelo           | 475 mg kg <sup>-1</sup> suelo           |
|                         | % Bacteriano  | 26 UFC g <sup>-1</sup> suelo seco       | 29 UFC g <sup>-1</sup> suelo seco       |
|                         | % Fúngico   | 74 UFC g <sup>-1</sup> suelo seco       | 71 UFC g <sup>-1</sup> suelo seco       |

**Tabla 26:** Comparación de variables entre el tratamiento de conservación y el testigo.

**Elaborado por:** (Carolina Jima, 2026)

Las diferencias observadas entre el sistema de conservación en terrazas de banco y el testigo en la provincia de Cotopaxi del Campus Salache evidencian una tendencia más alta en el manejo conservacionista sobre la estructura del suelo. La menor densidad aparente y mayor conductividad hidráulica en el sistema con conservación indican una mejor agregación estructural y mayor macroporosidad, lo que favorece la infiltración y reduce el escurrimiento superficial. Este comportamiento es típico en sistemas donde se controla la erosión y se incrementa la estabilidad de los agregados mediante la acumulación de residuos orgánicos y la actividad radicular. Estudios edafológicos demuestran que las terrazas disminuyen la pérdida de partículas finas y mejoran la porosidad funcional del suelo, incrementando su capacidad de retención hídrica y reduciendo la compactación (Morgan, 2005).

El sistema de conservación presenta mayores concentraciones de materia orgánica, potasio intercambiable y micronutrientes, lo que sugiere una mejora en la capacidad de intercambio catiónico y en la retención de nutrientes. La materia orgánica actúa como un agente complejo que incrementa la carga negativa del suelo, favoreciendo la adsorción de cationes básicos y reduciendo su lixiviación. Asimismo, la acumulación de fósforo disponible puede asociarse a la mineralización de residuos orgánicos y a una menor pérdida por erosión, fenómeno común en sistemas con control de escorrentía. Estas tendencias químicas mejoradas reflejan un sistema edáfico más estable y con mayor eficiencia en el reciclaje de nutrientes, condición que suele observarse en suelos bajo manejo conservacionista de largo plazo (Havlin et al., 2014).

El aumento de biomasa microbiana y la mayor proporción de actividad fúngica en el sistema de conservación indican un suelo biológicamente más activo y funcional. Los microorganismos del suelo responden rápidamente a cambios en disponibilidad de carbono, humedad y estructura, por lo que su incremento sugiere un ambiente edáfico más estable y con mayor disponibilidad de sustratos orgánicos. La dominancia fúngica suele asociarse a sistemas con menor disturbio y mayor acumulación de residuos vegetales, lo que favorece la formación de agregados estables y el secuestro de carbono. Desde el punto de vista ecológico, estos cambios reflejan un suelo con mayor resiliencia y capacidad de sostener procesos de mineralización y ciclados de nutrientes, considerados indicadores clave de calidad del suelo (Gaviria, 2023).

## **11. CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos indican que las prácticas de conservación implementadas en la terraza de banco N° 4 del Campus Salache no generaron cambios estadísticamente significativos en la textura del suelo, evidenciando que las fracciones texturales (arena, limo y arcilla) son

propiedades relativamente estables y poco susceptibles a modificaciones en periodos cortos de manejo agrícola.

Los resultados obtenidos permiten señalar que el tratamiento no generó efectos adversos sobre las características químicas del suelo, en algunos casos manteniéndose los valores dentro de rangos aceptables, lo cual sugiere su posible utilización como práctica de manejo, sujeta a validación mediante estudios complementarios.

De manera general, el tratamiento con manejo de conservación mostró potencial como alternativa de manejo del suelo; no obstante, se podría ampliar la investigación considerando mayor número de repeticiones, periodos de monitoreo más extensos y evaluación de variables adicionales para sustentar su aplicación técnica.

## **12. RECOMENDACIONES**

El uso de terrazas de banco y cobertura vegetal permanente, ya que demostraron mejorar significativamente en parte las propiedades físicas y disponibilidad de nutrientes.

Incrementar y mantener el aporte de materia orgánica al suelo, mediante residuos vegetales, cultivos de cobertura y aplicación de abonos debido a que esta variable fue determinante en la mejora de la fertilidad química y la actividad biológica del suelo bajo manejo de conservación.

Implementar un programa de monitoreo periódico de las propiedades físicas, químicas y biológicas, con el fin de evaluar la evolución del suelo en el tiempo y garantizar la sostenibilidad productiva y ambiental del sistema agroforestal del Campus Salache.

## **13. BIBLIOGRAFÍA.**

- Arnáez, J., Lana-Renault, N., Lasanta, T., Ruiz-Flaño, P., & Castroviejo, J. (2011). Effects of farming terraces on soil erosion in Mediterranean mountain areas. *Catena*, 85(1), 21-30.
- Bolstad, P. (2019). *GIS fundamentals: A first text on geographic information systems* (6th ed.). XanEdu.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- Broncano, D. (2023). Manejo sostenible de suelos agrícolas en zonas altoandinas del Ecuador.

Universidad Técnica de Cotopaxi.

Chanaluiza, J., Chiluisa, P., & Oa, M. (2016). Implementación de terrazas de formación lenta en suelos de montaña del Campus Salache. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. (2008). Memorias del Congreso Nacional de Ciencia del Suelo. Quito.

EMBRAPA. (2017). Manual de métodos de análisis de suelo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EOS Data Analytics. (2025). Soil degradation causes and impacts. <https://eos.com>

Espinosa, J., Andrade, M., & Villacís, P. (2022). Conservación del suelo en sistemas agrícolas andinos del Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 45-58.

FAO. (2006). Guidelines for soil description. Food and Agriculture Organization.

FAO. (2015). Status of the world's soil resources. Food and Agriculture Organization.

FAO. (2017). Soil organic carbon: The hidden potential. Food and Agriculture Organization.

FAO. (2020). Soil conservation practices in mountain agriculture. Food and Agriculture Organization.

FAO. (2026). Soil physical, chemical and biological properties manual. Food and Agriculture Organization.

Franco Puco, J. (2018). Caracterización territorial del Campus Salache. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Gutiérrez, L. (2020). Evaluación del manejo agrícola en terrazas del Campus Salache. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2014). *Soil fertility and fertilizers* (8th ed.). Pearson.

Hillel, D. (2004). *Introduction to environmental soil physics*. Elsevier.

INIAP. (2015). Manual técnico de manejo de suelos agrícolas del Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

INIAP. (2018). Informe nacional sobre fertilidad de suelos agrícolas. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

- Kargas, G., Koka, D., & Londra, P. (2022). Evaluation of soil hydraulic properties using a tension disc infiltrometer. *Soil & Tillage Research*, 218, 105314.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519-539.
- Lal, R. (2015). Soil conservation and ecosystem services. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(3), 135-144.
- Live Plant Biotech. (2024). Soil conservation strategies for sustainable agriculture.
- MAG. (2019). Diagnóstico nacional de suelos agrícolas del Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Mocan, A. (2016). Statistical methods in agricultural research. Academic Press.
- Molina, J. (2020). Estadística aplicada a la investigación agrícola. Editorial Universitaria.
- Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments (9th ed.). Wiley.
- QGIS Development Team. (2023). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation.
- Sánchez, P. A. (2019). Properties and management of soils in the tropics. Cambridge University Press.
- Schwilch, G., Hessel, R., & Verzaandvoort, S. (2014). Practices for sustainable soil management. WOCAT.
- Stevenson, F. J., & Cole, M. A. (1999). Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. Wiley.
- Tiessen, H., Cuevas, E., & Chacón, P. (1994). The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature*, 371, 783-785.
- USDA. (2014). Soil survey manual. United States Department of Agriculture.
- Wang, X., Zhang, L., & Li, Y. (2023). Soil erosion processes in mountain agricultural systems. *Geoderma Regional*, 34, e00610.