

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 1"

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de

Ingeniera Agrónoma

Autora:

Chiriboga Ibujés Lady Daniela

Tutor:

Chasi Vizuete Wilman Paolo

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Chiriboga Ibujés Lady Daniela, con cédula de ciudadanía No. 0502823545, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 1",** siendo el Ingeniero Mg. Wilman Paolo Chasi Vizuete MG., 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, 3 de agosto del 2026

Lady Daniela Chiriboga Ibujés

C.C: 0502823545

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 **CHIRIBOGA IBUJÉS LADY DANIELA**, identificada con cédula de ciudadanía **0502823545** 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 DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 1"** 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: Abril 2026 – Agosto 2026
Tutor: Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuete, Mg.
Tema: **"EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 1"**

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 3 días del mes de agosto del 2026.

Lady Daniela Chiriboga Ibujés
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 DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 1", de Chiriboga Ibujés Lady Daniela, 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, 3 de agosto del 2026

Ing. Wilman Paolo Chasi Vizuete, 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, la postulante: Chiriboga Ibujés Lady Daniela, con el título del Proyecto de Investigación: **"EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 1",** 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, 3 de agosto del 2026

Ing. Jorge Fabian Troya Sarzosa, PhD.	Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.
C.C: 050164556-8	C.C: 0502661754
LECTOR 1 (PRESIDENTE)	**LECTOR 2 (MIEMBRO)**

Ing. Guadalupe de las Mercedes López Castillo, Mg

CC: 1801902907

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios con toda mi profundidad por darme la sabiduría, la fortaleza, la perseverancia y la vida que me han permitido terminar exitosamente esta etapa crucial de mi carrera profesional.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, en especial a la Carrera de Ingeniería Agronómica, mi agradecimiento sincero por ofrecerme las oportunidades, herramientas y conocimientos que ayudaron a mi crecimiento profesional y académico.
A mi tutor de tesis, por su generosa guía, paciencia, dedicación y respaldo durante la realización de este estudio. El cierre de este trabajo se benefició significativamente de sus observaciones y conocimientos. A los profesores que contribuyeron a mi proceso de formación académica, por compartir su experiencia, sabiduría y enseñanzas, las cuales fortalecieron tanto mi desarrollo personal como profesional.
A todas las entidades y personas que contribuyeron, ya sea directa o indirectamente, en el desarrollo de esta investigación, ayudando a la ejecución del trabajo de campo y a alcanzar los objetivos establecidos.

Por último, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia por su confianza, apoyo y comprensión durante todo este trayecto. Esta meta, que hoy simboliza el resultado de la perseverancia, el compromiso y el trabajo duro, no se habría logrado sin su compañía y motivación.

A todos ustedes, mi más profunda gratitud.

Lady Daniela Chiriboga Ibujés

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este trabajo de investigación a Dios por brindarme la vida, la fuerza, la sabiduría y el empeño necesarios para concluir esta relevante etapa en mi formación profesional.

Le dedico este logro a mi amada madre, quien está en el cielo hoy, con todo mi amor. A pesar de que su falta ha sido una de las pruebas más complicadas que he atravesado, la luz que me ha orientado en mi trayecto ha sido su amor, sus enseñanzas y el recuerdo de su ejemplo. Sé que, desde el cielo, compartes conmigo la felicidad de este momento. Este triunfo también es para ella.

A mi padre, por su confianza, sacrificio, respaldo incondicional y dedicación. Te agradezco por acompañarme siempre, dándome la fuerza que necesito para seguir adelante y lograr cada uno de mis objetivos.

A mi hermana, por su amor, comprensión y compañía durante este proceso. Sus palabras de aliento y su apoyo fueron un estímulo permanente para no rendirme.

A mis abuelos, por su amor, sus oraciones, sus consejos y por ser un modelo de fortaleza y principios. En este camino, su presencia ha sido una bendición y un soporte esencial.

Por último, le dedico este logro a toda mi familia, que estuvo a mi lado en cada reto y creyó en mí. Este triunfo también es de ellos, ya que gracias a su apoyo y amor se pudo terminar esta investigación.

Lady Daniela Chiriboga Ibujés

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TEMA: "EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO CON DIFERENTES MANEJOS DE CONSERVACIÓN EN EL CAMPUS SALACHE TERRAZA DE BANCO N° 1",

AUTORA:

Chiriboga Ibujés Lady Daniela

RESUMEN

La degradación del suelo representa una amenaza para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas de montaña, debido a que la erosión, la compactación y la pérdida de materia orgánica afectan sus funciones productivas y ecosistémicas. Esta investigación evaluó los cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo un manejo de conservación basado en el mantenimiento de cobertura de alfalfa, la permanencia de residuos vegetales sobre la superficie y el establecimiento de barreras vivas con especies forestales. Los resultados se compararon con un área testigo sin intervención, ubicada en la Terraza de Banco N.° 1 del Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi. El estudio tuvo enfoque cuantitativo y diseño no experimental, observacional, descriptivo y comparativo. Las muestras se recolectaron entre 0 y 20 cm de profundidad mediante muestreo aleatorio simple. Se analizaron arena, limo, arcilla, densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica, pH, materia orgánica, macro y micronutrientes, biomasa microbiana y proporciones bacteriana y fúngica. Los datos físicos y químicos se procesaron mediante la prueba t de Student, con un nivel de significancia del 5 %. Se encontraron diferencias significativas en el contenido de arcilla, con 10,83 % en conservación y 7,33 % en el testigo, y en la conductividad hidráulica, con 23,10 y 17,05 mm h^{-1}, respectivamente. Arena, limo, densidad aparente y porosidad no presentaron diferencias significativas. El pH fue significativamente menor en conservación, con 8,05 frente a 8,88, mientras que la materia orgánica fue mayor, con 1,66 frente a 0,85 dag kg^{-1}. Las demás variables químicas permanecieron estables. El manejo conservacionista presentó mayor biomasa microbiana y proporción bacteriana. Se concluye que estas prácticas favorecieron la conductividad hidráulica, la materia orgánica y la condición biológica del suelo, por lo que constituyen una alternativa útil para conservar la calidad edáfica en ambientes agrícolas andinos del Campus Salache estudiado.

Palabras clave: Conservación del suelo, calidad del suelo, propiedades físicas, propiedades químicas, propiedades biológicas.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TOPIC: "EVALUATION OF CHANGES IN THE PHYSICAL, CHEMICAL, AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF THE SOIL WITH DIFFERENT CONSERVATION MANAGEMENT PRACTICES ON THE SALACHE CAMPUS, TERRACE OF BANCO NO. 1"

AUTHOR:

Chiriboga Ibujés Lady Daniela

ABSTRACT

Soil degradation represents a threat to the sustainability of mountain agricultural systems because erosion, compaction, and the loss of organic matter affect their productive and ecosystem functions. This research evaluated changes in the physical, chemical, and biological properties of soil under conservation management and compared them with an untreated control area on Bench Terrace No. 1 at the Salache Campus of the Technical University of Cotopaxi. The study followed a quantitative approach and a non-experimental, observational, descriptive, and comparative design. Soil samples were collected at a depth of 0–20 cm through simple random sampling. The variables analyzed included sand, silt, clay, bulk density, porosity, hydraulic conductivity, pH, organic matter, macro- and micronutrients, microbial biomass, and bacterial and fungal proportions. Physical and chemical data were analyzed using Student's t-test at a 5% significance level. Significant differences were found in clay content, with 10.83% under conservation management and 7.33% in the control, and in hydraulic conductivity, with 23.10 and 17.05 mm h^{-1}, respectively. Sand, silt, bulk density, and porosity showed no significant differences. Regarding chemical properties, soil pH was significantly lower under conservation management, with 8.05 compared with 8.88 in the control, whereas organic matter was significantly higher, with 1.66 compared with 0.85 dag kg^{-1}. The remaining chemical variables remained statistically stable. Biological indicators were interpreted descriptively because no inferential test was reported for these variables. Conservation management showed greater microbial biomass, with 612 µg g^{-1}, and a higher bacterial proportion, with 71.5%, compared with 498 µg g^{-1} and 64.2% in the control. It was concluded that conservation management mainly improved hydraulic conductivity, organic matter content, and the biological condition of the soil. These findings support its usefulness for maintaining soil quality in Andean agricultural environments.

Keywords: Soil conservation, soil quality, physical properties, chemical properties, biological properties.

INDICE TABLA

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
DEDICATORIA viii
RESUMEN ix
ABSTRACT x
1. INFORMACIÓN GENERAL 1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 3
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 3
5. OBJETIVOS 6
5.1. General 6
5.2. Específicos 6
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS 6
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA 8
7.1 Suelo y calidad del suelo 13
7.2 Suelos degradados 14
7.2.1 Degradación física 16
7.2.2 Degradación química 16
7.2.3 Degradación biológica 16
7.3 Propiedades físicas del suelo 16
7.3.1 Textura del suelo: arena, limo y arcilla 17
7.3.2 Estructura del suelo 17
7.3.3 Densidad aparente 19
7.3.4 Porosidad 20
7.3.5 Conductividad hidráulica 21
7.4 Propiedades químicas del suelo 22
7.4.1 pH del suelo 24
7.4.2 Materia orgánica del suelo 25
7.4.3 Potasio intercambiable 26
7.4.4 Fósforo disponible 27

7.4.5 Calcio intercambiable 28
7.4.6 Magnesio intercambiable 29
7.4.7 Azufre disponible 29
7.4.8 Zinc disponible 30
7.4.9 Hierro disponible 31
7.4.10 Manganeso disponible 31
7.4.11 Cobre disponible 32
7.4.12 Boro disponible 33
7.4.13 Acidez potencial H + Al 33
7.4.14 Suma de bases intercambiables 34
7.4.15 Capacidad de intercambio catiónico 35
7.4.16 Saturación de bases 35
7.5 Propiedades biológicas del suelo 37
7.5.1 Biomasa microbiana 38
7.5.2 Porcentaje bacteriano y porcentaje fúngico 39
7.6 Conservación del suelo 40
7.7 Suelos de montaña 41
7.8 Terrazas de banco y barreras vivas 45
8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA 45
9. METODOLOGÍA 45
9.1. 9.1 Delimitación del área de estudio 48
9.2. Muestreo de suelo 49
9.2.1. Muestreo para obtención de indicadores físicos 49
9.2.2. Muestreo para obtención de indicadores químicos 52
9.3 Practica de laboratorio en la Facultad CAREN con las muestras recolectando con el método volumétrico de densidad aparente 53
9.4 Practica de laboratorio Internacional previo a la obtención de los indicadores químicos de las muestras. 55
9.4.1 pH del suelo 55
9.4.2 Materia orgánica del suelo 55
9.4.3 Potasio intercambiable 56
9.4.4 Fosforo disponible 56
9.4.5 Calcio intercambiable 56
9.4.6 Magnesio intercambiable 56

9.4.7 Acidez intercambiable (H + AP $^{3+}$) 56
9.4.8 Suma de bases intercambiables 56
9.4.9 Capacidad potencial de intercambio catiónico (CEC a pH 7,0) 57
9.4.10 Índice de saturación de bases 57
9.4.11 Zinc, hierro, manganeso y cobre disponibles 57
9.4.12 Boro disponible 57
9.4.13 Azufre disponible 57
9.5 Muestreo de suelos previo a la obtención de indicadores biológicos 58
9.6 Determinar indicadores biológicos 58
9.7 Evaluación estadística de varianza y comparación de medias en los indicadores en estudio 59
10. RESULTADOS 60
10.1 Caracterización de variables físicas en la terraza de Salache UTC 60
10.1.1 Arena (%) 60
10.1.2 Limo (%) 62
10.1.3 Arcilla (%) 63
10.1.4 Densidad aparente ($g \cdot cm^{-3}$) 64
10.1.5 Porosidad ($cm^3\ cm^{-3}$) 66
10.1.6 Conductividad hidráulica ($mm\ h^{-1}$) 67
10.2 Caracterización de variables Químicas en suelo de terrazas de Salache. 69
10.2.1 pH 69
10.2.2 Materia orgánica (M.O.) 71
10.2.3 Potasio intercambiable 72
10.2.4 Fósforo disponible 73
10.2.5 Calcio intercambiable 75
10.2.6 Magnesio intercambiable 76
10.2.7 Azufre disponible 78
10.2.8 Zinc disponible 79
10.2.9 Hierro disponible 80
10.2.10 Manganeso disponible 82
10.2.11 Cobre disponible 83
10.2.12 Boro disponible 85
10.2.13 Acidez potencial ($H + Al^{3+}$) 86
10.2.14 Suma de bases (SB) 88

10.2.15 Capacidad de intercambio catiónico (CIC a pH 7,0) 89
10.2.16 Saturación de bases (Sat_B) 91
10.3 Caracterización de variables biológicas en el suelo de la Terraza de Banco N.° 1 92
10.3.1 Biomasa microbiana 92
10.3.2 Proporción bacteriana 93
10.3.3 Proporción fúngica 94
10.4 Tabla de discriminación estadística de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo 95
11. CONCLUSIONES 97
12. RECOMENDACIONES 98
13. BIBLIOGRAFÍA 98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación con los objetivos planteados.....6
Tabla 2. Escala de puntuación de los indicadores de calidad del suelo.....14
Tabla 3. Escala del índice de calidad del suelo.....14
Tabla 4. Grado de degradación según el índice de calidad del suelo 15
Tabla 5. Indicadores utilizados para interpretar los tipos de degradación.....16
Tabla 6. Escala granulométrica de las fracciones minerales del suelo 17
Tabla 7. Tipos de estructura del suelo, ventajas y limitaciones.....18
Tabla 8. Escala visual de la condición estructural del suelo.....18
Tabla 9. Límites de densidad aparente según la textura 19
Tabla 10. Escala orientativa de porosidad total 20
Tabla 11. Clases de conductividad hidráulica saturada 23
Tabla 12. Variables químicas evaluadas, unidades y forma de interpretación.....23
Tabla 13. Escala de reacción del suelo según el pH 25
Tabla 14. Escala de materia orgánica del suelo 27
Tabla 15. Escala de potasio extraído mediante Mehlich-1 27
Tabla 16. Escala de fósforo para suelos con menos de 15 % de arcilla.....28
Tabla 17. Escala de calcio intercambiable.....29
Tabla 18. Escala de magnesio intercambiable 30
Tabla 19. Escala de zinc disponible por Mehlich-1.....31
Tabla 20. Escala de hierro disponible por Mehlich-1 32
Tabla 21. Escala de manganeso disponible por Mehlich-1 32
Tabla 22. Escala de cobre disponible por Mehlich-1.....33
Tabla 23. Escala de boro extraído con agua caliente.....33
Tabla 24. Escala de acidez potencial 34
Tabla 25. Escala de suma de bases 35
Tabla 26. Escala de capacidad de intercambio catiónico potencial a pH 7 35
Tabla 27. Escala de saturación de bases 36
Tabla 28. Síntesis de las escalas químicas aplicadas 37
Tabla 29. Escala comparativa de la biomasa microbiana 39
Tabla 30. Escala descriptiva de la composición bacteriana y fúngica.....40
Tabla 31. Indicadores biológicos evaluados y criterios de interpretación.....40
Tabla 32. Escala de pendiente del terreno 41
Tabla 33. Posiciones topográficas y su implicación edáfica 42
Tabla 34. Criterios para interpretar los suelos de montaña en la investigación.....45
Tabla 35. Comparación del porcentaje de arena entre los sistemas evaluados.....60
Tabla 36. Comparación del porcentaje de limo entre los sistemas evaluados.....62
Tabla 37. Comparación del porcentaje de arcilla entre los sistemas evaluados 63
Tabla 38. Comparación de la densidad aparente entre los sistemas evaluados 65
Tabla 39. Comparación de la porosidad total entre los sistemas evaluados 66
Tabla 40. Comparación de la conductividad hidráulica entre los sistemas evaluados 68
Tabla 41. Comparación del pH del suelo entre los sistemas evaluados 69
Tabla 42. Comparación de la materia orgánica entre los sistemas evaluados 71
Tabla 43. Comparación del potasio intercambiable entre los sistemas evaluados 72
Tabla 44. Comparación del fósforo disponible entre los sistemas evaluados 74
Tabla 45. Comparación del calcio intercambiable entre los sistemas evaluados 75
Tabla 46. Comparación del magnesio intercambiable entre los sistemas evaluados.....76
Tabla 47. Comparación del azufre disponible entre los sistemas evaluados 78
Tabla 48. Comparación del zinc disponible entre los sistemas evaluados 79
Tabla 49. Comparación del hierro disponible entre los sistemas evaluados 80

Tabla 50. Comparación del manganeso disponible entre los sistemas evaluados 82
Tabla 51. Comparación del cobre disponible entre los sistemas evaluados 83
Tabla 52. Comparación del boro disponible entre los sistemas evaluados.....84
Tabla 53. Comparación de la acidez potencial entre los sistemas evaluados 86
Tabla 54. Comparación de la suma de bases entre los sistemas evaluados 87
Tabla 55. Comparación de la capacidad de intercambio catiónico entre los sistemas evaluados 89
Tabla 56. Comparación de la saturación de bases entre los sistemas evaluados 90
Tabla 57. Indicadores biológicos observados en los sistemas evaluados 92
Tabla 58. Discriminación estadística de las variables evaluadas.....95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo textural para la clasificación USDA del suelo 11
Figura 2. PH del suelo 26
Figura 3. Ejecución del proyecto de terrazas de banco 47
Figura 4. Cambio general de las terrazas de banco 47
Figura 5. Ubicación del Campus Salache y del área de estudio 49
Figura 6. Registro de datos de la práctica con infiltrómetro de disco 52
Figura 7. Recolección de muestras de suelo 52
Figura 8. Secado de muestras de suelo en estufa 53
Figura 9. Empaquetado y etiquetado de las muestras 53
Figura 10. Registro de datos de densidad aparente 54
Figura 11. Niveles de interpretación de las variables físicas del suelo 55
Figura 12. Niveles de interpretación de las variables químicas del suelo 58
Figura 13. Niveles de interpretación de las variables biológicas del suelo 59
Figura 14. Media y desviación estándar del porcentaje de arena 61
Figura 15. Media y desviación estándar del porcentaje de limo 63
Figura 16. Media y desviación estándar del porcentaje de arcilla 64
Figura 17. Media y desviación estándar de la densidad aparente 65
Figura 18. Media y desviación estándar de la porosidad total 67
Figura 19. Media y desviación estándar de la conductividad hidráulica 68
Figura 20. Media y desviación estándar del pH del suelo 70
Figura 21. Media y desviación estándar de la materia orgánica 71
Figura 22. Media y desviación estándar del potasio intercambiable 73
Figura 23. Media y desviación estándar del fósforo disponible 74
Figura 24. Media y desviación estándar del calcio intercambiable 76
Figura 25. Media y desviación estándar del magnesio intercambiable 77
Figura 26. Media y desviación estándar del azufre disponible 79
Figura 27. Media y desviación estándar del zinc disponible 80
Figura 28. Media y desviación estándar del hierro disponible 81
Figura 29. Media y desviación estándar del manganeso disponible 83
Figura 30. Media y desviación estándar del cobre disponible 84
Figura 31. Media y desviación estándar del boro disponible 85
Figura 32. Media y desviación estándar de la acidez potencial 87
Figura 33. Media y desviación estándar de la suma de bases 88
Figura 34. Media y desviación estándar de la capacidad de intercambio catiónico 89
Figura 35. Media y desviación estándar de la saturación de bases 91
Figura 36. Biomasa microbiana observada en los sistemas evaluados 92
Figura 37. Proporción bacteriana observada en los sistemas evaluados 93
Figura 38. Proporción fúngica observada en los sistemas evaluados 94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Propiedades físicas.....100
Anexo 2. Propiedades químicas.....100
Anexo 3. Propiedades biológicas.....101
Anexo 4. Indicadores estadísticos 101
Anexo 5. Indicadores descriptivos.....101
Anexo 6. Pruebas estadísticas.....101
Anexo 7. Laboratorio UFLA 102
Anexo 8. Instalación del cilindro volumétrico 102
Anexo 9. Recolección de muestras en campo 103
Anexo 10. Acondicionamiento de muestras no alteradas 103
Anexo 11. Empaquetado y etiquetado de muestras 104
Anexo 12. Preparación del análisis con microBIOMETER® PRO 104
Anexo 13. Preparación de la solución de extracción.....105
Anexo 14. Saturación de cilindros para densidad aparente 105

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto: Evaluación de los cambios de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con diferentes manejos de conservación en el Campus Salache Terraza de Banco N° 1.

Fecha de inicio: 07 (2025)

Fecha de finalización: 07 (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 Vizuete Mg.

Lector 1: Ing. Jorge Fabian Troya Sarzosa PhD.

Lector 2: Ing. Alexandra Isabel Tapia Borja, Mg.

Lector 3: Ing. Guadalupe de las Mercedes López Castillo, Mg.

Coordinador del Proyecto:

Lady Daniela Chiriboga Ibujés

Teléfonos: 0995939844

Correo electrónico: lady.chiriboga3545@utc.edu.ec

Área del 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

El suelo es un recurso natural dinámico que sustenta la producción vegetal, regula el almacenamiento y el movimiento del agua, participa en el ciclado de nutrientes y constituye el hábitat de una amplia diversidad de organismos. Cuando estas funciones disminuyen por erosión, compactación, pérdida de materia orgánica, desequilibrios de nutrientes o reducción de la actividad biológica, se produce degradación edáfica.

En los ecosistemas de montaña, la pendiente, la escorrentía y la exposición del suelo incrementan la susceptibilidad a la erosión hídrica y a la pérdida selectiva de partículas finas. Estos procesos no solo reducen la profundidad efectiva, sino que también modifican la estructura, la porosidad, la conductividad hidráulica, la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y el hábitat microbiano. Por esta razón, la evaluación de la calidad del suelo debe integrar indicadores físicos, químicos y biológicos, ya que ninguna propiedad aislada permite explicar completamente su funcionamiento.

Las terrazas de banco, la cobertura vegetal permanente, las barreras vivas y la incorporación de residuos orgánicos son prácticas orientadas a disminuir la longitud y el grado de la pendiente, reducir la velocidad de la escorrentía, conservar partículas finas y favorecer la infiltración. Sin embargo, la eficacia de estas prácticas depende del tiempo de implementación, las características del suelo, el clima y el manejo agronómico. Por ello, su funcionamiento debe comprobarse mediante mediciones de textura, densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica, pH, materia orgánica, nutrientes y actividad microbiana, en lugar de asumirse únicamente por la presencia física de la obra de conservación.

En la Terraza de Banco N.° 1 del Campus Salache se mantiene un sistema de conservación con cobertura de alfalfa y barreras vivas; no obstante, no se disponía de una caracterización integrada que permitiera establecer qué propiedades difieren respecto de un área testigo cercana. La ausencia de esta información limita la valoración técnica de la terraza, dificulta identificar propiedades que requieren manejo correctivo y reduce la posibilidad de emplear la experiencia como referencia para otros sectores del Campus o para sistemas agrícolas de montaña con condiciones semejantes.

La investigación se justifica científica y técnicamente porque genera evidencia comparativa sobre el estado del suelo bajo dos condiciones de manejo, determina qué diferencias son estadísticamente significativas y distingue los cambios reales de las variaciones atribuibles a la heterogeneidad del suelo. Asimismo, aporta una línea base

para el monitoreo de la terraza, orienta decisiones sobre cobertura vegetal, incorporación de materia orgánica, fertilización y conservación del agua, y fortalece la formación de estudiantes, docentes e investigadores vinculados con el manejo sostenible de los recursos naturales en el Campus Salache.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios directos de la presente investigación corresponden al investigador y al docente tutor, los mismos quienes participan activamente en el proceso de ejecución del estudio, aportando al desarrollo de competencias científicas, académicas y al cumplimiento de los objetivos determinados. De igual manera, los resultados obtenidos podrán contribuir indirectamente a estudiantes, docentes, investigadores y demás personas interesadas en la línea de investigación, así también, al establecerse en una fuente de información que permita incidir en los conocimientos, enriquecer procesos de aprendizaje y respaldar futuras investigaciones o actividades en relación con el manejo y conservación del recurso del suelo.

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La degradación del suelo es un proceso complejo que comprende el deterioro simultáneo de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. En el componente físico se manifiesta mediante erosión, compactación, pérdida de estructura, discontinuidad de los poros y disminución de la infiltración; en el componente químico incluye pérdida de materia orgánica, desequilibrios nutricionales, salinización y condiciones extremas de pH; mientras que, en el componente biológico, se expresa mediante la reducción de la biomasa, diversidad y actividad de los organismos edáficos. Estos procesos disminuyen la capacidad del suelo para sostener la producción agrícola, regular el movimiento del agua y mantener el ciclado de nutrientes (FAO e ITPS, 2015; Dhakal et al., 2022).

En Cotopaxi la erosión y pérdida de cobertura sigue en aumento de las actividades agropecuarias y la ampliación de la frontera agrícola en zonas de pendiente presionan los páramos y bosques del cantón. La Aparición de cangahua en varias parroquias rurales de Latacunga y zonas aledañas de Cotopaxi se identifican suelos con procesos de sequía y afloramiento de cangahua por el desgaste de las capas fértiles superiores y en uso de químicos y labranza hace que el laboreo constante y el uso intensivo sin planes de descanso para la tierra reducen de manera gradual la materia orgánica y los nutrientes (Ministerio del Ambiente y FAO, 2017).

Los suelos de montaña presentan una elevada vulnerabilidad debido a que las pendientes favorecen la escorrentía y el transporte de la capa superficial, en la cual se concentra gran parte de la materia orgánica, los nutrientes y la actividad microbiana. Ante esta situación, las terrazas de banco, la cobertura vegetal permanente, la conservación de residuos vegetales y las barreras vivas constituyen prácticas destinadas a disminuir la longitud de la pendiente, reducir la erosión, retener partículas finas y favorecer la infiltración. No obstante, sus efectos deben comprobarse cuantitativamente, debido a que algunas propiedades, como la conductividad hidráulica y la materia orgánica, pueden responder más rápidamente que la textura y el complejo de intercambio catiónico (Lal, 2015; FAO, 2017).

En la Terraza de Banco N.° 1 del Campus Salache se implementó un manejo de conservación compuesto por cobertura de alfalfa, permanencia de residuos vegetales y barreras vivas con especies forestales. La comparación con el área testigo mostró que, de las 22 variables físicas y químicas sometidas a análisis inferencial, únicamente cuatro presentaron diferencias significativas, equivalentes al 18,18 % del total evaluado. En el componente físico fueron significativos el contenido de arcilla, con 10,79 % en conservación y 7,32 % en el testigo ($p = 0,0004$), y la conductividad hidráulica, con 23,08 y 17,02 mm h^{-1}, respectivamente ($p = 0,0002$). La arena, el limo, la densidad aparente y la porosidad no mostraron diferencias estadísticas, aunque la densidad aparente presentó una tendencia a ser menor bajo conservación, con 1,061 frente a 1,167 g cm^{-3} ($p = 0,0516$).

En el componente químico, el pH fue significativamente menor en el área conservada, con 8,05 frente a 8,88 en el testigo ($p = 0,018$), aunque ambos suelos conservaron una reacción alcalina. La materia orgánica también presentó una diferencia significativa, con 1,66 dag kg^{-1} bajo conservación y 0,85 dag kg^{-1} en el testigo ($p = 0,032$). El aumento de esta propiedad puede relacionarse con la cobertura de alfalfa, la incorporación de residuos y la menor exposición del suelo a la erosión, debido a que la materia orgánica favorece la agregación, la retención de agua y el suministro de energía para los microorganismos (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

Respecto de los macronutrientes primarios evaluados, el potasio intercambiable presentó 899,77 mg dm^{-3} en conservación y 816,27 mg dm^{-3} en el testigo ($p = 0,273$), mientras que el fósforo disponible alcanzó 601,27 y 387,58 mg dm^{-3}, respectivamente ($p = 0,102$). Aunque los promedios fueron mayores en el área conservada, la variabilidad de los datos

impidió demostrar un efecto estadístico del manejo. Por tanto, estas diferencias deben interpretarse como tendencias descriptivas y no como incrementos ocasionados por las prácticas de conservación.

En los mesonutrientes o macronutrientes secundarios, el calcio registró 3,84 cmolc dm^{-3} en conservación y 3,59 cmolc dm^{-3} en el testigo ($p = 0,333$); el magnesio presentó 3,03 y 2,77 cmolc dm^{-3} ($p = 0,543$); y el azufre alcanzó 3,97 y 4,63 mg dm^{-3} ($p = 0,517$). Ninguno mostró diferencias significativas. Particularmente, el azufre presentó contenidos bajos en los dos sistemas, lo cual representa una posible limitación nutricional que debería verificarse mediante análisis complementarios antes de establecer recomendaciones de fertilización.

En los micronutrientes, el área conservada presentó valores numéricamente superiores de zinc, con 4,85 frente a 3,48 mg dm^{-3} ($p = 0,333$); hierro, con 18,07 frente a 15,18 mg dm^{-3} ($p = 0,426$); y manganeso, con 32,72 frente a 20,57 mg dm^{-3} ($p = 0,065$). Por el contrario, el cobre fue menor en conservación, con 1,85 frente a 2,18 mg dm^{-3} ($p = 0,099$), al igual que el boro, con 0,29 frente a 0,39 mg dm^{-3} ($p = 0,290$). Estas diferencias tampoco fueron significativas; por consiguiente, no existe evidencia suficiente para atribuirlas al manejo implementado. Además, el pH alcalino puede limitar la disponibilidad efectiva de hierro, zinc y manganeso, aun cuando sus concentraciones extraíbles sean elevadas.

En el componente biológico, el manejo de conservación presentó descriptivamente mayor biomasa microbiana, con 612 µg g^{-1} frente a 498 µg g^{-1} en el testigo, así como una mayor proporción bacteriana, con 71,5 % frente a 64,2 %. Estos resultados pueden relacionarse con el mayor contenido de materia orgánica y la menor perturbación del suelo. Sin embargo, no se aplicó una prueba de significancia a estas variables debido al número insuficiente de repeticiones biológicas, por lo que no debe afirmarse que las diferencias fueron estadísticamente significativas.

En consecuencia, el problema central de la investigación radicó en la falta de evidencia cuantitativa e integrada sobre la respuesta de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo al manejo de conservación establecido en la Terraza de Banco N.° 1. Los resultados demostraron respuestas favorables principalmente en la conductividad hidráulica, la materia orgánica y la reducción de la alcalinidad; no obstante, la estabilidad estadística del macro, meso y micronutrientes, así como la limitada replicación de los indicadores biológicos, evidencia la necesidad de mantener un monitoreo periódico. Esta

información resulta indispensable para diferenciar los cambios efectivamente asociados con el manejo de aquellas variaciones originadas por la heterogeneidad natural del suelo y para ajustar las prácticas de conservación a mediano y largo plazo.

5. OBJETIVOS

5.1. General

- Evaluación de los cambios de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con diferentes manejos de conservación en la terraza de banco N°1 en el Campus Salache.

5.2. Específicos

- Evaluar los cambios de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con diferentes manejos de conservación en el Campus Salache.
- Analizar las características físicas y químicas del suelo intervenido en múltiples manejos de conservación en una terraza agrícola.
- Medir la actividad biológica del suelo a través de indicadores, como la biomasa microbiana y la presencia de microorganismos relacionados a los distintos manejos de conservación.

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

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación con los objetivos planteados

CUADRO DE ACTIVIDADES			
OBJETIVOS	**ACTIVIDAD**	**RESULTADOS**	**MEDIO DE VERIFICACIÓN**
- Evaluar los cambios de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con diferentes manejos de	Análisis y explicación del área de investigación	Clasificación de las zonas de estudio basándose	Creación y diseño del mapa de ubicación de la zona de investigación
	Toma de muestras de suelo	Acopio de muestras del suelo de múltiples sistemas de conservación	Libro de campo

CUADRO DE ACTIVIDADES			
conservación en el Campus Salache.	Valoración de los indicadores físicos de las muestras	Densidad del terreno. Textura Porosidad	Tablas de correlación de los resultados. Gráficos y registros.
	Inspección de los indicadores químicos encontrados en las muestras.	PH del terreno Materia orgánica del suelo Fosforo accesible Calcio intercambiable Potasio intercambiable Magnesio que se puede intercambiar Acidez intercambiable (H +Al^{3+}) Adición de bases intercambiable Capacidad de intercambio catiónico potencial (CEC a pH 7.0) Índice de saturación Zinc disponible Hierro disponible Manganeso accesible Cobre disponible Boro disponible Azufre disponible	Tablas que contrastan los resultados Gráficos y anotaciones
-Analizar las características físicas y químicas del suelo intervenido en múltiples manejos de conservación en una terraza agrícola.	Muestreo aleatorio simple de suelos	Ejemplares de tierra de múltiples sistemas de conservación	Libro de campo
	Establecer indicadores biológicos	Biomasa microbiana (ug/g) %Fúngico Carbono de la masa de microorganismos Nitrógeno de la biomasa microbiana	Tablas comparativas que representa resultados Gráficas y registros

CUADRO DE ACTIVIDADES			
- Medir la actividad biológica del suelo a través de indicadores, como la biomasa microbiana y la presencia de microorganismos relacionados a los distintos manejos de conservación	Comprobaciones de significación para cada indicador	Evaluación estadística de la varianza y comparación de las medias en los indicadores estudiados.	Tabla de descripción.

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026).

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

El suelo es un cuerpo natural formado por la interacción del material parental, el clima, el relieve, los organismos y el tiempo. En Ecuador existe una gran diversidad edáfica debido a la presencia de la cordillera de los Andes, la actividad volcánica, los valles interandinos, las planicies costeras, la Amazonía húmeda y las islas Galápagos. Estas condiciones originan suelos con diferentes grados de desarrollo, fertilidad, profundidad, contenido de materia orgánica, drenaje y susceptibilidad a la erosión. El INIAP señala que el suelo está constituido por una fase sólida mineral y orgánica, además de poros ocupados por agua y aire, cuya proporción determina parte de su comportamiento físico, químico y biológico (Valverde et al., 2007).

Es importante diferenciar entre orden de suelo y textura del suelo. El orden corresponde a una categoría de la Taxonomía de Suelos del USDA y se determina mediante el desarrollo del perfil, los horizontes diagnósticos y los procesos de formación. La textura, en cambio, se establece únicamente con los porcentajes de arena, limo y arcilla. Por ello, un Andisol, Inceptisol o Mollisol puede presentar textura franca, franco-arenosa, franco-arcillosa u otra clase textural (Soil Survey Staff, 2014).

La cartografía elaborada por el Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica identifica diez órdenes principales en el territorio

continental ecuatoriano: Alfisoles, Andisoles, Aridisoles, Entisoles, Histosoles, Inceptisoles, Mollisoles, Oxisoles, Ultisoles y Vertisoles. Esta clasificación se fundamenta en el sistema Soil Taxonomy del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (SIGTIERRAS, 2017).

Los Alfisoles son suelos minerales relativamente desarrollados que presentan acumulación de arcilla en el subsuelo y una saturación moderada o alta de bases. Estas condiciones pueden proporcionar una fertilidad natural favorable; sin embargo, su productividad depende del contenido de materia orgánica, la disponibilidad de agua y las prácticas de manejo. En Ecuador pueden presentarse en determinados sectores de la Costa y de los valles interandinos, especialmente donde existe una alternancia entre épocas húmedas y secas (SIGTIERRAS, 2017).

Los Andisoles se forman principalmente a partir de cenizas, vidrios y otros materiales volcánicos. Generalmente presentan baja densidad aparente, elevada porosidad, buena capacidad de retención de agua y abundancia de minerales de baja cristalinidad. Estos suelos tienen gran importancia en la Sierra ecuatoriana debido a la actividad volcánica de los Andes. No obstante, pueden presentar elevada acidez y una fuerte retención de fósforo, lo que disminuye la disponibilidad de este nutriente para los cultivos. En Ecuador, los Andisoles se distribuyen principalmente en la Sierra centro-norte y en zonas húmedas de las estribaciones andinas (Cargua-Chávez et al., 2025).

Los Aridisoles se desarrollan en ambientes secos, donde la precipitación es insuficiente para eliminar las sales y los carbonatos acumulados en el perfil. Suelen presentar bajo contenido de materia orgánica, limitada disponibilidad de agua y posibles problemas de salinidad o alcalinidad. En Ecuador pueden encontrarse en áreas áridas y semiáridas de la Costa y en algunos valles interandinos secos. Su uso agrícola requiere un manejo eficiente del riego, del drenaje y de la fertilización.

Los Entisoles son suelos jóvenes que presentan escaso desarrollo de horizontes. Se forman sobre depósitos recientes, materiales aluviales, laderas erosionadas, riberas de ríos y superficies donde los procesos de pérdida o acumulación de materiales impiden el desarrollo completo del perfil. Pueden presentar texturas y niveles de fertilidad muy variables, debido a que sus características dependen principalmente del material parental y de las condiciones del sitio.

Los Histosoles están constituidos por una elevada cantidad de materiales orgánicos acumulados bajo condiciones de saturación de agua, bajas temperaturas o descomposición lenta. Se encuentran asociados con pantanos, humedales y determinados sectores de páramo. Estos suelos almacenan cantidades importantes de carbono y agua, pero pueden degradarse rápidamente cuando se drenan, se queman o se someten a actividades agrícolas intensivas.

Los Inceptisoles presentan un desarrollo pedogenético inicial o moderado. Poseen horizontes más diferenciados que los Entisoles, pero no alcanzan el grado de evolución de otros órdenes. Se encuentran ampliamente distribuidos en el territorio ecuatoriano y pueden aparecer en laderas, piedemontes, terrazas, valles y zonas aluviales. Sus propiedades dependen del material de origen, la pendiente, la humedad y el uso del suelo.

Los Mollisoles se caracterizan por presentar un horizonte superficial oscuro, relativamente profundo, con acumulación de materia orgánica y una alta saturación de bases. Generalmente poseen buenas condiciones de fertilidad y estructura, por lo que pueden presentar una elevada aptitud agrícola. En Ecuador pueden encontrarse en algunos valles interandinos, áreas de pastizales y sectores donde la vegetación herbácea ha favorecido la incorporación de materia orgánica al suelo.

Los Oxisoles son suelos altamente meteorizados y evolucionados, propios de ambientes cálidos y húmedos. Presentan predominio de óxidos de hierro y aluminio, colores rojizos o amarillentos y una baja reserva natural de nutrientes. En Ecuador se encuentran principalmente en determinados sectores de la región Amazónica, donde las altas precipitaciones y temperaturas favorecen la lixiviación y la meteorización intensa.

Los Ultisoles son suelos meteorizados, generalmente ácidos y con baja saturación de bases. Presentan acumulación de arcilla en el subsuelo y pueden contener cantidades elevadas de aluminio intercambiable, elemento que puede limitar el crecimiento de las plantas. Se distribuyen principalmente en regiones húmedas de la Amazonía, la Costa y las estribaciones de los Andes. Su manejo agrícola suele requerir la incorporación de materia orgánica, fertilización y, cuando la acidez es elevada, la aplicación de enmiendas calcáreas.

Los Vertisoles poseen una elevada proporción de arcillas expansivas. Durante las épocas húmedas estas arcillas absorben agua y aumentan de volumen, mientras que en periodos secos se contraen y forman grietas profundas. Aunque pueden presentar una fertilidad

química relativamente alta, sus características físicas dificultan el drenaje y el laboreo. Se encuentran principalmente en terrenos planos o depresiones donde existe acumulación de materiales arcillosos.

El triángulo textural permite establecer la clase de textura de un suelo a partir de la proporción porcentual de arena, limo y arcilla, cuyos valores deben sumar 100 %. La arena representa la fracción de mayor tamaño y favorece el drenaje y la aireación; el limo presenta un tamaño intermedio y contribuye a la retención de humedad; mientras que la arcilla corresponde a la fracción más fina y participa en la retención de agua y nutrientes. La interacción de estas tres fracciones origina doce clases texturales, desde los suelos arenosos hasta los arcillosos. La textura constituye una propiedad física relativamente estable y debe interpretarse juntamente con la estructura, porosidad, densidad aparente, materia orgánica y demás indicadores de calidad del suelo (Soil Survey Staff, 2017).

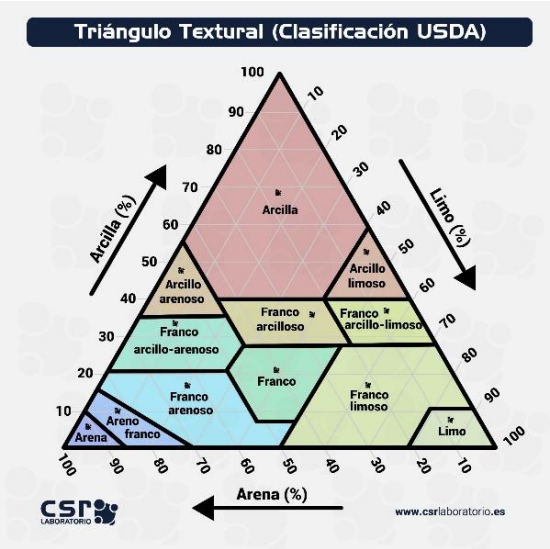

Figura 1. Triángulo textural para la clasificación USDA del suelo
Fuente: Soil Survey Staff (2017).

Fracciones minerales representadas

La arena corresponde a partículas con diámetros comprendidos aproximadamente entre 2,00 y 0,05 mm. Son partículas relativamente grandes, perceptibles al tacto y responsables de una mayor aireación y movimiento rápido del agua. Los suelos muy arenosos suelen presentar infiltración rápida, pero menor capacidad de almacenamiento de humedad y nutrientes.

El limo está constituido por partículas con diámetros entre 0,05 y 0,002 mm. Posee un tamaño intermedio y una sensación suave o harinosa. Los suelos con alto contenido de

limo pueden almacenar más agua que los arenosos, pero son susceptibles al sellado superficial, la formación de costras y la erosión cuando permanecen descubiertos.

La arcilla comprende partículas menores de 0,002 mm. Debido a su reducido tamaño y elevada superficie específica, contribuye a la retención de agua y nutrientes. Sin embargo, cuando se encuentra en proporciones elevadas puede ocasionar drenaje lento, escasa aireación, elevada plasticidad y dificultad para trabajar el suelo cuando está muy húmedo o seco (Soil Survey Staff, 2017).

Lectura de los ejes del triángulo en el lado izquierdo de la imagen se encuentra la escala de arcilla. Su porcentaje aumenta desde la base hasta alcanzar 100 % en el vértice superior.

En el lado derecho se encuentra la escala de limo. Su porcentaje aumenta hacia el vértice inferior derecho, donde alcanza 100 %.

En la base se encuentra la escala de arena. En esta escala, el porcentaje aumenta desde el extremo inferior derecho hacia el extremo inferior izquierdo, donde alcanza 100 %.

Para clasificar una muestra se deben conocer al menos dos de los tres porcentajes, puesto que el tercero puede obtenerse mediante la diferencia con respecto a 100. Posteriormente se trazan líneas paralelas a los lados correspondientes del triángulo. El punto donde se interceptan las tres líneas determina la clase textural (USDA-NRCS, 2026).

Clases texturales:

- Areno franco.
- Franco arenoso.
- Franco.
- Franco limoso.
- Limo.
- Franco arcillo-arenoso.
- Franco arcilloso.
- Franco arcillo-limoso.
- Arcillo arenoso.

- Arcillo limoso.
- Arcilla.

Las clases ubicadas hacia el extremo inferior izquierdo presentan predominio de arena. Las situadas hacia el extremo inferior derecho tienen mayor proporción de limo. Las clases superiores poseen mayor contenido de arcilla. La zona central corresponde a las texturas francas, donde ninguna de las tres fracciones domina completamente el comportamiento del suelo.

Los suelos arenosos facilitan la aireación, el drenaje y el crecimiento de las raíces, pero pierden agua y nutrientes con mayor rapidez. Los suelos limosos almacenan agua de manera favorable, aunque pueden erosionarse y compactarse superficialmente. Los suelos arcillosos retienen más agua y nutrientes, pero pueden presentar drenaje deficiente y dificultades de laboreo. Las texturas francas suelen considerarse equilibradas para la agricultura, aunque su calidad final también depende de la estructura, densidad aparente, porosidad, materia orgánica, pH, nutrientes y actividad biológica.

Por tanto, la imagen permite conocer la textura, pero no determina por sí sola si un suelo es fértil, degradado o adecuado para un cultivo. Dos suelos con la misma textura pueden comportarse de manera diferente cuando presentan distinta estructura, contenido de materia orgánica, compactación, profundidad o manejo.

7.1 Suelo y calidad del suelo

El suelo es un cuerpo natural organizado y dinámico formado por minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos. Su funcionamiento depende de la interacción entre estos componentes y de la capacidad para sostener la productividad biológica, regular el agua, almacenar y suministrar nutrientes, transformar residuos y mantener la biodiversidad. La calidad o salud del suelo se entiende como su capacidad continua para cumplir dichas funciones dentro de los límites de un ecosistema y un uso determinados (Dazzi y Lo Papa, 2022; Lehmann et al., 2020).

La evaluación de la calidad del suelo requiere indicadores sensibles al manejo, medibles y relacionados con funciones edáficas. En esta investigación se analizaron indicadores físicos, químicos y biológicos porque su interpretación conjunta permite reconocer limitaciones de compactación, infiltración, fertilidad y actividad microbiana que no serían evidentes mediante una sola variable (Bünemann et al., 2018).

Para integrar los indicadores físicos, químicos y biológicos se propone asignar a cada variable una puntuación de 0 a 2:

Tabla 2. Escala de puntuación de los indicadores de calidad del suelo

Puntuación	**Estado del indicador**	**Interpretación**
0	Desfavorable	Presenta una limitación importante para el funcionamiento del suelo
1	Intermedio	Presenta una condición moderada o una limitación leve
2	Favorable	Se encuentra dentro de un intervalo adecuado o sin limitación evidente

Fuente: Bünemann et al. (2018) y Lehmann et al. (2020).

Tabla 3. Escala del índice de calidad del suelo

Valor del ICS	**Calidad del suelo**
0,00–0,20	Muy baja
>0,20–0,40	Baja
>0,40–0,60	Media
>0,60–0,80	Alta
>0,80–1,00	Muy alta

Fuente: Bünemann et al. (2018) y Lehmann et al. (2020).

Los conceptos generales de calidad, degradación, conservación, suelos de montaña y terrazas, se evalúan mediante índices o fichas de observación (Bünemann et al., 2018).

7.2 Suelos degradados

Un suelo degradado es aquel cuya capacidad para prestar servicios ecosistémicos ha disminuido por procesos naturales o antrópicos. La degradación puede ser física, química

y biológica, y sus componentes suelen actuar de manera simultánea. La erosión elimina la capa superficial y las partículas finas; la compactación reduce la continuidad de los poros; la pérdida de materia orgánica debilita los agregados y el suministro de nutrientes; y la disminución de la biomasa microbiana limita la descomposición y el ciclado de elementos. A escala mundial, estas amenazas afectan una proporción importante de los suelos y requieren medidas de manejo sostenible, (FAO e ITPS, 2015).

El grado de degradación puede obtenerse de manera inversa al índice de calidad:

Tabla 4. Grado de degradación según el índice de calidad del suelo

Grado	**Valor del ICS**	**Nivel de degradación**	**Características generales**
0	>0,80–1,00	Sin degradación o muy baja	Indicadores favorables y ausencia de limitaciones importantes
1	>0,60–0,80	Ligera	Alteraciones leves en uno o varios indicadores
2	>0,40–0,60	Moderada	Limitaciones físicas, químicas o biológicas claramente identificables
3	>0,20–0,40	Alta	Varias propiedades presentan condiciones desfavorables
4	0,00–0,20	Muy alta	Compactación, desequilibrios químicos, baja materia orgánica o deterioro biológico severo

Fuente: FAO e ITPS (2015) y Bünemann et al. (2018).

Tabla 5. Indicadores utilizados para interpretar los tipos de degradación

Tipo de degradación	**Indicadores para medirla**
Física	Densidad aparente, porosidad, conductividad hidráulica, estructura, costras y erosión
Química	pH, materia orgánica, P, K, Ca, Mg, micronutrientes, H + Al, suma de bases, CIC y saturación de bases
Biológica	Biomasa microbiana y proporciones bacteriana y fúngica

Fuente: FAO e ITPS (2015) y Dhakal et al. (2022).

7.2.1 Degradación física

La degradación física comprende la erosión, el sellado superficial, la compactación, la pérdida de estructura y las alteraciones del régimen hídrico. Se reconoce mediante incrementos de densidad aparente, disminución de porosidad y conductividad hidráulica, formación de costras, escorrentía y pérdida de partículas finas. Estas alteraciones restringen el crecimiento radicular, la aireación y el almacenamiento de agua (FAO e ITPS, 2015).

7.2.2 Degradación química

La degradación química incluye la pérdida de materia orgánica y nutrientes, la acidificación o alcalinización excesiva, la salinización, la sodificación y la contaminación. Sus efectos se reflejan en la disponibilidad de macro y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y el equilibrio de bases. Un valor elevado de un nutriente no siempre implica mayor fertilidad, porque su aprovechamiento depende del pH, de las relaciones entre cationes y del método de extracción utilizado (FAO e ITPS, 2015).

7.2.3 Degradación biológica

La degradación biológica se manifiesta por la disminución de la biomasa, diversidad y actividad de los organismos del suelo. La reducción de sustratos orgánicos, la erosión, la compactación y las condiciones extremas de pH afectan la comunidad microbiana y disminuyen procesos como la mineralización, la formación de agregados y la transformación de nutrientes (Dhakal et al., 2022).

7.3 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas describen la proporción y organización de las partículas y los poros, así como el movimiento del agua y el aire. En el estudio se evaluaron arena, limo, arcilla, densidad aparente, porosidad y conductividad hidráulica, siguiendo el mismo orden utilizado en el capítulo de resultados (FAO e ITPS, 2015).

7.3.1 Textura del suelo: arena, limo y arcilla

La textura es la proporción relativa de arena, limo y arcilla presente en la fracción de tierra fina menor de 2 mm. Es una propiedad relativamente permanente, determinada por el material parental y la evolución del suelo; por ello, las prácticas de manejo no transforman rápidamente una clase textural. No obstante, la erosión selectiva puede remover arcilla y limo de la superficie, mientras que una cobertura conservacionista puede contribuir a retener esas partículas. La clase textural se determina con el triángulo textural a partir de la combinación de los tres porcentajes, que deben aproximarse al 100 % (FAO, 2006; USDA-NRCS, 2017).

Tabla 6. Escala granulométrica de las fracciones minerales del suelo

Fracción	Diámetro equivalente	Comportamiento predominante	Implicación agronómica
Arena	2,00–0,05 mm	Partículas grandes; macroporos y drenaje rápido	Buena aireación, pero menor retención de agua y nutrientes
Limo	0,05–0,002 mm	Partículas intermedias; susceptible a sellado y erosión	Retención media de agua; baja estabilidad cuando predomina
Arcilla	<0,002 mm	Alta superficie específica y microporos	Mayor retención de agua y cationes; exceso puede limitar aireación

Fuente: FAO (2006) y USDA-NRCS (2017).

La arena favorece la infiltración y la aireación, pero presenta baja capacidad de retención. El limo almacena más agua que la arena, aunque puede dispersarse y formar costras. La arcilla contribuye a la retención de agua y nutrientes por su elevada superficie específica; sin embargo, cuando predomina y la estructura es deficiente puede reducir la permeabilidad. La interpretación correcta debe considerar simultáneamente las tres fracciones y no clasificarlas de manera aislada como “bajas”, “medias” o “altas”.

7.3.2 Estructura del suelo

La estructura es la forma en que las partículas primarias se agrupan en agregados o unidades estructurales. Se describe por el tipo, tamaño y grado de desarrollo de los agregados. A diferencia de la textura, la estructura es dinámica y puede mejorar con materia orgánica, raíces, microorganismos y menor perturbación, o deteriorarse por laboreo intenso, impacto de lluvia, compactación y sodicidad (FAO, 2006; Brady y Weil, 2016).

Tabla 7. Tipos de estructura del suelo, ventajas y limitaciones

Tipo de estructura	Características	Ventajas	Desventajas o limitaciones
Granular o migajosa	Agregados pequeños y redondeados; común en el horizonte superficial	Buena infiltración, aireación y crecimiento radicular	Puede perderse por laboreo excesivo o baja materia orgánica
Bloques subangulares o angulares	Agregados con caras planas o ligeramente redondeadas	Retención de agua moderada y soporte estructural	Bloques grandes y fuertes dificultan raíces y movimiento de agua
Prismática o columnar	Unidades verticales alargadas	Puede favorecer flujo vertical por grietas	La forma columnar suele asociarse con sodicidad y baja permeabilidad interna
Laminar	Placas horizontales delgadas	Puede reducir evaporación en algunos horizontes	Restringe infiltración, aireación y penetración radicular
Masiva o grano simple	Sin agregados; masa continua o partículas sueltas	Grano simple facilita drenaje en arenas	La estructura masiva restringe raíces; el grano simple retiene poca agua

Fuente: FAO (2006) y Brady y Weil (2016).

En sistemas de conservación se espera una estructura superficial más estable debido al aporte de residuos, la acción de las raíces y la formación de bioporos. Sin embargo, en esta investigación la estructura no fue medida directamente; por tanto, sus posibles cambios se interpretan mediante indicadores relacionados, como densidad aparente, porosidad y conductividad hidráulica (FAO, 2006; Brady y Weil, 2016).

Tabla 8. Escala visual de la condición estructural del suelo

Puntuación	Condición estructural	Características
0	Deficiente	Estructura masiva o laminar, costras, terrones grandes y duros, pocas raíces y poros.
1	Moderada	Bloques medianos, agregación parcial, presencia intermedia de raíces y poros.
2	Buena	Estructura granular o migajosa, agregados pequeños y estables, abundantes raíces y bioporos.

Fuente: FAO (2006) y Bünemann et al. (2018).

7.3.3 Densidad aparente

La densidad aparente es la relación entre la masa de suelo seco y el volumen total ocupado, incluidos los poros, y se expresa en g cm^{-3}. Valores elevados indican mayor compactación y menor espacio para agua, aire y raíces. Su interpretación depende de la textura: un mismo valor puede ser restrictivo en un suelo arcilloso y aceptable en uno arenoso. La incorporación de materia orgánica y la reducción de la perturbación suelen disminuirla progresivamente (FAO, 2006; USDA-NRCS, 2017).

La densidad aparente debe interpretarse de acuerdo con la textura, porque los suelos arcillosos presentan límites restrictivos menores que los arenosos.

Tabla 9. Límites de densidad aparente según la textura

Textura	Ideal para crecimiento vegetal, g cm^{-3}	Afecta el crecimiento radicular, g cm^{-3}	Restringe el crecimiento radicular, g cm^{-3}
Arena y arena franca	<1,60	1,69	>1,80
Franco-arenosa y franca	<1,40	1,63	>1,80
Franco-arcillo-arenosa y franco-arcillosa	<1,40	1,60	>1,75
Limosa y franco-limosa	<1,40	1,60	>1,75
Franco-limosa y franco-arcillo-limosa	<1,40	1,55	>1,65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa y algunas franco-arcillosas	<1,10	1,49	>1,58
Arcillosa, con más de 45 % de arcilla	<1,10	1,39	>1,47

Fuente: USDA-NRCS (2017).

7.3.4 Porosidad

La porosidad total es la fracción del volumen del suelo ocupada por poros y puede expresarse en $cm^3\ cm^{-3}$ o en porcentaje. Los macroporos facilitan la infiltración, el drenaje y la aireación, mientras que los microporos participan principalmente en la retención de agua. Dos suelos con igual porosidad total pueden comportarse de manera distinta si difieren la distribución, el tamaño y la conectividad de sus poros (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

En la presente investigación, el sistema con manejo de conservación registró una porosidad de 0,573 $cm^3\ cm^{-3}$, equivalente a 57,3 %, mientras que el área testigo presentó 0,564 $cm^3\ cm^{-3}$, correspondiente a 56,4 %. Ambos valores superaron ligeramente la referencia general de 50 %, por lo que evidencian una proporción favorable de espacios porosos para el almacenamiento de agua y el intercambio de aire. No obstante, la diferencia entre los sistemas fue de apenas 0,009 $cm^3\ cm^{-3}$, equivalente a 0,9 puntos porcentuales, y no resultó estadísticamente significativa ($p = 0,618$). Por tanto, no se puede afirmar que el manejo de conservación incrementó la porosidad total; únicamente se observó una diferencia numérica leve respecto del testigo (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

La ausencia de diferencias significativas indica que ambos sistemas presentaron una condición semejante en cuanto al volumen total de poros. Sin embargo, este resultado no descarta cambios en la distribución de macroporos y microporos, puesto que dos suelos con porosidades totales similares pueden mostrar diferencias en infiltración, drenaje, aireación y retención de agua. Por esta razón, la porosidad debe analizarse juntamente con la densidad aparente y la conductividad hidráulica, ya que una mayor densidad suele asociarse con menor espacio poroso y mayores limitaciones para el movimiento del agua, el aire y las raíces (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

Tabla 10. Escala orientativa de porosidad total

Porosidad total	**Interpretación**
<40 %	Baja; posible compactación
40–50 %	Moderada
>50–60 %	Favorable para un suelo mineral superficial

>60 %	Muy alta; revisar textura, materia orgánica y distribución de poros

Fuente: USDA-NRCS (2017).

7.3.5 Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica expresa la facilidad con la que el agua se desplaza a través del suelo y, en este estudio, se reportó en mm h^{-1}. Está controlada por la textura, la estructura, la continuidad de los macroporos, la humedad y la compactación. Una conductividad muy baja favorece encharcamiento y escorrentía; una conductividad moderada o alta, acompañada de cobertura vegetal, mejora la infiltración y reduce la erosión (Reynolds y Elrick, 2021).

En la presente investigación, el sistema con manejo de conservación registró una conductividad hidráulica de 23,08 mm h^{-1}, mientras que el área testigo presentó 17,02 mm h^{-1}. De acuerdo con la escala anterior, ambos valores se encuentran dentro del intervalo de 3,60 a menos de 36,00 mm h^{-1}, por lo que los dos sistemas se clasifican con una conductividad hidráulica moderadamente alta. Por tanto, no sería correcto clasificar al sistema de conservación como alto y al testigo como bajo, debido a que ambos pertenecen a la misma categoría.

A pesar de encontrarse en la misma clase, el sistema de conservación presentó una conductividad hidráulica mayor que el testigo y la diferencia fue estadísticamente significativa, con $p = 0,0002$. Esto demuestra que el manejo de conservación estuvo asociado con una mayor facilidad para el movimiento del agua a través del suelo. La clasificación por rangos describe la condición general de cada suelo, mientras que la prueba estadística permite determinar que las medias de los dos sistemas fueron diferentes; por ello, ambos resultados no son contradictorios.

La mayor conductividad hidráulica observada en el sistema de conservación puede relacionarse con una mejor continuidad de los poros, la presencia de raíces de alfalfa, la actividad de organismos del suelo y la menor alteración de los canales naturales. Los sistemas de conservación pueden favorecer la formación y permanencia de macroporos verticales, lo que incrementa la infiltración y disminuye la circulación superficial del agua; sin embargo, la respuesta depende de la textura, el tiempo de manejo y las condiciones particulares del suelo (Buczko et al., 2006).

Se utilizó la clasificación de la conductividad hidráulica saturada del USDA-NRCS, expresada en milímetros por hora:

Tabla 11. Clases de conductividad hidráulica saturada

Conductividad hidráulica	**Clasificación**
<0,036 mm h^{-1}	Muy baja
0,036–<0,36 mm h^{-1}	Baja
0,36–<3,60 mm h^{-1}	Moderadamente baja
3,60–<36,00 mm h^{-1}	Moderadamente alta
36,00–<360,00 mm h^{-1}	Alta
≥360,00 mm h^{-1}	Muy alta

Fuente: USDA-NRCS (2017).

7.4 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo comprenden las características relacionadas con su reacción, la cantidad de materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de las partículas minerales y orgánicas para retener e intercambiar iones. Entre los principales indicadores se encuentran el pH, la materia orgánica, el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio, el azufre, los micronutrientes, la acidez potencial, la suma de bases, la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases. Estas variables permiten reconocer limitaciones de fertilidad, acumulación de nutrientes, alcalinidad, acidificación y desequilibrios entre cationes (Sobral et al., 2015).

Las propiedades químicas no deben interpretarse mediante una sola escala general, debido a que cada indicador presenta una unidad y rangos de clasificación diferentes. El pH se expresa sin unidad y se clasifica desde condiciones extremadamente ácidas hasta muy fuertemente alcalinas; la materia orgánica se expresa en dag kg^{-1} o porcentaje; el fósforo, potasio, azufre y los micronutrientes se reportan generalmente en mg dm^{-3}; mientras que el calcio, magnesio, acidez potencial, suma de bases y capacidad de intercambio catiónico se expresan en cmolc dm^{-3}. La saturación de bases se expresa en porcentaje. Por esta razón, en los apartados siguientes se debe presentar una escala específica para cada propiedad evaluada.

Tabla 12. Variables químicas evaluadas, unidades y forma de interpretación

Variable	**Unidad empleada**	**Forma de interpretación**
pH	Sin unidad	Desde muy ácido hasta muy alcalino
Materia orgánica	dag kg^{-1}	Baja, media o alta
P, K y S	mg dm^{-3}	Bajo, medio o alto, según el método
Zn, Fe, Mn, Cu y B	mg dm^{-3}	Bajo, medio o alto, según el extractante
Ca y Mg	cmolc dm^{-3}	Bajo, medio o alto
H + Al	cmolc dm^{-3}	Reserva de acidez potencial
Suma de bases	cmolc dm^{-3}	Cantidad total de cationes básicos
CIC	cmolc dm^{-3}	Capacidad para retener e intercambiar cationes
Saturación de bases	%	Proporción de la CIC ocupada por bases

Fuente: Havlin et al. (2014).

El pH es una de las propiedades más importantes porque regula la solubilidad de los nutrientes, la actividad de los microorganismos y las reacciones de adsorción y precipitación. En condiciones alcalinas disminuye principalmente la disponibilidad de hierro, zinc, manganeso y, en determinadas condiciones, fósforo. Por ello, una concentración analítica elevada de un nutriente no significa necesariamente que este se encuentre completamente disponible para las plantas. La disponibilidad final depende de la reacción del suelo, de las relaciones entre nutrientes y de la forma química en la que se encuentra cada elemento (Sobral et al., 2015).

La capacidad de intercambio catiónico —CIC— representa la cantidad de cationes que el suelo puede retener de manera intercambiable. Esta propiedad se encuentra relacionada principalmente con la cantidad y el tipo de arcilla y con la materia orgánica. Los suelos con mayor CIC poseen, en términos generales, una mayor capacidad para retener calcio, magnesio, potasio y otros cationes frente a la lixiviación. Sin embargo, la CIC debe analizarse junto con el pH, la suma de bases, la acidez potencial y la saturación de bases, debido a que una CIC elevada no permite conocer por sí sola cuáles cationes predominan en el complejo de intercambio. La FAO define la CIC como la cantidad máxima de cationes que el suelo puede retener a un pH determinado y mantener disponibles para el intercambio con la solución del suelo.

En la presente investigación se evaluaron el pH, la materia orgánica, el potasio, el fósforo, el calcio, el magnesio, el azufre, el zinc, el hierro, el manganeso, el cobre, el boro, la acidez potencial, la suma de bases, la capacidad de intercambio catiónico y la saturación de bases. Los resultados fueron comparados entre el sistema con manejo de conservación y el área testigo mediante la prueba t, con un nivel de significancia del 5 %.

El pH fue una de las propiedades químicas que respondió significativamente al manejo. El sistema de conservación registró un valor de 8,05, mientras que el testigo presentó 8,88. Según la escala de reacción del suelo, el primer valor corresponde a una condición moderadamente alcalina y el segundo a una condición fuertemente alcalina. La diferencia fue estadísticamente significativa, lo que evidencia que el suelo bajo conservación presentó menor alcalinidad; sin embargo, ambos valores permanecieron por encima del intervalo neutro.

La materia orgánica también mostró una respuesta significativa. El sistema de conservación registró 1,66 dag kg^{-1}, correspondiente a un nivel medio según la escala utilizada, mientras que el testigo presentó 0,85 dag kg^{-1}, clasificado como bajo. Esta diferencia indica que la cobertura de alfalfa, el aporte de residuos vegetales y la menor exposición de la superficie pudieron favorecer la acumulación o conservación de materia orgánica. Esta propiedad contribuye a la retención de agua, la agregación, la capacidad de intercambio catiónico y el suministro de energía para los microorganismos (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

7.4.1 pH del suelo

El pH mide la actividad de los iones hidrógeno y expresa el grado de acidez o alcalinidad. Regula la solubilidad de nutrientes, la actividad microbiana y las reacciones de adsorción. Valores superiores a 7,5 indican alcalinidad y pueden reducir la disponibilidad de fósforo, hierro, zinc y manganeso. El pH regula la solubilidad de los nutrientes, la actividad microbiana y numerosas reacciones de adsorción y precipitación. En condiciones alcalinas puede reducirse especialmente la solubilidad del fósforo, hierro, zinc y manganeso, aun cuando el análisis reporte contenidos elevados (Soil Survey Staff, 2024; USDA-NRCS, 2021).

Tabla 13. Escala de reacción del suelo según el pH

Intervalo de pH	**Clasificación**
6,6–7,3	Neutro
7,4–7,8	Ligeramente alcalino
7,9–8,4	Moderadamente alcalino
8,5–9,0	Fuertemente alcalino
>9,0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: USDA-NRCS (2017).

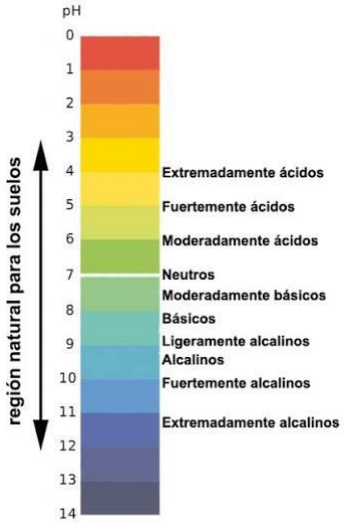

Figura 2. PH del suelo
Fuente: Soil Survey Staff (2017).

El manejo de conservación presentó un pH de 8,05, por lo que se clasifica como moderadamente alcalino; mientras que el testigo registró 8,88, correspondiente a una reacción fuertemente alcalina. La diferencia fue significativa ($p = 0,018$), lo que demuestra que el suelo con conservación fue menos alcalino. Sin embargo, los dos sistemas permanecieron por encima del intervalo neutro, por lo que la alcalinidad continúa siendo una limitación química que puede reducir la disponibilidad efectiva de algunos nutrientes (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

7.4.2 Materia orgánica del suelo

La materia orgánica comprende residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, biomasa viva y sustancias humificadas. Contribuye a la formación y

estabilidad de agregados, aumenta la retención de agua y cationes, suministra nutrientes durante la mineralización y constituye la principal fuente de energía para los microorganismos. Por esta razón, se considera uno de los indicadores más sensibles de calidad del suelo y de respuesta a los sistemas de conservación (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

Tabla 14. Escala de materia orgánica del suelo

Materia orgánica, dag kg^{-1}	**Clasificación**
<1,50	Baja
1,50–3,00	Media
>3,00	Alta

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó 1,66 dag kg^{-1}, por lo que se ubica en el nivel medio, mientras que el testigo registró 0,85 dag kg^{-1}, clasificado como bajo. La diferencia fue significativa ($p = 0,032$), lo que evidencia una condición favorable en el área conservada. Este comportamiento puede relacionarse con la cobertura de alfalfa, el aporte de residuos vegetales y la menor exposición de la superficie a la erosión (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

7.4.3 Potasio intercambiable

El potasio intercambiable corresponde a la fracción de K^+ retenida electrostáticamente en las superficies de las arcillas y de la materia orgánica, desde donde puede pasar a la solución del suelo. Participa en la regulación osmótica, la apertura estomática, la activación enzimática y la tolerancia de las plantas al estrés. Su interpretación depende de la mineralogía, de la capacidad de intercambio catiónico y del método de extracción utilizado (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

Tabla 15. Escala de potasio extraído mediante Mehlich-1

Potasio, mg dm^{-3}	**Clasificación**
≤15	Muy bajo

Potasio, mg dm^{-3}	Clasificación
16–40	Bajo
41–70	Medio
71–120	Alto
>120	Muy alto

Fuente: de EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó 899,77 mg dm^{-3} y el testigo 816,27 mg dm^{-3}. Ambos resultados superan ampliamente los 120 mg dm^{-3}, por lo que se clasifican como muy altos, siempre que el laboratorio haya utilizado Mehlich-1. La diferencia no fue significativa ($p = 0,273$); por consiguiente, no se puede afirmar que el manejo de conservación incrementó el potasio. Los contenidos elevados deben considerarse antes de recomendar fertilización potásica, con el fin de evitar aplicaciones innecesarias y posibles desequilibrios con calcio y magnesio (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

7.4.4 Fósforo disponible

El fósforo disponible representa la fracción extraída químicamente que se utiliza como estimación del P potencialmente aprovechable por las plantas. Interviene en la transferencia de energía, el desarrollo radicular, la formación de membranas y los procesos reproductivos. En suelos alcalinos puede reaccionar con calcio y formar compuestos de menor solubilidad; por ello, una concentración extraíble elevada no garantiza que todo el fósforo esté disponible para las raíces (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

Tabla 16. Escala de fósforo para suelos con menos de 15 % de arcilla

Fósforo, mg dm^{-3}	Clasificación
0–6,0	Muy bajo
6,1–12,0	Bajo
12,1–18,0	Medio

Fósforo, mg dm^{-3}	Clasificación
18,1–25,0	Adecuado
>25,0	Alto

. Adaptado de EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación registró 601,27 mg dm^{-3} y el testigo 387,58 mg dm^{-3}. Los dos valores se encuentran ampliamente por encima de 25 mg dm^{-3} y, por tanto, corresponden a contenidos muy elevados respecto de la escala de referencia. Sin embargo, la diferencia entre los sistemas no fue significativa ($p = 0,102$) debido a la elevada variabilidad de los resultados. Antes de mantener esta clasificación debe verificarse la unidad y el extractante utilizado por el laboratorio, porque una escala desarrollada para Mehlich-1 no es válida para Olsen, resina u otro procedimiento (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

7.4.5 Calcio intercambiable

El calcio intercambiable es un catión esencial para la estabilidad de membranas, paredes celulares y agregados. En el suelo contribuye a la floculación de arcillas y al equilibrio del complejo de intercambio. El calcio intercambiable es la fracción de Ca^{2+} retenida en el complejo de intercambio. En las plantas participa en la formación de paredes celulares y en la estabilidad de las membranas; en el suelo favorece la floculación de las arcillas y la estabilidad de los agregados. Su interpretación debe realizarse junto con el pH, la CIC y las proporciones de magnesio, potasio y sodio (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

Tabla 17. Escala de calcio intercambiable

Calcio, cmolc dm^{-3}	Clasificación
<1,60	Bajo
1,60–3,00	Medio
>3,00	Alto

Adaptado de EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó 3,84 cmolc dm^{-3} y el testigo 3,59 cmolc dm^{-3}. De acuerdo con esta escala, los dos sistemas poseen contenidos altos de calcio. La diferencia no fue significativa (p = 0,333), por lo que el calcio se mantuvo estadísticamente estable y no puede afirmarse que el manejo de conservación lo haya incrementado. Con esta escala, los resultados no deben denominarse “medios”, sino altos (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

7.4.6 Magnesio intercambiable

El magnesio intercambiable corresponde al Mg^{2+} retenido en los sitios de intercambio. Es el átomo central de la molécula de clorofila y participa en la activación enzimática y en el metabolismo del fósforo. Su disponibilidad depende de la CIC y de la competencia con calcio y potasio

Tabla 18. Escala de magnesio intercambiable

Magnesio, cmolc dm^{-3}	**Clasificación**
<0,40	Bajo
0,40–1,00	Medio
>1,00	Alto

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación alcanzó 3,03 cmolc dm^{-3} y el testigo 2,77 cmolc dm^{-3}. Ambos contenidos se clasifican como altos. La diferencia no fue significativa (p = 0,543), lo que indica que el magnesio permaneció estable entre los sistemas y que la diferencia numérica observada no puede atribuirse al manejo de conservación.

7.4.7 Azufre disponible

El azufre disponible se encuentra principalmente en forma de sulfato y participa en la formación de aminoácidos, proteínas y enzimas. Su disponibilidad está estrechamente relacionada con la mineralización de la materia orgánica, la actividad microbiana y las pérdidas por lixiviación. A diferencia de otros nutrientes, el azufre no debe interpretarse con una única escala general, porque sus límites cambian con el extractante y con el

fósforo remanente, indicador de la capacidad de adsorción del suelo. Por ello, la clasificación definitiva requiere conocer el método aplicado por el laboratorio. Embrapa establece diferentes límites de azufre según el P-rem y el procedimiento de extracción (Lal, 2015; FAO, 2017).

En el capítulo de resultados de la tesis, los valores de 3,97 mg dm^{-3} en conservación y 4,63 mg dm^{-3} en el testigo fueron clasificados como bajos. La diferencia no fue significativa ($p = 0,517$), por lo que el manejo no modificó la disponibilidad de azufre. La condición baja fue común a los dos sistemas y debería confirmarse mediante el método analítico, el requerimiento del cultivo y, de ser posible, un análisis foliar antes de recomendar fertilización azufrada (Lal, 2015; FAO, 2017).

7.4.8 Zinc disponible

El zinc participa en enzimas, síntesis de auxinas y crecimiento vegetal. Su disponibilidad disminuye con pH alcalino y puede estar condicionada por materia orgánica, fósforo y minerales adsorbentes (Lal, 2015; FAO, 2017).

Tabla 19. Escala de zinc disponible por Mehlich-1

Zinc, mg dm^{-3}	**Clasificación**
≤0,40	Muy bajo
0,50–0,90	Bajo
1,00–1,50	Medio
1,60–2,20	Alto
>2,20	Muy alto

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó 4,85 mg dm^{-3} y el testigo 3,48 mg dm^{-3}. Ambos valores se clasifican como muy altos. Sin embargo, la diferencia no fue significativa ($p = 0,333$), debido principalmente a la elevada variabilidad del tratamiento de conservación. Por tanto, el mayor promedio no representa un incremento estadísticamente demostrado (Lal, 2015; FAO, 2017).

7.4.9 Hierro disponible

El hierro participa en reacciones de oxidación-reducción, actividad enzimática y síntesis de clorofila. En suelos alcalinos puede encontrarse en formas poco solubles, aunque el contenido total o extraíble sea elevado (Lal, 2015; FAO, 2017).

Tabla 20. Escala de hierro disponible por Mehlich-1

Hierro, mg dm^{-3}	**Clasificación**
≤8	Muy bajo
9–18	Bajo
19–30	Medio
31–45	Alto
>45	Muy alto

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó 18,07 mg dm^{-3}, valor situado en la transición entre las categorías baja y media, mientras que el testigo registró 15,18 mg dm^{-3}, clasificado como bajo. La diferencia no fue significativa ($p = 0,426$); por tanto, no existe evidencia de que el manejo modificara la fracción extraíble de hierro. Además, debido al pH alcalino, conviene complementar el diagnóstico con observaciones de clorosis o análisis foliar.

7.4.10 Manganeso disponible

El manganeso participa en la fotosíntesis, particularmente en la división del agua, y en diferentes sistemas enzimáticos. Su disponibilidad depende del pH, la humedad, la aireación y las condiciones de oxidación-reducción (Lal, 2015; FAO, 2017).

Tabla 21. Escala de manganeso disponible por Mehlich-1

Manganeso, mg dm^{-3}	**Clasificación**
≤2	Muy bajo
3–5	Bajo
6–8	Medio

Manganeso, mg dm^{-3}	Clasificación
9–12	Alto
>12	Muy alto

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó 32,72 mg dm^{-3} y el testigo 20,57 mg dm^{-3}. Los dos valores se clasifican como muy altos. Aunque la media fue mayor bajo conservación, la diferencia no alcanzó significancia estadística (p = 0,065). Por ello, se identifica únicamente una tendencia numérica, condicionada por la elevada variabilidad de los resultados (Lal, 2015; FAO, 2017).

7.4.11 Cobre disponible

El cobre forma parte de enzimas relacionadas con la fotosíntesis, la respiración y la lignificación. Se adsorbe fuertemente a la materia orgánica y a las superficies minerales, por lo que suele presentar baja movilidad en el suelo (Lal, 2015; FAO, 2017).

Tabla 22. Escala de cobre disponible por Mehlich-1

Cobre, mg dm^{-3}	Clasificación
≤0,30	Muy bajo
0,40–0,70	Bajo
0,80–1,20	Medio
1,30–1,80	Alto
>1,80	Muy alto

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó 1,85 mg dm^{-3} y el testigo 2,18 mg dm^{-3}. Ambos resultados corresponden a contenidos muy altos, aunque el valor del manejo de conservación se encuentra próximo al límite inferior de esta categoría. La diferencia no fue significativa (p = 0,099), por lo que el mayor contenido del testigo no representa un cambio estadísticamente comprobad (Lal, 2015; FAO, 2017).

7.4.12 Boro disponible

El boro interviene en la formación de paredes celulares, el transporte de azúcares, la floración y la reproducción vegetal. Presenta un intervalo estrecho entre deficiencia y toxicidad, y su disponibilidad depende de la textura, la humedad, la materia orgánica y el Ph (Lal, 2015; FAO, 2017).

Tabla 23. Escala de boro extraído con agua caliente

Boro, mg dm^{-3}	**Clasificación**
≤0,15	Muy bajo
0,16–0,35	Bajo
0,36–0,60	Medio
0,61–0,90	Alto
>0,90	Muy alto

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación registró 0,29 mg dm^{-3}, correspondiente a un nivel bajo, mientras que el testigo presentó 0,39 mg dm^{-3}, clasificado como medio. La diferencia no fue significativa ($p = 0,290$); por ello, la separación de categorías representa únicamente la ubicación de las medias dentro de la escala y no demuestra que el testigo posea una condición significativamente superior.

7.4.13 Acidez potencial H + Al

La acidez potencial representa el hidrógeno y el aluminio asociados al complejo de intercambio que pueden liberarse a la solución cuando cambia la reacción del suelo. No debe confundirse con el aluminio intercambiable, debido a que H + Al incluye ambos componentes y se utiliza para calcular la capacidad de intercambio catiónico potencial y la saturación de bases (Sobral et al., 2015).

Tabla 24. Escala de acidez potencial

H + Al, cmolc dm^{-3}	**Clasificación**
≤1,00	Muy baja
1,01–2,50	Baja

H + Al, cmolc dm⁻³	Clasificación
2,51–5,00	Media
5,01–9,00	Alta
>9,00	Muy alta

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó 1,22 cmolc dm⁻³, correspondiente a una acidez potencial baja, mientras que el testigo registró 0,98 cmolc dm⁻³, ubicado en la categoría muy baja. La diferencia no fue significativa (p = 0,273). Estos resultados concuerdan con la reacción alcalina del suelo y muestran que la principal limitación química no fue la acidez, sino el pH elevado (Lal, 2015; FAO, 2017).

7.4.14 Suma de bases intercambiables

La suma de bases corresponde al total de Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} y, cuando se determina, Na^{+} intercambiables. Expresa la cantidad de cationes básicos retenidos en el complejo de intercambio, aunque no informa por sí sola si estos se encuentran en proporciones equilibradas (Lal, 2015; FAO, 2017).

Tabla 25. Escala de suma de bases

Suma de bases, cmolc dm⁻³	Clasificación
≤0,60	Muy baja
0,61–1,80	Baja
1,81–3,60	Media
3,61–6,00	Alta
>6,00	Muy alta

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó 9,17 cmolc dm⁻³ y el testigo 8,45 cmolc dm⁻³. Ambos valores se clasifican como muy altos, lo que es coherente con los contenidos elevados de calcio, magnesio y potasio y con el pH alcalino. No obstante, la diferencia no fue significativa (p = 0,187); por ello, debe interpretarse como mantenimiento del complejo

de bases y no como un incremento demostrado por efecto de la conservación (Lal, 2015; FAO, 2017).

7.4.15 Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico CIC expresa la cantidad de cargas negativas del suelo capaces de retener e intercambiar cationes. Depende de la cantidad y tipo de arcilla, de la materia orgánica y del pH. Una CIC mayor representa más capacidad potencial para retener nutrientes frente a la lixiviación, pero no garantiza que los cationes se encuentren equilibrados.

Tabla 26. Escala de capacidad de intercambio catiónico potencial a pH 7

CIC, cmolc dm^{-3}	**Clasificación**
<5,00	Baja
5,00–15,00	Media
>15,00	Alta

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación registró 9,86 cmolc dm^{-3} y el testigo 8,98 cmolc dm^{-3}. Los dos sistemas se clasifican con una CIC media, lo que indica una capacidad intermedia para retener e intercambiar cationes. La diferencia no fue significativa ($p = 0,122$); por tanto, la capacidad de retención se mantuvo estadísticamente similar.

7.4.16 Saturación de bases

La saturación de bases expresa el porcentaje de la CIC ocupado por calcio, magnesio, potasio y sodio. Los valores altos indican un predominio de cationes básicos en el complejo de intercambio, pero deben analizarse junto con el pH y las proporciones individuales, debido a que una saturación elevada también puede relacionarse con exceso de sodio o desequilibrios catiónicos (Lal, 2015; FAO, 2017).

Tabla 27. Escala de saturación de bases

Saturación de bases	**Clasificación**
≤20 %	Muy baja

Saturación de bases	Clasificación
>20–40 %	Baja
>40–60 %	Media
>60–80 %	Alta
>80 %	Muy alta

Fuente: EMBRAPA (2017).

El manejo de conservación presentó una saturación de bases de 93,21 % y el testigo 94,00 %. Los dos valores se clasifican como muy altos, en concordancia con el pH alcalino y la elevada presencia de cationes básicos. La diferencia no fue significativa (p = 0,292), lo que demuestra que la proporción de sitios de intercambio ocupados por bases permaneció estable. Sin embargo, estos porcentajes no permiten determinar por sí solos si existe equilibrio entre calcio, magnesio, potasio y sodio (Lal, 2015; FAO, 2017).

Tabla 28. Síntesis de las escalas químicas aplicadas

Variable	Conservación	Clasificación	Testigo	Clasificación	Significancia
pH	8,05	Moderadamente alcalino	8,88	Fuertemente alcalino	Significativa
Materia orgánica	1,66 dag kg^{-1}	Media	0,85 dag kg^{-1}	Baja	Significativa
Potasio	899,77 mg dm^{-3}	Muy alto	816,27 mg dm^{-3}	Muy alto	No significativa
Fósforo	601,27 mg dm^{-3}	Muy elevado	387,58 mg dm^{-3}	Muy elevado	No significativa
Calcio	3,84 cmolc dm^{-3}	Alto	3,59 cmolc dm^{-3}	Alto	No significativa
Magnesio	3,03 cmolc dm^{-3}	Alto	2,77 cmolc dm^{-3}	Alto	No significativa

Variable	Conservación	Clasificación	Testigo	Clasificación	Significancia
Azufre	3,97 mg dm^{-3}	Bajo	4,63 mg dm^{-3}	Bajo	No significativa
Zinc	4,85 mg dm^{-3}	Muy alto	3,48 mg dm^{-3}	Muy alto	No significativa
Hierro	18,07 mg dm^{-3}	Transición bajo–medio	15,18 mg dm^{-3}	Bajo	No significativa
Manganeso	32,72 mg dm^{-3}	Muy alto	20,57 mg dm^{-3}	Muy alto	No significativa
Cobre	1,85 mg dm^{-3}	Muy alto	2,18 mg dm^{-3}	Muy alto	No significativa
Boro	0,29 mg dm^{-3}	Bajo	0,39 mg dm^{-3}	Medio	No significativa
H + Al	1,22 cmolc dm^{-3}	Baja	0,98 cmolc dm^{-3}	Muy baja	No significativa
Suma de bases	9,17 cmolc dm^{-3}	Muy alta	8,45 cmolc dm^{-3}	Muy alta	No significativa
CIC	9,86 cmolc dm^{-3}	Media	8,98 cmolc dm^{-3}	Media	No significativa
Saturación de bases	93,21 %	Muy alta	94,00 %	Muy alta	No significativa

Elaborado: Chiriboga Ibujés (2026), con base en EMBRAPA (2017) y los resultados de la investigación.

7.5 Propiedades biológicas del suelo

Las propiedades biológicas reflejan la presencia, composición y actividad de los organismos responsables de la descomposición de residuos, la transformación de nutrientes y la formación de agregados. Estos indicadores responden rápidamente a los

cambios de cobertura, materia orgánica, humedad, aireación, pH y perturbación; sin embargo, presentan elevada variabilidad espacial y temporal. Por esta razón, su comparación estadística requiere réplicas independientes suficientes y procedimientos de muestreo y análisis homogéneos (Bünemann et al., 2018).

En esta investigación se evaluaron la biomasa microbiana y las proporciones bacteriana y fúngica. Estas variables no poseen escalas universales de bajo, medio y alto aplicables a todos los suelos, debido a que los resultados dependen del método, la textura, el clima, la profundidad de muestreo y el sistema de uso. Por ello, se interpretaron mediante comparación directa entre el manejo de conservación y el testigo (Bünemann et al., 2018).

7.5.1 Biomasa microbiana

La biomasa microbiana representa la masa de microorganismos vivos detectada en una cantidad determinada de suelo y constituye una fracción activa de la materia orgánica. Una biomasa mayor puede relacionarse con más capacidad potencial para descomponer residuos y transformar nutrientes, aunque no permite determinar por sí sola la diversidad, la actividad metabólica ni la eficiencia de la comunidad.

No existe una escala académica universal en $\mu g\ g^{-1}$ que permita clasificar todos los suelos como de biomasa baja, media o alta. En la tesis debe utilizarse una **escala comparativa**, según la cual un valor mayor que el testigo representa una tendencia biológica favorable, un valor semejante indica estabilidad y un valor menor representa una respuesta desfavorable. Esta comparación debe realizarse únicamente entre muestras procesadas con el mismo método.

En el capítulo de resultados, el manejo de conservación presentó un promedio de 537 $\mu g\ g^{-1}$ de suelo, mientras que el testigo registró 475 $\mu g\ g^{-1}$. Descriptivamente, el manejo de conservación tuvo una biomasa microbiana mayor. Sin embargo, se analizaron dos muestras en conservación y una en el testigo, por lo que no existieron réplicas independientes suficientes para aplicar una prueba inferencial. En consecuencia, el resultado debe describirse como una tendencia favorable y no como una diferencia significativa.

Tabla 29. Escala comparativa de la biomasa microbiana

Resultado respecto del testigo	**Interpretación**
Menor	Tendencia biológica desfavorable
Semejante	Condición biológica estable
Mayor	Tendencia biológica favorable
Sin réplicas suficientes	No se puede determinar significancia estadística

Fuente: Dhakal et al. (2022).

7.5.2 Porcentaje bacteriano y porcentaje fúngico

Las proporciones bacteriana y fúngica describen la participación relativa de cada grupo dentro de la biomasa detectada por el método utilizado. Se expresan en una escala de 0 a 100 % y no corresponden a unidades formadoras de colonias; por ello, deben reportarse como porcentaje y no como UFC g^{-1}.

No existe un porcentaje universal que permita afirmar que un suelo es biológicamente bueno o malo. Un predominio bacteriano puede relacionarse con la utilización rápida de compuestos fácilmente degradables, mientras que los hongos poseen un papel importante en la descomposición de residuos complejos y la formación de redes hifales. La interpretación debe considerar conjuntamente la biomasa total, el pH, la materia orgánica, la cobertura y el método empleado.

En el manejo de conservación se obtuvo una proporción bacteriana de 73,5 % y una proporción fúngica de 26,5 %; el testigo presentó 71 % de bacterias y 29 % de hongos. En ambos sistemas existió un predominio bacteriano. El área conservada presentó descriptivamente una mayor participación bacteriana y una menor participación fúngica, mientras que el testigo mostró una proporción fúngica ligeramente superior. Estas diferencias no fueron sometidas a una prueba estadística válida debido al número limitado de réplicas.

Tabla 30. Escala descriptiva de la composición bacteriana y fúngica

Condición observada	**Interpretación**
Porcentaje bacteriano mayor que el fúngico	Predominio bacteriano
Porcentajes aproximadamente semejantes	Composición relativamente equilibrada
Porcentaje fúngico mayor que el bacteriano	Predominio fúngico

Condición observada	Interpretación
Sin réplicas independientes suficientes	Interpretación únicamente descriptiva

Fuente: Dhakal et al. (2022).

Tabla 31. Indicadores biológicos evaluados y criterios de interpretación

Indicador	Unidad	Conservación	Testigo	Interpretación
Biomasa microbiana	µg g^{-1} de suelo	537	475	Mayor bajo conservación; tendencia descriptiva
Proporción bacteriana	%	73,5	71,0	Predominio bacteriano en ambos sistemas
Proporción fúngica	%	26,5	29,0	Ligeramente mayor en el testigo
Prueba inferencial	No aplica	n = 2	n = 1	Réplicas insuficientes para determinar significancia

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados biológicos de la investigación.

En el resumen aparecen valores biológicos de 612 frente a 498 µg g^{-1} y 71,5 frente a 64,2 %, mientras que en el capítulo de resultados se reportan 537 frente a 475 µg g^{-1}, 73,5 frente a 71 % y 26,5 frente a 29 %. Debe seleccionarse el conjunto definitivo proveniente de los datos originales y utilizarlo de forma uniforme en el resumen, resultados, conclusiones, tablas y figuras.

7.6 Conservación del suelo

La conservación del suelo integra prácticas destinadas a prevenir la erosión, mantener la cobertura, aumentar el aporte de materia orgánica, reducir la perturbación y mejorar el uso del agua. Su eficacia debe evaluarse mediante indicadores comparables en el tiempo y no únicamente por el rendimiento de un cultivo. Las Directrices Voluntarias para la Gestión Sostenible de los Suelos recomiendan proteger la superficie, minimizar la erosión y mantener la materia orgánica y la biodiversidad edáfica (FAO, 2017).

7.7 Suelos de montaña

Los suelos de montaña se desarrollan en relieves caracterizados por cambios marcados de elevación, pendiente y posición topográfica. Estas condiciones generan una alta variabilidad espacial en la profundidad del suelo, el contenido de humedad, la acumulación de materia orgánica y el movimiento de partículas. En las partes altas y más inclinadas de la ladera puede producirse pérdida de la capa superficial, mientras que en las posiciones bajas pueden acumularse los materiales transportados por el agua y la gravedad. Como consecuencia, dos puntos relativamente cercanos pueden presentar propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes, aun cuando pertenezcan al mismo paisaje (FAO, 2015).

La pendiente constituye uno de los principales criterios para describir los suelos de montaña. Se expresa normalmente en porcentaje y representa la relación entre el desnivel vertical y la distancia horizontal del terreno. La FAO (2006) señala que debe medirse con un clinómetro en la dirección de máxima inclinación y registrarse conjuntamente con la longitud, la forma y la orientación de la pendiente, debido a que estas características condicionan el drenaje, la escorrentía y el riesgo de erosión.

Tabla 32. Escala de pendiente del terreno

Pendiente	**Clase de relieve**
0–0,2 %	Plano
>0,2–0,5 %	Nivelado
>0,5–1,0 %	Casi nivelado
>1,0–2,0 %	Muy suavemente inclinado
>2–5 %	Suavemente inclinado
>5–10 %	Inclinado
>10–15 %	Fuertemente inclinado
>15–30 %	Moderadamente escarpado
>30–60 %	Escarpado
>60 %	Muy escarpado

Fuente: FAO (2006).

Esta clasificación describe la inclinación del terreno, pero no constituye por sí sola una escala directa de erosión. El riesgo real también depende de la longitud y forma de la pendiente, la intensidad de la lluvia, la textura, la estabilidad de los agregados, el uso del suelo y la cobertura vegetal. En términos generales, el aumento de la inclinación y de la longitud de la ladera favorece una mayor velocidad y capacidad de transporte de la escorrentía; sin embargo, la presencia de cobertura permanente puede disminuir considerablemente la separación y el transporte de partículas (Wang et al., 2018).

La posición topográfica también debe considerarse en el muestreo. La FAO (2006) diferencia las posiciones de cima, parte superior, media y baja de la ladera, pie de ladera y fondo. Las zonas altas suelen actuar como áreas de pérdida o exportación de materiales, mientras que el pie y el fondo pueden comportarse como zonas de acumulación. Por esta razón, la comparación entre tratamientos debe realizarse en posiciones semejantes, evitando comparar directamente una zona alta y erosionada con una zona baja donde se depositan sedimentos, porque las diferencias podrían deberse a la topografía y no al manejo aplicado.

Tabla 33. Posiciones topográficas y su implicación edáfica

Posición	**Comportamiento predominante**	**Implicación para el suelo**
Cima o cresta	División de los flujos de agua	Mayor exposición al viento y pérdida superficial
Parte superior de la ladera	Predominio de salida de agua y sedimentos	Posible reducción de profundidad y materia orgánica
Parte media	Transporte de agua y partículas	Mayor susceptibilidad a erosión laminar y formación de surcos
Parte baja	Disminución de la velocidad del flujo	Posible acumulación de partículas finas y nutrientes
Pie de ladera	Recepción de materiales transportados	Suelos generalmente más profundos
Fondo o drenaje	Concentración y acumulación de agua	Riesgo de saturación y depósito de sedimentos

Fuente: FAO (2006).

La vegetación cumple una función importante en los suelos de montaña porque intercepta parte de la lluvia, protege la superficie contra el impacto directo de las gotas y aumenta la rugosidad del terreno. Las raíces también contribuyen a mantener unidas las partículas y pueden favorecer la estabilidad estructural y la infiltración. Una revisión de evidencia ecológica encontró respaldo sólido para la afirmación general de que una mayor presencia de plantas reduce la erosión, aunque la magnitud del efecto depende de la especie, la arquitectura radicular, la cobertura y las características del sitio.

En las zonas agrícolas de montaña de los Andes ecuatorianos, la remoción continua del suelo y la falta de cobertura pueden incrementar la erosión y el deterioro de la salud edáfica. En contraste, la conservación de una cobertura permanente y la reducción de la perturbación física constituyen prácticas capaces de disminuir la pérdida de suelo y mantener sus funciones productivas. Barrowclough et al. (2016), en estudios desarrollados en la provincia de Bolívar, Ecuador, señalaron que la cobertura permanente y la mínima alteración del suelo son componentes importantes para disminuir la erosión en sistemas agrícolas establecidos sobre pendientes andinas.

Aplicación en la presente investigación

La Terraza de Banco N.° 1 se encuentra dentro de un paisaje de montaña; sin embargo, la superficie de una terraza no conserva necesariamente la misma inclinación que la ladera original. Las terrazas transforman la pendiente continua en superficies escalonadas y reducen tanto la pendiente efectiva como la longitud recorrida por la escorrentía. Por esta razón, para clasificar correctamente el sitio deberían registrarse por separado la pendiente de la superficie cultivable, la inclinación de los taludes y, cuando sea posible, la pendiente original del paisaje.

No se registró un valor porcentual de pendiente, por lo que no es posible ubicar directamente la Terraza de Banco N.° 1 en una clase específica de la escala de la FAO. En consecuencia, la tabla anterior debe utilizarse como fundamento teórico y metodológico, pero no debe afirmarse que el sitio es moderadamente escarpado, escarpado o muy escarpado sin disponer de una medición con clinómetro o de información topográfica confiable.

La comparación entre el sistema de conservación y el testigo se realizó dentro de la misma terraza y bajo condiciones ambientales semejantes, lo que permite reducir parcialmente el efecto de la posición topográfica. El sistema de conservación estuvo constituido por

cobertura de alfalfa y barreras vivas de especies forestales, mientras que el testigo correspondió a un área sin estas prácticas. Esta disposición es apropiada porque permite interpretar las diferencias como respuestas asociadas al manejo, siempre que ambos sitios posean pendiente, exposición, profundidad y material parental comparables.

Los resultados mostraron que el sistema de conservación alcanzó una conductividad hidráulica de 23,08 mm h^{-1}, superior a los 17,02 mm h^{-1} del testigo, con una diferencia estadísticamente significativa. También presentó 1,66 dag kg^{-1} de materia orgánica, frente a 0,85 dag kg^{-1} en el testigo. Estas respuestas indican una condición favorable para el movimiento del agua y la conservación del carbono en el área cubierta. No obstante, deben considerarse indicadores indirectos, porque en la investigación no se midieron directamente la escorrentía, la cantidad de sedimentos transportados ni la pérdida de suelo en toneladas por hectárea.

Por tanto, la redacción más adecuada es señalar que el manejo de conservación presentó características que pueden disminuir la vulnerabilidad del suelo de montaña, pero no afirmar que redujo una cantidad específica de erosión. Para demostrar directamente la reducción de la erosión sería necesario medir la escorrentía superficial, los sedimentos producidos, la formación de surcos o la pérdida de suelo durante eventos de lluvia.

Tabla 34. Criterios para interpretar los suelos de montaña en la investigación

Criterio	**Forma de medición**	**Interpretación en la tesis**
Pendiente	Porcentaje medido con clinómetro	No registrada; no se puede asignar una clase
Posición topográfica	Cima, parte alta, media, baja o pie	Los tratamientos deben encontrarse en posiciones comparables
Longitud de pendiente	Distancia horizontal del flujo	La terraza reduce la longitud efectiva del escurrimiento
Cobertura vegetal	Porcentaje o descripción de cobertura	Alfalfa y barreras vivas en el sistema de conservación
Conductividad hidráulica	mm h^{-1}	Significativamente mayor bajo conservación

Criterio	Forma de medición	Interpretación en la tesis
Materia orgánica	dag kg^{-1}	Nivel medio en conservación y bajo en el testigo
Evidencia de erosión	Surcos, cárcavas, costras o sedimentos	No cuantificada directamente
Pérdida de suelo	t ha^{-1} $año^{-1}$	No evaluada en la investigación

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), con base en FAO (2006) y los resultados de la investigación (2026).

7.8 Terrazas de banco y barreras vivas

Las terrazas de banco transforman una ladera en superficies escalonadas separadas por taludes. Su función es reducir la pendiente efectiva, acortar la longitud de escurrimiento, facilitar la infiltración y retener sedimentos. Cuando se combinan con cobertura permanente y barreras vivas, pueden disminuir la erosión y aportar residuos orgánicos. Entre sus ventajas se encuentran la conservación de suelo y agua y la creación de superficies cultivables; entre sus limitaciones se incluyen el costo de construcción y mantenimiento, el riesgo de inestabilidad de taludes y la necesidad de drenaje adecuado.

En la Terraza de Banco N.° 1, la cobertura de alfalfa y las barreras vivas constituidas por especies forestales forman un sistema de conservación que puede influir en la infiltración, la retención de partículas finas, la materia orgánica y la actividad microbiana. La presente investigación evalúa esas respuestas mediante la comparación con un área testigo y distingue las diferencias estadísticamente significativas de las tendencias descriptivas.

8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Qué diferencias presentan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo entre el área con manejo de conservación y el área testigo de la Terraza de Banco N.° 1 del Campus Salache, y cuáles de esas diferencias son estadísticamente significativas?

9. METODOLOGÍA

El presente proyecto de investigación empleará un enfoque observacional y descriptivo, los mismo que tienen como objetivo analizar las características físicas, químicas y biológicas del suelo con respecto a los distintos métodos de conservación empleados en la zona de estudio. El 09 de mayo del año 2016 se realizó el proyecto de terrazas de formación lenta en la montaña del Campus Salache, correspondiente a la Universidad Técnica de Cotopaxi. Este facilitó e incluyó actividades prácticas que se llevaron a cabo

entre los meses de abril y agosto del mismo año (Chanaluisa, Chiluisa & Oa, 2016). La implementación de terrazas de banco fue una respuesta a la necesidad de mitigar los procesos erosivos en las zonas con pendientes empinadas que durante años se vieron afectadas debido al escurrimiento superficial y la perdida de suelo fértil.

En este marco, docentes y alumnos de la carrera de Ingeniería Agrónoma impulsaron la creación de terrazas de banco como una táctica conservacionista con el propósito de convertir lentamente terrenos inclinados en zonas adecuadas para la producción agrícola. El objetivo de esta práctica conservacionista es disminuir la erosión hídrica, contribuir a restaurar las características del suelo y colaborar con el uso sostenible del recurso edáfico, así mismo, fortalecer los procesos de formación académica, investigación y conexión con el entorno (Chanaluisa, Chiluisa & Oa, 2016).



Figura 3. Ejecución del proyecto de terrazas de banco
Fuente: Troya Sarzosa (2016).



Figura 4. Cambio general de las terrazas de banco
Fuente: Fuente: Troya Sarzosa (2016).

El objetivo del presente estudio es evaluar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo bajo distintos métodos de conservación. El tratamiento de estudio este hecho en una de las terrazas de banco que se hallan en el Campus Salache, mientras que el tratamiento testigo constituye en un área montañosa donde no se han realizado prácticas agrícolas ni intervenciones humanas. Las dos están ubicadas a una altitud similar para reducir al mínimo el impacto de factores ambientales externos. La terraza agrícola continúa siendo un sistema presente de producción como también de conservación y está constituida por alfalfa (Medicago sativa L.), una especie que otorga cobertura estable al suelo. La misma contribuye a la protección superficial por medio de la adición de materia orgánica y residuos vegetales, lo cual ayuda a preservar la humedad y disminuye el impacto directo de las lluvias. Los límites de la parcela están divididos por barreras vivas compuestas por especies forestales, entre las cuales se presenta la acacia negra (Acacia melanoxylon), el cholán (Tecoma stans) y el yagual (Polylepsis spp). Cada uno de ellos cumplen distintas ocupaciones en la estabilización del suelo, la reducción de los procesos erosivos y la regulación de las condiciones micro climáticas. En conjunto, cada elemento constituye un sistema agroforestal que busca compatibilizar la producción agrícola con la conservación del recurso de suelo y que se ha mantenido en funcionamiento hasta la

actualidad. Con un propósito de comparar imparcialmente los sistemas analizados, teniendo en cuenta parcelas testigo sin practica de conservación que están ubicadas conjuntamente a las unidades experimentales. Esta medida facilitó comparar directamente las condiciones de áreas intervenidas y no intervenidas con manejo conservacionista, lo cual ayudo a identificar los cambios relacionados con las estrategias implementadas. El proyecto de investigación se llevará mediante un método sistemático que se estructurará según los objetivos empleados, con el fin de obtener información exacta y a su vez confiable respecto al impacto de las diversas prácticas de conservación en las características del suelo.

9.1. 9.1 Delimitación del área de estudio

Con el fin de identificar el área de estudio, se utilizará un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con la intención de adquirir coordenadas geográficas. Posteriormente, estas coordenadas serán procesadas por medio del software QGIS para la creación del mapa correspondiente al campo de investigación.

El área de investigación está situada en el cantón Latacunga, en la provincia de Cotopaxi, exactamente en las terrazas de Banco, dentro del Campus Salache. Geográficamente está localizada en la latitud sur 00°59’57’ y en ll longitud oeste 78°37’14’. La temperatura promedio anual de la región varía entre los 10°C y 18°C.

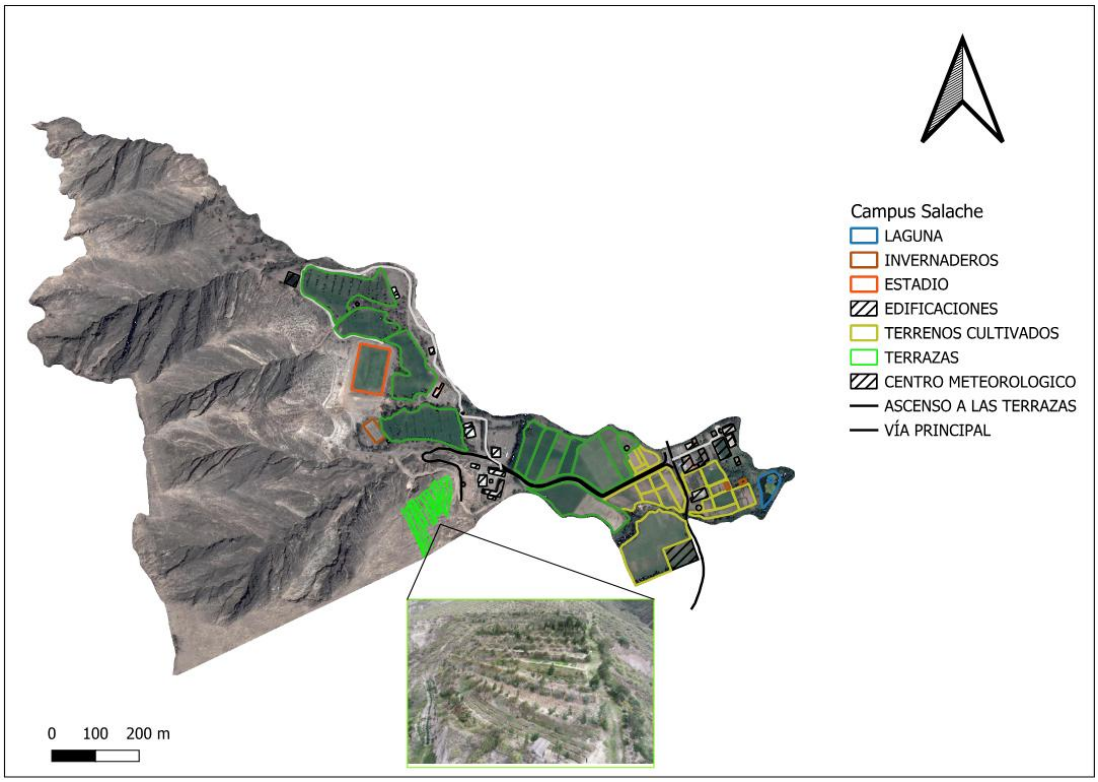

Figura 5. Ubicación del Campus Salache y del área de estudio
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), elaborado mediante QGIS.

9.2. Muestreo de suelo

Como afirma Gelvez et al., (2020), el muestreo de suelo es un método fundamental para la obtención de datos representativos del área en estudio. Esto se aplica a través de la elección apropiada de puntos de muestreo que faciliten una caracterización confiable de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El análisis más preciso en las condiciones de suelo en la superficie se identifica cuando los puntos de muestreo son dispersados de manera aleatoria, ya que ahí permite disminuir los sesgos.

9.2.1. Muestreo para obtención de indicadores físicos

- Recolección de muestras método volumétrico de densidad aparente:

Materiales 1:

- Espátula

- Plástico film

- Pala o Azada

- Marcador

- Tubo pvc de 5 cm de alto

Procedimiento:

Se ocupó un cilindro PVC para tomar la muestra de suelo. Para distribuir de forma uniforme la fuerza aplicada, se aplicó una placa metálica o de madera sobre el cilindro. Se dieron golpes suaves y controlados hasta que el cilindro se introdujo en la tierra, asegurando así que la muestra fuera intacta y completa hasta el borde.

Con el apoyo del plástico film se selló las muestras y se identificaron el nombre o código de muestra.

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

El Infiltrómetro de disco de tensión es un medio que se utiliza para medir las características hidráulicas de la zona en condiciones próximas a su estado natural, el mismo que posibilitó la cuantificación del proceso de infiltración a través de la aplicación controlada de un potencial matricial. Este método redució el flujo preferencial a través de macroporos de gran tamaño, lo que contribuyó cálculos más correctos sobre la conductividad hidráulica y la manera en que el agua se comporta en la capa superficial del suelo. Con un fin se convierte en un indicador concreto de su calidad física (Reynolds & Elrick, 2021).

- Materiales:

- Infiltrómetro de disco

- Agua

- Esfero

- Temporizador

- Cuaderno de campo

Procedimiento:

Para la determinación de la infiltración se eligió un lugar representativo en donde está la superficie un tanto uniforme dentro del área de estudio para evaluar la infiltración, evitando zonas alteradas o que indiquen signos de compactación.

A continuación, se eliminaron con mucho rigor los restos de plantas y pedazos de roca que estaba en la superficie, teniendo en cuenta de no modificar la estructura natural del terreno.

Posteriormente, para asegurar que las medidas fueran precisas, se eliminaron las burbujas de aire en el sistema y se llenó el Infiltrómetro con agua hasta que el disco poroso tuvo la saturación total.

Seguidamente, se calibra el aparato a una tensión de trabajo de -2 c, de columna de agua. Luego de que se desarrolle la tensión deseada, el disco Infiltrómetro se ubicó con cuidado sobre la superficie del suelo, teniendo en cuenta de que tuviese un contacto adecuado con el terreno y estuviera adecuadamente estabilizado.

Finalmente, se observó la disminución del nivel de agua en el transcurso del tiempo de 10 minutos, tomando en cuenta las mediciones cada media hora hasta obtener una tasa de infiltración estable, así como se muestra en la Figura 6 con los datos obtenidos.

G: Testigo

M: Muestras

T: Terrazas

t: Tiempo

M	Muestras
G	Testigo
T	Terrazas
t	Tiempo

N°	M (ml) / t	T3M1	T3M2	T3M3	T3M4	T3M5	G1	G2	G3	G4	G5
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

Figura 6. Registro de datos de la práctica con infiltrómetro de disco
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026).

9.2.2. Muestreo para obtención de indicadores químicos.

Para obtener las muestras se empleó un muestreo al azar simple, el mismo que recolecto 5 muestras en la zona con manejo de conservación y 5 muestras en la zona sin manejo.

Materiales:

- Etiquetas

- Estufa

- Espátula

- Fundas

- Fundas con cierre hermético

-- Marcador

-Pala o Azada

Procedimiento:

Recopilación de muestras de suelo excavando con la azada a una hondura de 20 cm por ser la capa con gran actividad biológica y a su vez dinámica de nutrientes.

Con la herramienta de la espátula se fue retirando la parte superior e inferior de la muestra.

Con el método al azar se colocó el suelo extraído en una funda plástica y se identifica.



Figura 7. Recolección de muestras de suelo
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026).

Posteriormente, en el laboratorio se procedió con un recipiente de metal a colocar la muestra y ponerla en la estufa a 103° durante un lapso de 24 horas.



Figura 8. Secado de muestras de suelo en estufa
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026).

Ya completado el tiempo de espera, se empacó en fundas con cierre hermético y después se insertó su adecuada identificación. Luego se ordenó y se colocó en fundas grandes para realizar el envío a Brasil.



Figura 9. Empaquetado y etiquetado de las muestras
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026).

Para recolectar las muestras ante la obtención de indicadores físicos, se empleó un muestro al azar simple, el mismo que recolecto 5 muestras con manejo de conservación y 5 muestras sin manejo en este caso el testigo en la zona.

9.3 Practica de laboratorio en la Facultad CAREN con las muestras recolectando con el método volumétrico de densidad aparente

Las muestras fueron organizadas y distinguidas, quitando el papel film y a su vez colocando la gasa en la base del cilindro, sostenida por una liga.

Los cilindros se colocaron en una bandeja metálica con agua destilada más o menos con 1 cm de altura y se permitió saturar durante un lapso de 24 horas.

A continuación, se quitó el excedente de agua y se realizó el pesaje inicial de las muestras.

Posteriormente, las muestras se secaron en una estufa a 105° C en el tiempo de 24 horas y luego se dejaron enfriar y se realizó el pesaje final.

Finalmente, cada uno de los datos adquiridos fueron anotados para su posterior análisis.

G: Testigo

M: Muestras

T: Terrazas

Peso	Gramos
M1	146,03
M2	134,42
M3	159,41
M4	155,61
M5	161,85
Peso gasa + liga	Gramos
M1	1,22
M2	1,36
M3	1,33
M4	1,31
M5	1,31
Altura	Centimetros
M1	5
M2	5
M3	5
M4	5
M5	5

Peso	Gramos
M1	99,66
M2	89,47
M3	104,37
M4	107,92
M5	107,5
Peso cilindro	Gramos
M1	22,05
M2	20,06
M3	28,11
M4	20,45
M5	20,85
Diametro	Centimetros
M1	4,8
M2	4,8
M3	4,8
M4	4,8
M5	4,8

Peso	Gramos
G1	150,26
G2	155,66
G3	162,46
G4	159,96
G5	156,87
Peso gasa + liga	Gramos
G1	1,43
G2	1,28
G3	1,38
G4	1,38
G5	1,22
Altura	Centimetros
G1	5
G2	5
G3	5
G4	5
G5	5

Peso	Gramos
G1	103,69
G2	106,42
G3	138,81
G4	114,44
G5	110,46
Peso cilindro	Gramos
G1	26,03
G2	20,04
G3	21,44
G4	22,19
G5	22,53
Diametro	Centimetros
G1	4,8
G2	4,8
G3	4,8
G4	4,8
G5	4,8

Figura 10. Registro de datos de densidad aparente

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026).

En el presente estudio en la Figura 11 se indican las diferentes clasificaciones de las variables físicas. De acuerdo con FAO, (2017), establece los criterios técnicos para la organización de varias propiedades entre ellas las físicas del suelo que son empleadas para la evaluación de su calidad.

Nivel / Variable	Bajo	Medio	Alto	Observación
Arena (%)	<30	30 – 60	>60	Depende de textura
Limo (%)	<20	20 – 50	>50	Exceso puede generar compactación
Arcilla (%)	<15	15 – 35	>35	Mayor arcilla = mayor retención de agua
Densidad aparente (g/cm3)	>1.4	1.2 – 1.4	<1.2	Menor valor = mejor estructura
Porosidad (cm3/cm3)	<0.45	0.45 – 0.55	>0.55	Mayor valor = mejor aireación
Conductividad hidráulica (mm/h)	<20	20 – 35	>35	Mayor valor = mejor infiltración

Figura 11. Niveles de interpretación de las variables físicas del suelo
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), con base en FAO (2017) y USDA-NRCS (2017).

9.4 Practica de laboratorio Internacional previo a la obtención de los indicadores químicos de las muestras.

Las muestras adquiridas fueron enviadas desde Ecuador hasta el laboratorio de la Universidad Federal de Lavras (UFLA),en Brasil, con el propósito de llevar a cabo los análisis especializados bajo condiciones controladas y con equipamiento de alta precisión A continuación se presenta las siguientes determinaciones en el laboratorio según determina el siguiente proyecto (EMBRAPA, 2025)

9.4.1 pH del suelo

Para determinar el pH, se realizó una suspensión que tenía suelo seco y tamizado al ocupar agua destilada o una solución de cloruro de calcio. Posteriormente, la mezcla se homogeneizo y se dejó bajo reposo brevemente antes de proceder a medir el pH con un potenciómetro que había sido calibrado previamente (EMBRAPA, 2025).

9.4.2 Materia orgánica del suelo

Se estableció por medio de un método químico basado en la oxidación del carbono orgánico. La muestra de suelo tuvo reacción con una solución oxidante y a través del consumo reactivo, se efectuó el contenido de manera orgánica presente en la muestra (EMBRAPA, 2025).

9.4.3 Potasio intercambiable

Para el potasio intercambiable se obtuvo al momento de colocar la muestra en contacto con una solución extractante que suelta este nutriente del complejo de intercambio. El potasio (K) extraído se cuantifico a través de un equipo instrumental, el mismo que permitió estimar la disponibilidad en el suelo (EMBRAPA, 2025).

9.4.4 Fosforo disponible

Para analizar el fosforo (P) disponible, la muestra de suelo se trató con una solución acida ya diluida, la misma que permite extraer el fosforo fácilmente utilizable por las plantas. La cantidad que fue extraída se evidencio por medio de un método colorimétrico, observando la intensidad del color desarrollado (EMBRAPA, 2025).

9.4.5 Calcio intercambiable

Este se extrajo ocupando una solución especifica que ayuda con el desplazamiento del elemento del suelo. A continuación, la concentración se evidencio en el laboratorio a través de las técnicas analíticas que ayudan a cuantificar con precisión este nutriente (EMBRAPA, 2025).

9.4.6 Magnesio intercambiable

En este sentido el magnesio se evidencio por medio del mismo extracto empleado en el calcio. El contenido se midió con métodos semejantes, los mismos que permitieron analizar su disponibilidad dentro del complejo de intercambio del suelo (EMBRAPA, 2025).

9.4.7 Acidez intercambiable ($H + AP^{3+}$)

En este sentido se analizó mediante la extracción del suelo con una solución salina. Por medio de esta extracción se identificó la cantidad de hidrógeno y aluminio que estaban presentes, aquellos que permitió evidenciar el nivel de acidez activo del suelo (EMBRAPA, 2025).

9.4.8 Suma de bases intercambiables

Se calcula el total de calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables anticipadamente identificados, los cuales permitieron evaluar el nivel general de fertilidad química del suelo (EMBRAPA, 2025).

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

En este sentido se estimó abarrotando el suelo con una solución patrón y a su vez cuantificando los cationes retenidos. Este proceso permitió identificar la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes (EMBRAPA, 2025).

9.4.10 Índice de saturación de bases

Se calculó teniendo en cuenta la suma de bases con la capacidad total de intercambio catiónico, indicando el resultado como un porcentaje. El índice de saturación de las bases es en base a las observaciones en cuanto a presentar o no impedimentos dependiendo del porcentaje contenido en el suelo (EMBRAPA, 2025).

9.4.11 Zinc, hierro, manganeso y cobre disponibles

Cada uno de estos micronutrientes fueron extraídos del suelo empleando una solución acida suave. A continuación, sus concentraciones se identificaron mediante evaluaciones instrumentales, lo que permitieron evaluar su disponibilidad para las plantas

9.4.12 Boro disponible

A través de un procedimiento con agua caliente se extrajo el boro del suelo, el mismo que permitió liberar el elemento. El contenido se estableció por medio de un método colorimétrico, apoyado en el proceso de una coloración característica

9.4.13 Azufre disponible

A partir del azufre vacante se estableció extrayendo los sulfatos presentes en el suelo con una solución especifica. La concentración que se obtuvo se midió por medio de un método que analiza la turbidez ocasionada, así permitiendo estimar el contenido.

Las características químicas del suelo contribuyen de manera directa en la disponibilidad de nutrientes y en el rendimiento de los cultivos. De tal manera la utilidad de escalas de interpretación (bajo, medio, alto) permite identificar diagnósticos técnicos más exactos y así definir planes adecuados de fertilización y manejo del suelo (USDA, 2014).

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

Figura 12. Niveles de interpretación de las variables químicas del suelo
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), con base en EMBRAPA (2017).

9.5 Muestreo de suelos previo a la obtención de indicadores biológicos

La toma de muestras se ejecutó a través de un muestreo al azar simple con dos áreas de estudio, obteniendo dos muestras en el sistema con manejo de conservación y una muestra en la zona testigo sin manejo, a una profundidad de 0-20 cm, esto por ser una capa con más actividad biológica como también dinamia de nutrientes.

9.6 Determinar indicadores biológicos

Los indicadores biológicos analizados en el presente proyecto de investigación fueron: biomasa bacteriana, % bacteriano, % fúngico realizado por el método de prueba rápido microBIOMETER ® PRO

- Se tamizo la muestra y se descartaron partículas gruesas, como lo son; piedras y residuos vegetales

- Se lleno el tubo de medición con agua destilada y se traspasó a un tubo de extracción de 10 mL, al mismo se incluyó el reactivo en polvo y se homogenizo la mezcla.

- Se tomo el suelo tamizado con una jeringa hasta que llegue a 1mL y se apretó hasta alcanzar 0.5 mL.

- El suelo medido se unió al tubo de extracción, se agito durante un lapso de 30 segundos y se dejó descansar por 5 minutos. A continuación, se golpeó de manera suave el tubo de 3 a 4 veces y se dejó reposar durante 15 minutos.

- Se inserto la tarjeta de prueba sobre un fondo blanco, donde se extrajo una alícuota de la solución obviando sedimentos y se colocaron tres gotas en la ventana de muestra, adquiriendo la absorción completa entra cada aplicación.

- Por último, la tarjeta fue examinada con la aplicación móvil durante un transcurso de 2 minutos, adquiriendo automáticamente los resultados, los mismos que fueron registrados para su posterior análisis.

Se utilizó la escala de interpretación presentada en la Figura 13 para poder identificar la clase correspondiente de cada característica biológica del suelo, autorizando valorar su estado (bajo medio o alto) y así agilizar una evaluación comparativa que respalde decisiones técnicas en el manejo y mejoramiento de la fertilidad, conforme a normas de evaluación establecidos en guías de análisis de suelos (USDA, 2014).

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

Figura 13. Niveles de interpretación de las variables biológicas del suelo
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), con base en Bünemann et al. (2018).

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

Las propiedades físicas y químicas se analizaron mediante la prueba t de Welch para dos muestras independientes, debido a que este procedimiento permite comparar las medias de los sistemas aun cuando las varianzas no sean iguales (West, 2021). Se empleó un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Una variable se consideró estadísticamente significativa cuando $p < 0,05$ y no significativa cuando $p \geq 0,05$. Las barras de error de las figuras representan la desviación estándar.

Los indicadores biológicos se analizaron de forma descriptiva, porque el número de réplicas independientes disponible no permitió estimar adecuadamente la variabilidad dentro de cada sistema. En consecuencia, para biomasa microbiana y porcentajes bacteriano y fúngico se presentan los valores observados, pero no se afirma significancia estadística.

10. RESULTADOS

10.1 Caracterización de variables físicas en la terraza de Salache UTC

Las propiedades físicas permiten interpretar la distribución de partículas, el grado de compactación y el movimiento del agua en el suelo. Para cada variable se presentan la media, la desviación estándar y el resultado de la prueba t. Debido al carácter observacional del estudio, las diferencias se interpretan como asociaciones con el sistema de manejo y no como efectos causales demostrados.

10.1.1 Arena (%)

La arena corresponde a la fracción mineral de 2,00 a 0,05 mm y favorece la aireación y el drenaje. El manejo de conservación presentó 48,14 %, mientras que el testigo alcanzó 49,24 %. La diferencia no fue significativa (p = 0,676), por lo que las medias se consideran estadísticamente similares.

Tabla 35. Comparación del porcentaje de arena entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	48,14	5,71	0,676	No significativa
Testigo	49,24	2,58	0,676	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Ambos valores representan una proporción moderada de arena. La similitud es coherente con el carácter estable de la textura, que depende principalmente del material parental. La diferencia observada puede corresponder a heterogeneidad espacial o a pérdida selectiva de partículas finas, pero no puede atribuirse directamente al manejo de conservación.

Referencia de porcentajes si es bueno, malo regular

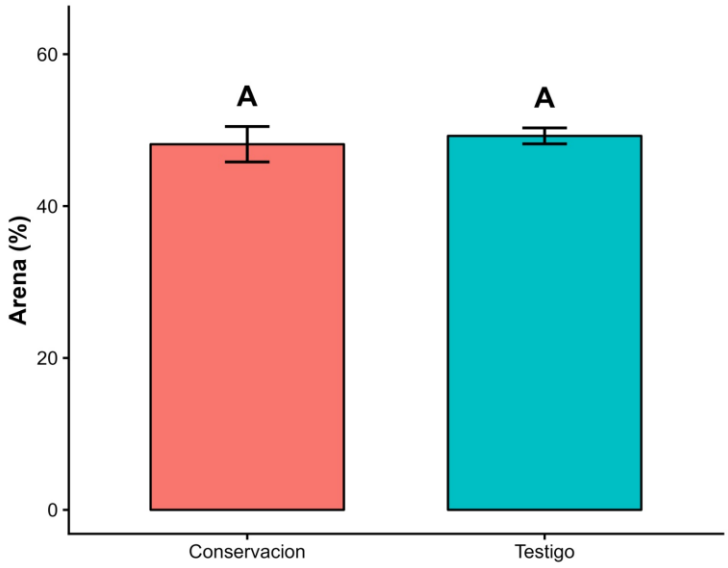

Figura 14. Media y desviación estándar del porcentaje de arena

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Al analizar la fracción de arena, el sistema con manejo de conservación registró 48,14 %, mientras que el área testigo presentó 49,24 %. De acuerdo con Lal y Shukla (2004), la arena está constituida por partículas relativamente grandes que favorecen la aireación, la infiltración y el drenaje del suelo; sin embargo, cuando se encuentra en proporciones elevadas también puede disminuir la capacidad para almacenar agua y nutrientes. A diferencia de otras propiedades, la arena no debe clasificarse individualmente como buena, regular o mala, debido a que su influencia depende de la proporción conjunta de limo y arcilla y de la estructura desarrollada en el suelo. El sistema de conservación presentó 1,10 puntos porcentuales menos de arena que el testigo, equivalente a una reducción numérica aproximada del 2,2 %. Esta pequeña variación podría estar relacionada con la heterogeneidad espacial del terreno o con una mayor conservación de las partículas finas en el área cubierta. No obstante, la diferencia no resultó estadísticamente significativa ($p = 0,676$), puesto que el valor de probabilidad fue superior al nivel de significancia de 0,05. Por consiguiente, no puede afirmarse que la cobertura de alfalfa, los residuos vegetales y las barreras vivas modificaron el porcentaje de arena; ambos sistemas presentaron una condición estadísticamente semejante para esta fracción textural. Además, la similitud observada es coherente con el carácter relativamente estable de la textura, la cual se encuentra determinada principalmente por el material parental y los procesos de formación del suelo. Por ello, los cambios asociados al manejo suelen evidenciarse con mayor rapidez en propiedades como la densidad aparente, la porosidad, la conductividad hidráulica y la materia orgánica, antes que en el contenido de arena.

10.1.2 Limo (%)

El limo es la fracción de tamaño intermedio entre arena y arcilla y puede favorecer la retención de agua, aunque en exceso incrementa la susceptibilidad al sellado superficial. Se registraron 41,06 % en conservación y 43,44 % en el testigo, sin diferencias significativas (p = 0,344).

Tabla 36. Comparación del porcentaje de limo entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	41,06	5,55	0,344	No significativa
Testigo	43,44	1,91	0,344	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Los dos sistemas presentaron una proporción elevada y semejante de limo. Por ello, la cobertura vegetal y el mantenimiento de agregados son importantes para reducir encostramiento y erosión. El resultado confirma que esta fracción textural permaneció estable durante el período evaluado.

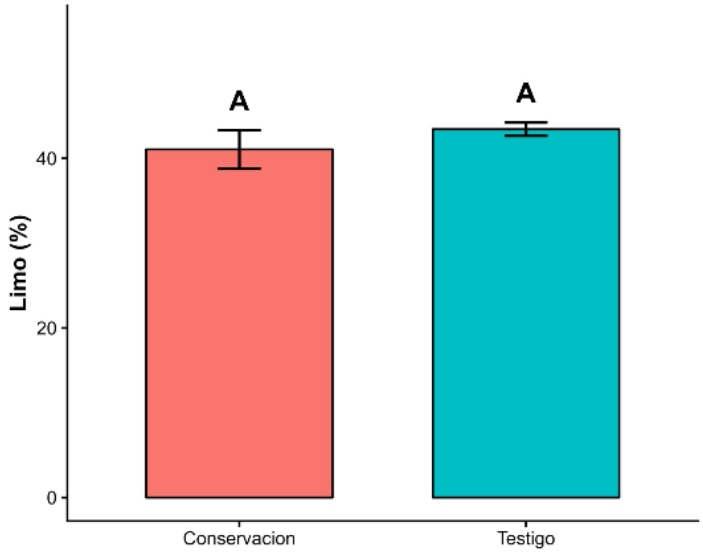

Figura 15. Media y desviación estándar del porcentaje de limo
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Respecto al contenido de limo, el manejo de conservación alcanzó 41,06 %, mientras que el testigo presentó 43,44 %. Brady y Weil (2016) explican que el limo corresponde a una fracción mineral de tamaño intermedio, con mayor capacidad para almacenar humedad que la arena, pero con menor superficie específica que la arcilla. Cuando esta fracción se

encuentra expuesta al impacto de la lluvia y posee baja estabilidad estructural, puede favorecer la formación de costras, el sellado superficial y el transporte de partículas por escorrentía. El área conservada presentó 2,38 puntos porcentuales menos de limo que el testigo, lo que representa una reducción numérica aproximada del 5,5 %. Sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 0,344), debido a que el valor de probabilidad superó 0,05. En consecuencia, no existe evidencia suficiente para afirmar que el manejo de conservación modificó la cantidad de limo; únicamente se observó una diferencia numérica entre las medias. La estabilidad estadística de esta fracción confirma que la textura no responde rápidamente a las prácticas de manejo. No obstante, la cobertura vegetal continúa siendo importante en suelos con una proporción considerable de limo, porque reduce el impacto directo de las gotas de lluvia y ayuda a conservar los agregados superficiales. Por tanto, aunque el manejo no alteró significativamente el porcentaje de limo, puede contribuir a proteger esta fracción frente al sellado y la erosión.

10.1.3 Arcilla (%)

La arcilla comprende partículas menores de 0,002 mm y contribuye a la retención de agua y cationes. El sistema con conservación presentó 10,79 %, frente a 7,32 % en el testigo, y la diferencia fue significativa (p = 0,0004).

Tabla 37. Comparación del porcentaje de arcilla entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	10,79	1,40	0,0004	Significativa
Testigo	7,32	0,89	0,0004	Significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Aunque la diferencia estadística indica una mayor proporción de partículas finas en el área conservada, ambos valores se ubican por debajo de 15 % y corresponden a contenidos bajos de arcilla. Debido a que la textura no cambia rápidamente, el resultado puede asociarse con menor pérdida selectiva de finos o con variación espacial inicial; no debe afirmarse que el manejo produjo arcilla nueva.

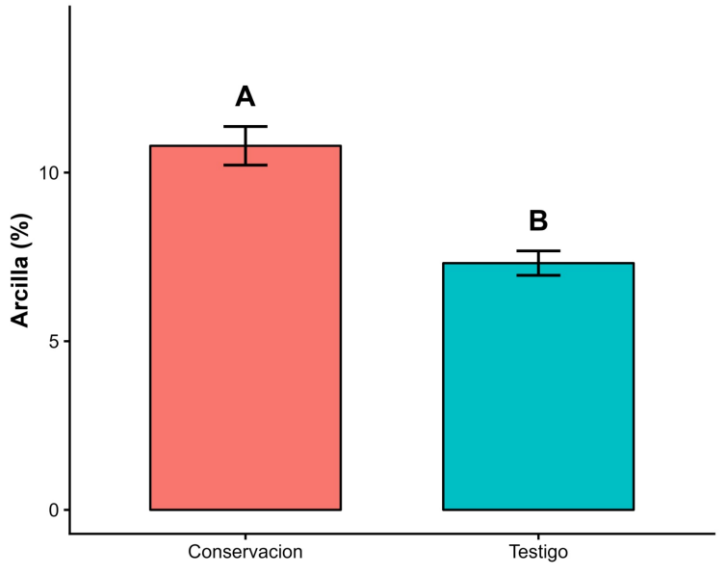

Figura 16. Media y desviación estándar del porcentaje de arcilla

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

En la presente investigación, el sistema con manejo de conservación registró 10,79 % de arcilla, mientras que el área testigo presentó 7,32 %. Según Brady y Weil (2016), la arcilla corresponde a la fracción más fina del suelo y posee una elevada superficie específica, por lo que participa en la retención de agua, nutrientes y cationes intercambiables. Sin embargo, su contenido debe interpretarse juntamente con los porcentajes de arena y limo, debido a que la combinación de las tres fracciones determina la clase textural y el comportamiento físico del suelo. El área con manejo de conservación presentó 3,47 puntos porcentuales más de arcilla que el testigo, equivalente a un incremento numérico aproximado del 47,4 %. Esta diferencia fue estadísticamente significativa ($p = 0,0004$), lo que evidencia que la proporción de partículas finas fue mayor en el área conservada. De acuerdo con la FAO (2006), la cobertura vegetal y la reducción de la escorrentía pueden contribuir a disminuir la pérdida selectiva de las partículas finas del horizonte superficial. Por ello, el resultado podría relacionarse con la cobertura de alfalfa, la permanencia de residuos y las barreras vivas, que reducen la exposición del suelo al impacto de la lluvia. No obstante, debido a que la textura cambia lentamente, no debe afirmarse que el manejo produjo arcilla nueva, sino que pudo favorecer su conservación o que existieron diferencias espaciales previas entre las áreas evaluadas.

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

La densidad aparente expresa la masa de suelo seco por unidad de volumen y constituye un indicador de compactación. El manejo de conservación registró 1,061 g cm^{-3} y el testigo 1,167 g cm^{-3}. La diferencia no alcanzó significancia estadística ($p = 0,0516$), aunque mostró una tendencia a menor densidad bajo conservación.

Los valores observados no evidencian una compactación severa y permiten inferir condiciones aceptables para aireación y raíces. La menor media bajo conservación representa una tendencia favorable, posiblemente relacionada con materia orgánica y raíces, pero la variabilidad de las muestras impide asegurar un efecto estadístico.

Tabla 38. Comparación de la densidad aparente entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	1,061	0,108	0,0516	No significativa
Testigo	1,167	0,045	0,0516	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

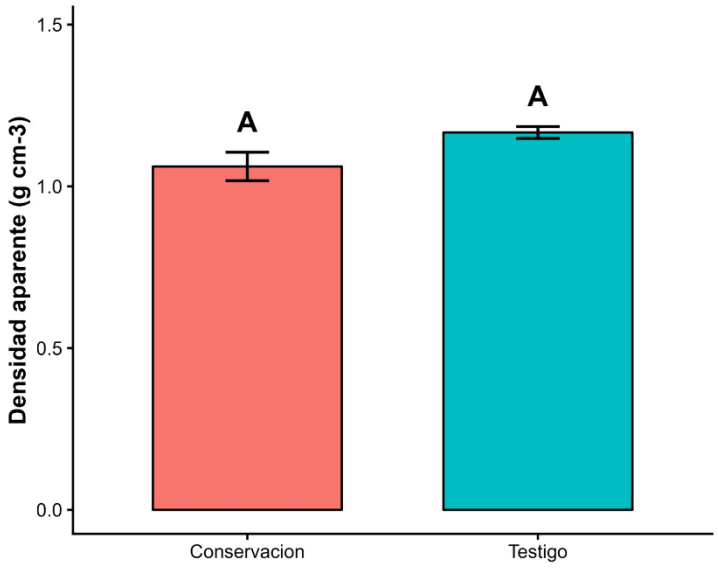

Figura 17. Media y desviación estándar de la densidad aparente

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

En lo relacionado con la densidad aparente, el sistema bajo conservación registró 1,061 g cm^{-3}, mientras que el testigo alcanzó 1,167 g cm^{-3}. El USDA-NRCS 2017 señala que esta propiedad debe interpretarse considerando la textura, debido a que los límites de compactación no son iguales en suelos arenosos, francos y arcillosos. Para suelos de textura franca, los valores inferiores a 1,40 g cm^{-3} se consideran favorables para el crecimiento vegetal; aproximadamente 1,63 g cm^{-3} puede empezar a afectar el desarrollo radicular y valores superiores a 1,80 g cm^{-3} pueden generar restricciones. De acuerdo con esta referencia, los valores registrados en ambos sistemas se encuentran dentro de un rango favorable y no evidencian condiciones severas de compactación. El manejo de conservación presentó una densidad aparente 0,106 g cm^{-3} menor que el testigo,

equivalente a una reducción numérica aproximada del 9,1 %. Esta tendencia podría estar relacionada con la presencia de raíces, la incorporación de residuos y el mayor contenido de materia orgánica, elementos que favorecen la formación de agregados y espacios porosos. A pesar de esta diferencia, el resultado no alcanzó significancia estadística (p = 0,0516), ya que el valor de probabilidad fue ligeramente superior a 0,05. En consecuencia, no se puede afirmar que el manejo redujo significativamente la densidad aparente; únicamente se identificó una tendencia favorable hacia una menor compactación. Debido a la cercanía del valor de p con el nivel de significancia, sería recomendable continuar el monitoreo y aumentar el número de muestras para determinar si esta tendencia se mantiene con el tiempo.

10.1.5 Porosidad ($cm^3\ cm^{-3}$)

La porosidad total representa la fracción del volumen ocupada por poros. El sistema de conservación registró 0,573 $cm^3\ cm^{-3}$ y el testigo 0,564 $cm^3\ cm^{-3}$; la diferencia no fue significativa (p = 0,618).

Tabla 39. Comparación de la porosidad total entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	0,573	0,036	0,618	No significativa
Testigo	0,564	0,021	0,618	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

El valor de 0,57 indica una porosidad total alta en los dos sistemas. La igualdad de la porosidad no contradice la diferencia en conductividad hidráulica, porque el movimiento del agua depende también del tamaño, continuidad y conectividad de los poros, aspectos que no se describen únicamente con la porosidad total.

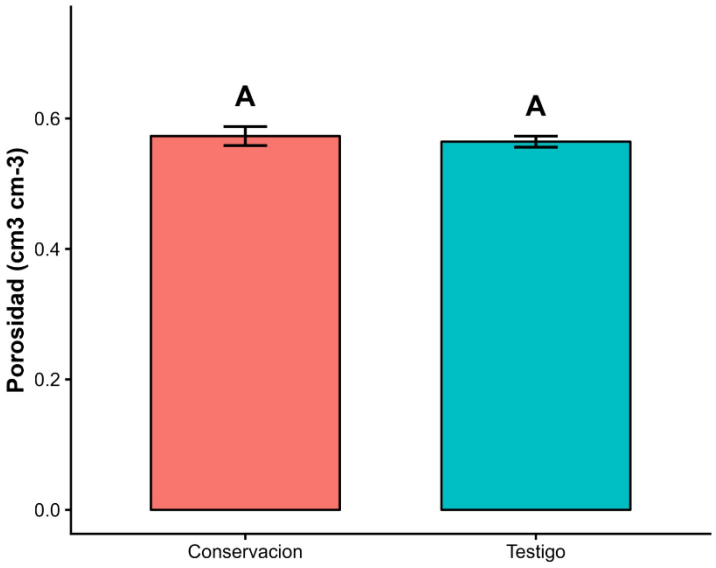

Figura 18. Media y desviación estándar de la porosidad total
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

En la presente investigación, el sistema con manejo de conservación registró una porosidad de 0,573 $cm^3\ cm^{-3}$, equivalente a 57,3 %, mientras que el área testigo presentó 0,564 $cm^3\ cm^{-3}$, correspondiente a 56,4 % de acuerdo con Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020, en donde la escala de interpretación de porosidad menciona que es un suelo favorable para un suelo mineral superficial. Ambos valores superaron ligeramente la referencia general de 50 %, por lo que evidencian una proporción favorable de espacios porosos para el almacenamiento de agua y el intercambio de aire. No obstante, la diferencia entre los sistemas fue de apenas 0,009 $cm^3\ cm^{-3}$, equivalente a 0,9 puntos porcentuales, y no resultó estadísticamente significativa ($p = 0,618$). Por tanto, no se puede afirmar que el manejo de conservación incrementó la porosidad total; únicamente se observó una diferencia numérica leve respecto del testigo.

10.1.6 Conductividad hidráulica (mm h^{-1})

La conductividad hidráulica mide la facilidad con la que el agua atraviesa el suelo. El área con manejo de conservación alcanzó 23,08 mm h^{-1}, mientras que el testigo presentó 17,02 mm h^{-1}. La diferencia fue significativa ($p = 0,0002$).

Tabla 40. Comparación de la conductividad hidráulica entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	23,08	1,68	0,0002	Significativa
Testigo	17,02	1,95	0,0002	Significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Según la escala utilizada en la investigación, el tratamiento de conservación se ubicó en un nivel medio y el testigo en un nivel bajo. La mayor conductividad bajo conservación indica una red de poros más funcional y favorece infiltración, recarga de humedad y reducción de escorrentía; este fue el indicador físico dinámico con la respuesta más clara al manejo.

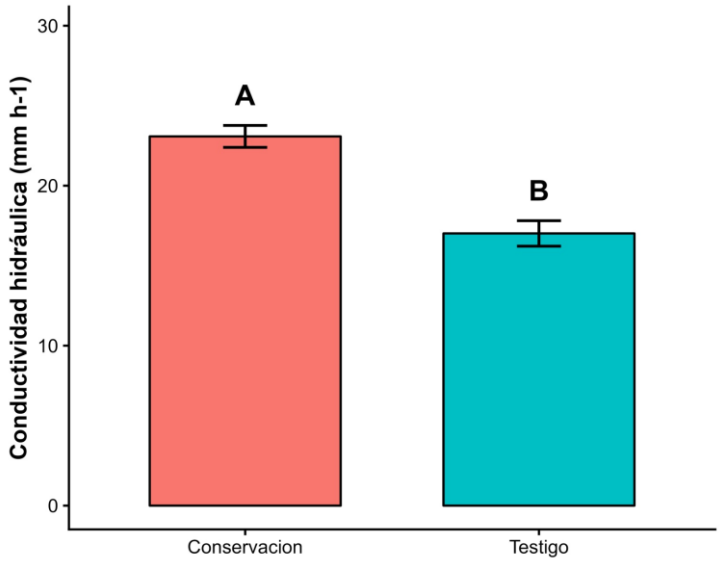

Figura 19. Media y desviación estándar de la conductividad hidráulica
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La evaluación del movimiento del agua en el suelo mostró una conductividad hidráulica de 23,08 mm h^{-1} en el sistema de conservación y de 17,02 mm h^{-1} en el testigo. Soil

Survey Staff (2024) clasifica como moderadamente alta la conductividad comprendida entre 3,60 y menos de 36,00 mm h^{-1}. En consecuencia, los dos sistemas pertenecieron a la categoría moderadamente alta, aunque el valor registrado en el área conservada fue superior. La diferencia entre los sistemas fue de 6,06 mm h^{-1}, equivalente a un incremento aproximado del 35,6 % respecto del testigo. Además, esta diferencia fue estadísticamente significativa ($p = 0,0002$), lo que demuestra que el manejo de conservación estuvo asociado con una mayor facilidad para transmitir agua a través del suelo. La clasificación por categorías no contradice el análisis estadístico: ambos suelos pueden pertenecer a una misma clase general y, aun así, presentar medias significativamente diferentes. Reynolds y Elrick (2021) señalan que la conductividad hidráulica depende especialmente de la continuidad de los macroporos, la estructura y el grado de compactación. Por ello, el resultado podría estar relacionado con los canales formados por las raíces de alfalfa, la actividad biológica y la menor alteración de los poros naturales. Esta respuesta constituye uno de los efectos físicos más claros del manejo de conservación y puede favorecer la infiltración, reducir la acumulación superficial del agua y disminuir el riesgo de escorrentía.

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

Las propiedades químicas se interpretaron considerando la reacción del suelo, la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y el complejo de intercambio. La significancia estadística indica si la diferencia entre las medias supera la variación interna de los sistemas; por tanto, una media numéricamente mayor no implica por sí sola un cambio significativo.

10.2.1 pH

El pH regula la solubilidad de nutrientes y la actividad biológica. El suelo con conservación presentó pH 8,05 y el testigo 8,88; la diferencia fue significativa ($p = 0,018$).

Tabla 41. Comparación del pH del suelo entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	8,05	0,55	0,018	Significativa
Testigo	8,88	0,46	0,018	Significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Ambos sistemas permanecieron en condición alcalina, pero el menor pH del área conservada representa una reacción relativamente más favorable para la disponibilidad de fósforo, hierro, zinc y manganeso. El resultado puede relacionarse con la mayor materia orgánica y la producción de ácidos orgánicos durante la descomposición de residuos.

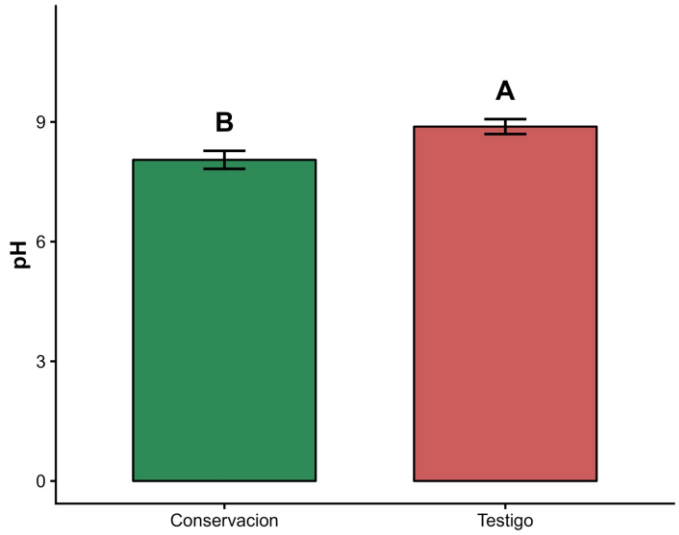

Figura 20. Media y desviación estándar del pH del suelo

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La reacción química del suelo presentó diferencias entre los sistemas, debido a que el área bajo conservación registró un pH de 8,05, mientras que el testigo alcanzó 8,88. Según Soil Survey Staff (2024), los valores comprendidos entre 7,9 y 8,4 corresponden a una reacción moderadamente alcalina, mientras que aquellos ubicados entre 8,5 y 9,0 se clasifican como fuertemente alcalinos. Por tanto, el sistema conservado presentó una condición moderadamente alcalina y el testigo una condición fuertemente alcalina. La diferencia fue de 0,83 unidades de pH y resultó estadísticamente significativa ($p = 0,018$). Este resultado demuestra que el manejo de conservación estuvo asociado con una menor alcalinidad del suelo. La disminución relativa del pH podría relacionarse con el mayor contenido de materia orgánica y con la producción de compuestos orgánicos durante la descomposición de los residuos vegetales. Sin embargo, los dos valores permanecieron por encima del intervalo neutro. Havlin et al. (2014) explican que en condiciones alcalinas puede reducirse la disponibilidad efectiva de fósforo, hierro, zinc y manganeso, debido a reacciones de precipitación o disminución de su solubilidad. Por ello, aunque el manejo presentó una reacción relativamente más favorable, la alcalinidad continúa siendo una condición que debe considerarse para interpretar la disponibilidad de nutrientes.

10.2.2 Materia orgánica (M.O.)

La materia orgánica mejora la agregación, la retención de agua, la CIC y el suministro de energía para los microorganismos. El manejo de conservación presentó 1,66 dag kg^{-1} y el testigo 0,85 dag kg^{-1}, con diferencia significativa (p = 0,032).

Tabla 42. Comparación de la materia orgánica entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	1,66	0,68	0,032	Significativa
Testigo	0,85	0,20	0,032	Significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

De acuerdo con la escala de interpretación incluida, el área conservada pasó de un nivel bajo a uno medio, mientras que el testigo permaneció bajo. La diferencia es consistente con la cobertura de alfalfa, el aporte de residuos y la menor exposición a la erosión, y ayuda a explicar la mayor biomasa microbiana y el menor pH observados.

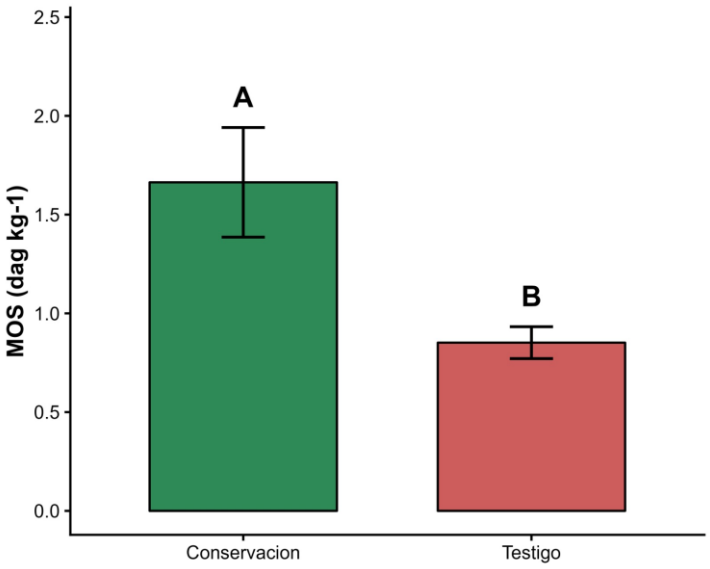

Figura 21. Media y desviación estándar de la materia orgánica

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Con relación a la reserva orgánica del suelo, el manejo de conservación registró 1,66 dag kg^{-1}, mientras que el testigo presentó 0,85 dag kg^{-1}. Sobral et al. (2015) establecen que los contenidos inferiores a 1,50 dag kg^{-1} corresponden a un nivel bajo, mientras que los valores comprendidos entre 1,50 y 3,00 dag kg^{-1} se clasifican como medios. De acuerdo

con esta escala, el sistema conservado presentó una cantidad media de materia orgánica, mientras que el testigo se ubicó en un nivel bajo. El área conservada superó al testigo en 0,81 dag kg^{-1}, equivalente a un incremento aproximado del 95,3 %. La diferencia fue estadísticamente significativa (p = 0,032), lo que evidencia una respuesta favorable del suelo frente a las prácticas implementadas. Este aumento puede relacionarse con la cobertura permanente de alfalfa, la incorporación de residuos vegetales y la reducción de la exposición superficial a la erosión. Bünemann et al. (2018) consideran la materia orgánica como uno de los indicadores más importantes de la calidad del suelo, debido a su participación en la agregación, la retención de humedad, el intercambio de cationes y la actividad microbiana. En este estudio, su mayor contenido también puede contribuir a explicar la tendencia hacia una menor densidad aparente, la mayor conductividad hidráulica y la mayor biomasa microbiana observada en el área conservada. Por tanto, la materia orgánica fue una de las variables químicas que mostró una respuesta significativa y coherente con el manejo establecido.

10.2.3 Potasio intercambiable

El potasio intercambiable participa en la regulación hídrica y el funcionamiento enzimático de las plantas. Se observaron 899,77 mg dm^{-3} en conservación y 816,27 mg dm^{-3} en el testigo, sin diferencia significativa (p = 0,273).

Tabla 43. Comparación del potasio intercambiable entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	899,77	162,14	0,273	No significativa
Testigo	816,27	49,00	0,273	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Ambos valores se clasifican como muy altos según la escala utilizada. La diferencia numérica de 67,08 mg dm^{-3} fue menor que la variabilidad interna, especialmente en conservación; por ello, no se puede afirmar que el manejo aumentó el potasio. La fertilización futura debe considerar estos niveles para evitar aplicaciones innecesarias.

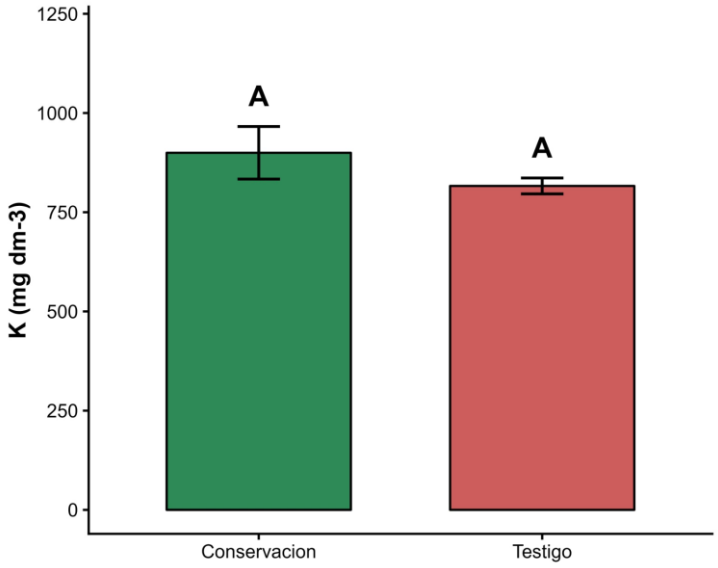

Figura 22. Media y desviación estándar del potasio intercambiable

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

En lo referente al potasio intercambiable, el sistema con manejo de conservación registró 899,77 mg dm^{-3}, mientras que el área testigo presentó 816,27 mg dm^{-3}. De acuerdo con Ribeiro et al. 1999, cuando el potasio es extraído mediante Mehlich-1, los contenidos superiores a 120 mg dm^{-3} se clasifican como muy altos. Por tanto, ambos sistemas se ubicaron dentro de la categoría muy alta, lo que indica una elevada cantidad de potasio extraíble en el suelo.

La diferencia entre los sistemas fue de 83,50 mg dm^{-3}, equivalente a un incremento numérico aproximado del 10,2 % en el área conservada. Sin embargo, esta diferencia no resultó estadísticamente significativa ($p = 0,273$), debido a que la variación entre las muestras fue mayor que la separación observada entre las medias. En consecuencia, no se puede afirmar que el manejo de conservación incrementó el potasio; únicamente se identificó una diferencia numérica favorable. Havlin et al. (2014) señalan que un contenido elevado de potasio no siempre representa una mayor fertilidad, porque también debe considerarse su equilibrio con calcio y magnesio. Por ello, futuras aplicaciones de fertilizantes potásicos deberían justificarse mediante un diagnóstico agronómico previo.

10.2.4 Fósforo disponible

El fósforo disponible participa en la transferencia de energía y el desarrollo radicular. El manejo de conservación presentó 601,27 mg dm^{-3} y el testigo 387,58 mg dm^{-3}. A pesar de la diferencia de medias, el resultado no fue significativo ($p = 0,102$).

Tabla 44. Comparación del fósforo disponible entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	601,27	216,73	0,102	No significativa
Testigo	387,58	192,54	0,102	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Los contenidos se ubican en la categoría muy alta de la escala empleada, pero mostraron desviaciones estándar elevadas. Esta variabilidad explica la ausencia de significancia y obliga a interpretar los valores de acuerdo con el extractante utilizado. No se recomienda atribuir el mayor promedio únicamente al manejo ni aplicar fósforo sin un diagnóstico complementario.

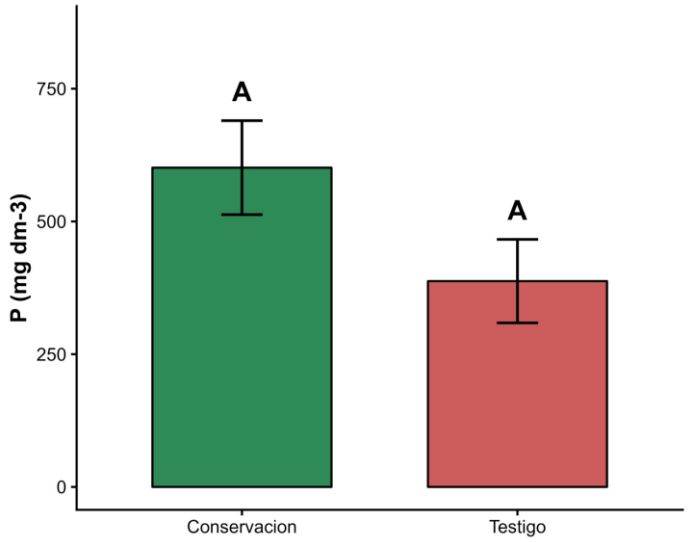

Figura 23. Media y desviación estándar del fósforo disponible

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Los resultados correspondientes al fósforo disponible mostraron un valor de 601,27 mg dm^{-3} en el manejo de conservación y de 387,58 mg dm^{-3} en el testigo. Sobral et al. (2015) indican que, en suelos con menos de 15 % de arcilla y fósforo extraído mediante Mehlich-1, los valores superiores a aproximadamente 25 mg dm^{-3} se consideran altos. Por consiguiente, los contenidos encontrados en ambos sistemas se ubicaron muy por encima

de este límite y pueden considerarse muy elevados, siempre que el método empleado por el laboratorio corresponda a dicho extractante.

El área conservada superó al testigo en 213,69 mg dm^{-3}, lo que representa un incremento numérico aproximado del 55,1 %. A pesar de esta diferencia, el resultado no fue estadísticamente significativo (p = 0,102), principalmente por las desviaciones estándar elevadas de 216,73 y 192,54 mg dm^{-3}. Esto evidencia una considerable heterogeneidad espacial en la distribución del fósforo. Teixeira et al. (2017) explican que la interpretación de este nutriente depende del método de extracción, la textura y el pH. En este caso, la reacción alcalina puede favorecer la formación de compuestos de fósforo con calcio y reducir su disponibilidad efectiva, aunque el análisis reporte concentraciones altas. Por tanto, no debe atribuirse el mayor promedio únicamente al manejo ni recomendar nuevas aplicaciones sin un diagnóstico complementario.

10.2.5 Calcio intercambiable

El calcio intercambiable contribuye a la estabilidad de agregados y al equilibrio del complejo de intercambio. Se registraron 3,84 cmolc dm^{-3} en conservación y 3,59 cmolc dm^{-3} en el testigo, sin diferencia significativa (p = 0,333).

Tabla 45. Comparación del calcio intercambiable entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	3,84	0,37	0,333	No significativa
Testigo	3,59	0,47	0,333	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Los dos sistemas presentaron niveles medios de calcio según la escala de la investigación, la cercanía de las medias y la variabilidad observada indican que esta propiedad se mantuvo estable; por tanto, el manejo de conservación no produjo un cambio estadísticamente demostrable durante el período de estudio.

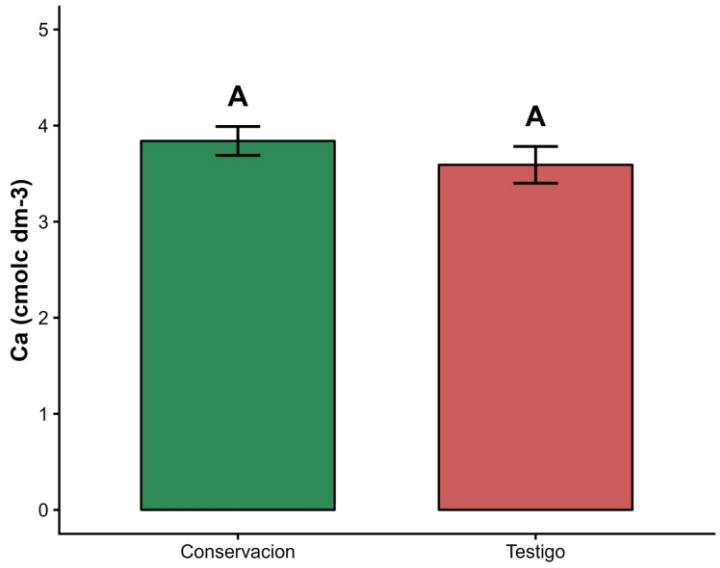

Figura 24. Media y desviación estándar del calcio intercambiable
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Al evaluar el calcio intercambiable, el manejo de conservación alcanzó 3,84 cmolc dm^{-3}, mientras que el testigo registró 3,59 cmolc dm^{-3}. Según Sobral et al. (2015), los contenidos menores de 1,60 cmolc dm^{-3} se consideran bajos, los comprendidos entre 1,60 y 3,00 cmolc dm^{-3} se clasifican como medios y los superiores a 3,00 cmolc dm^{-3} corresponden a un nivel alto. De acuerdo con esta escala, ambos sistemas presentaron contenidos altos de calcio intercambiable. La diferencia fue de 0,25 cmolc dm^{-3}, equivalente a un incremento numérico aproximado del 7,0 % en el área conservada. No obstante, esta variación no fue estadísticamente significativa ($p = 0,333$). Por esta razón, no se puede afirmar que el manejo produjo un aumento del calcio, sino que esta propiedad se mantuvo estadísticamente estable. Brady y Weil (2016) indican que el calcio contribuye a la floculación de las arcillas y a la estabilidad estructural, pero su interpretación debe realizarse junto con el magnesio, potasio, sodio, pH y capacidad de intercambio catiónico. En este estudio, los niveles altos fueron comunes a ambos sistemas.

10.2.6 Magnesio intercambiable

El magnesio forma parte de la clorofila y actúa como catión intercambiable. El manejo de conservación alcanzó 3,03 cmolc dm^{-3} y el testigo 2,77 cmolc dm^{-3}; no existieron diferencias significativas ($p = 0,543$).

Tabla 46. Comparación del magnesio intercambiable entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	3,03	0,65	0,543	No significativa

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Testigo	2,77	0,78	0,543	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Los contenidos fueron altos y, en el caso de conservación, se ubicaron en el límite de la categoría muy alta. La diferencia numérica fue pequeña frente a la dispersión de los datos, lo que indica estabilidad del magnesio y ausencia de respuesta estadística al manejo.

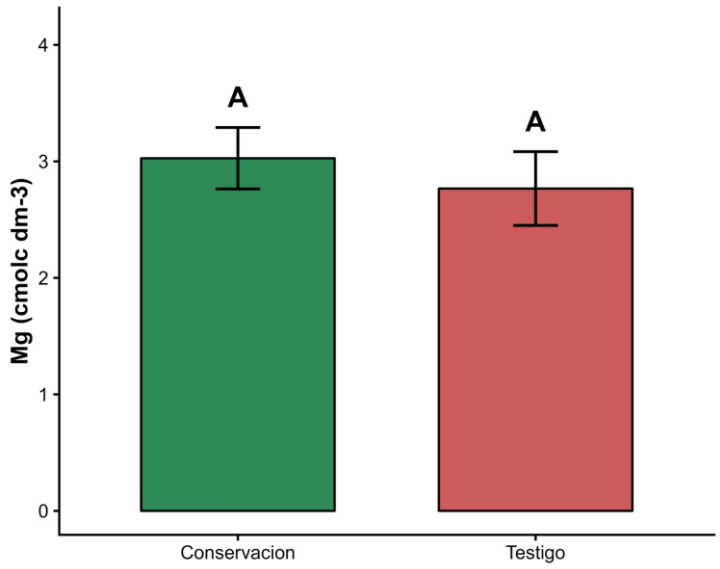

Figura 25. Media y desviación estándar del magnesio intercambiable

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Con respecto al magnesio intercambiable, se registraron 3,03 cmolc dm^{-3} bajo conservación y 2,77 cmolc dm^{-3} en el testigo. De acuerdo con Sobral et al. (2015), los valores inferiores a 0,40 cmolc dm^{-3} son bajos, aquellos comprendidos entre 0,40 y 1,00 cmolc dm^{-3} son medios y los superiores a 1,00 cmolc dm^{-3} se consideran altos. Por tanto, ambos sistemas presentaron niveles altos de magnesio.

La diferencia entre las medias fue de 0,26 cmolc dm^{-3}, equivalente a un incremento numérico aproximado del 9,4 % en el sistema conservado. Sin embargo, el resultado no fue estadísticamente significativo ($p = 0,543$), debido a que la diferencia fue pequeña frente a la dispersión de los datos. Havlin et al. (2014) explican que la disponibilidad del magnesio depende de su competencia con calcio y potasio por los sitios de intercambio. En consecuencia, aunque los contenidos fueron altos, no existe evidencia de que el

manejo de conservación haya modificado significativamente este catión durante el periodo evaluado.

10.2.7 Azufre disponible

El azufre disponible, principalmente en forma de sulfato, participa en aminoácidos y proteínas. Se registraron 3,97 mg dm^{-3} en conservación y 4,63 mg dm^{-3} en el testigo, sin diferencia significativa (p = 0,517).

Tabla 47. Comparación del azufre disponible entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	3,97	2,15	0,517	No significativa
Testigo	4,63	1,08	0,517	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Ambos valores se clasifican como bajos de acuerdo con la escala utilizada. Por tanto, aunque el manejo no modificó esta variable, el resultado identifica una posible limitación común a los dos sistemas que debería confirmarse mediante análisis foliar y requerimiento del cultivo antes de definir una fertilización azufrada.

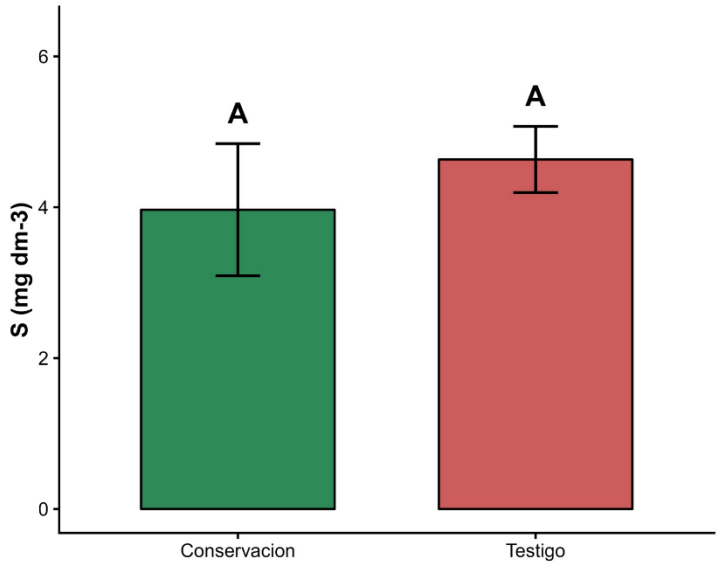

Figura 26. Media y desviación estándar del azufre disponible

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La determinación del azufre disponible evidenció un contenido de 3,97 mg dm^{-3} en el área conservada y de 4,63 mg dm^{-3} en el testigo. Según Ribeiro et al. (1999), la interpretación del azufre debe considerar el método de extracción y la capacidad de adsorción del suelo; no obstante, los valores próximos o inferiores a 4 mg dm^{-3} suelen ubicarse en categorías bajas. De acuerdo con la escala utilizada en la investigación, ambos sistemas presentaron contenidos bajos, aunque el valor del testigo fue ligeramente superior.

El manejo de conservación registró 0,66 mg dm^{-3} menos de azufre, equivalente a una disminución numérica aproximada del 14,3 % respecto del testigo. Esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0,517$), por lo que no se puede afirmar que el manejo disminuyó o modificó la disponibilidad del elemento. Havlin et al. (2014) señalan que el sulfato puede perderse por lixiviación y que buena parte del azufre del suelo depende de la mineralización de la materia orgánica. En este caso, la condición baja fue común a ambos sistemas y debería confirmarse mediante análisis foliar y requerimientos del cultivo antes de establecer una fertilización azufrada.

10.2.8 Zinc disponible

El zinc disponible interviene en enzimas y regulación del crecimiento. El área conservada presentó 4,85 mg dm^{-3} y el testigo 3,48 mg dm^{-3}, sin diferencia significativa ($p = 0,333$).

Tabla 48. Comparación del zinc disponible entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	4,85	3,03	0,333	No significativa
Testigo	3,48	0,97	0,333	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Los dos valores corresponden a contenidos muy altos en la escala aplicada. La elevada desviación estándar del tratamiento de conservación indica heterogeneidad espacial, por lo que el mayor promedio no representa un efecto estadístico. En suelos alcalinos también debe considerarse que la concentración extraíble no garantiza disponibilidad uniforme para las plantas.

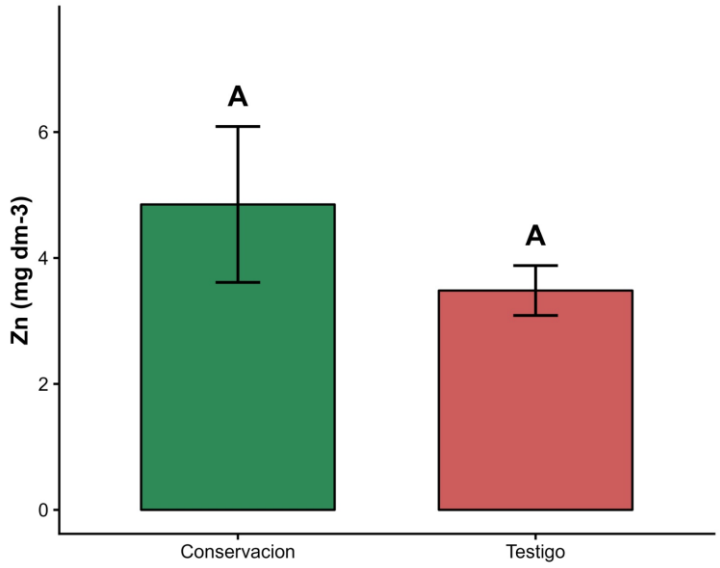

Figura 27. Media y desviación estándar del zinc disponible

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Para el zinc disponible se obtuvieron 4,85 mg dm^{-3} en el manejo de conservación y 3,48 mg dm^{-3} en el testigo. Ribeiro et al. (1999) clasifican como muy altos los contenidos superiores a 2,20 mg dm^{-3} cuando se emplea Mehlich-1. De acuerdo con esta referencia, ambos resultados se ubicaron en la categoría muy alta, siempre que el procedimiento utilizado por el laboratorio coincida con el método señalado.

El área conservada presentó 1,37 mg dm^{-3} más de zinc, equivalente a un incremento numérico aproximado del 39,4 %. No obstante, la diferencia no resultó estadísticamente significativa ($p = 0,333$), debido principalmente a la alta desviación estándar del sistema de conservación, que alcanzó 3,03 mg dm^{-3}. Esta dispersión indica que el elemento no se distribuyó de manera uniforme en el terreno. Havlin et al. (2014) mencionan que la disponibilidad del zinc disminuye en condiciones alcalinas. Por ello, aunque la concentración extraíble fue muy alta, el pH elevado puede limitar su absorción efectiva por las plantas y el mayor promedio no debe considerarse un efecto comprobado del manejo.

10.2.9 Hierro disponible

El hierro participa en procesos enzimáticos y en la síntesis de clorofila. Se obtuvieron 18,07 mg dm^{-3} en conservación y 15,18 mg dm^{-3} en el testigo, sin diferencias significativas ($p = 0,426$).

Tabla 49. Comparación del hierro disponible entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	18,07	7,31	0,426	No significativa
Testigo	15,18	4,18	0,426	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Ambos sistemas presentaron niveles altos según la escala de la investigación. La similitud estadística indica que el manejo no modificó de forma demostrable la fracción extraíble. Debido al pH alcalino, conviene complementar el diagnóstico con síntomas del cultivo o análisis foliar, ya que la solubilidad del hierro disminuye cuando aumenta el pH.

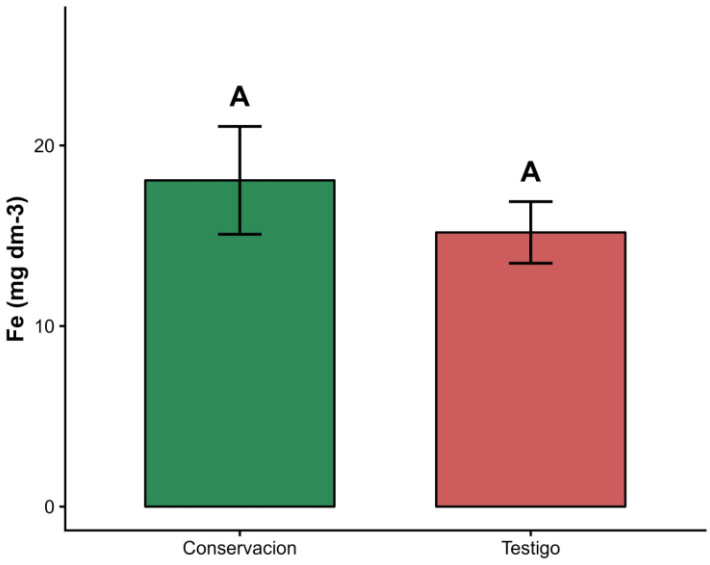

Figura 28. Media y desviación estándar del hierro disponible

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

En el caso del hierro disponible, el sistema con manejo de conservación registró 18,07 mg dm^{-3}, mientras que el testigo presentó 15,18 mg dm^{-3}. Conforme a la escala de Ribeiro et al. (1999), los valores entre 9 y 18 mg dm^{-3} corresponden a un nivel bajo, mientras que los contenidos entre 19 y 30 mg dm^{-3} se ubican en una categoría media. En consecuencia, el valor del manejo de conservación se encontró en el límite superior del nivel bajo y próximo a la categoría media, mientras que el testigo permaneció dentro del nivel bajo.

La diferencia fue de 2,89 mg dm^{-3}, equivalente a un incremento numérico aproximado del 19,0 % en conservación. Sin embargo, esta variación no resultó estadísticamente significativa ($p = 0,426$), por lo que no puede atribuirse directamente al manejo. Havlin

et al. (2014) explican que la solubilidad del hierro disminuye a medida que aumenta el pH, razón por la cual un análisis químico puede indicar presencia del elemento sin garantizar su disponibilidad para las raíces. Por tanto, el diagnóstico debería complementarse con observaciones de clorosis y análisis foliar, especialmente por la reacción alcalina encontrada en ambos suelos.

10.2.10 Manganeso disponible

El manganeso participa en fotosíntesis y reacciones enzimáticas. El manejo de conservación presentó 32,72 mg dm^{-3} y el testigo 20,57 mg dm^{-3}, sin diferencia significativa (p = 0,065).

Tabla 50. Comparación del manganeso disponible entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	32,72	12,50	0,065	No significativa
Testigo	20,57	5,02	0,065	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Aunque la media fue mayor bajo conservación, la desviación estándar de 12,55 mg dm^{-3} mostró una alta variabilidad. Esta dispersión impidió demostrar significancia. Los contenidos fueron altos a muy altos, por lo que la interpretación debe considerar el pH y las condiciones de oxidación-reducción.

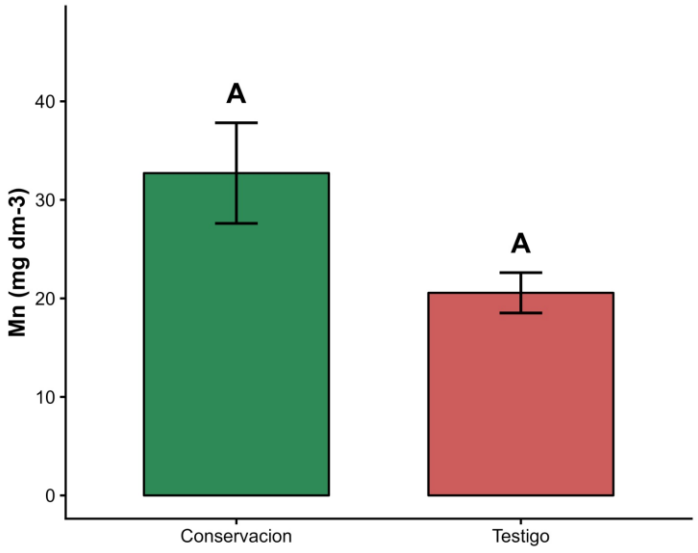

Figura 29. Media y desviación estándar del manganeso disponible

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

El comportamiento del manganeso mostró valores de 32,72 mg dm^{-3} en el área bajo conservación y 20,57 mg dm^{-3} en el testigo. De acuerdo con Ribeiro et al. (1999), los contenidos superiores a 12 mg dm^{-3} se clasifican como muy altos cuando se utiliza Mehlich-1. Por ello, los dos sistemas presentaron concentraciones muy altas de manganeso disponible según la escala analítica empleada.

El sistema de conservación superó al testigo en 12,15 mg dm^{-3}, equivalente a un incremento numérico aproximado del 59,1 %. A pesar de esta diferencia considerable, el resultado no alcanzó significancia estadística (p = 0,065), debido a la elevada desviación estándar del tratamiento conservado. El valor de probabilidad fue cercano a 0,05, por lo que puede hablarse de una tendencia, pero no de un efecto demostrado. Brady y Weil (2016) indican que la disponibilidad del manganeso depende del pH, la aireación, la humedad y las condiciones de oxidación-reducción. En consecuencia, los contenidos altos deben interpretarse con cautela, particularmente por la alcalinidad del suelo y la variabilidad espacial observada.

10.2.11 Cobre disponible

El cobre participa en procesos enzimáticos y se retiene fuertemente en la materia orgánica y los coloides. Se registraron 1,85 mg dm^{-3} en conservación y 2,18 mg dm^{-3} en el testigo, sin diferencia significativa (p = 0,099).

Tabla 51. Comparación del cobre disponible entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	1,85	0,27	0,099	No significativa

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Testigo	2,18	0,35	0,099	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

El testigo presentó una media ligeramente mayor, pero la variación no superó la variabilidad interna. Los niveles se ubicaron entre altos y muy altos según la escala empleada; por tanto, la conservación no generó un cambio estadístico y no existe evidencia para recomendar aportes adicionales de cobre.

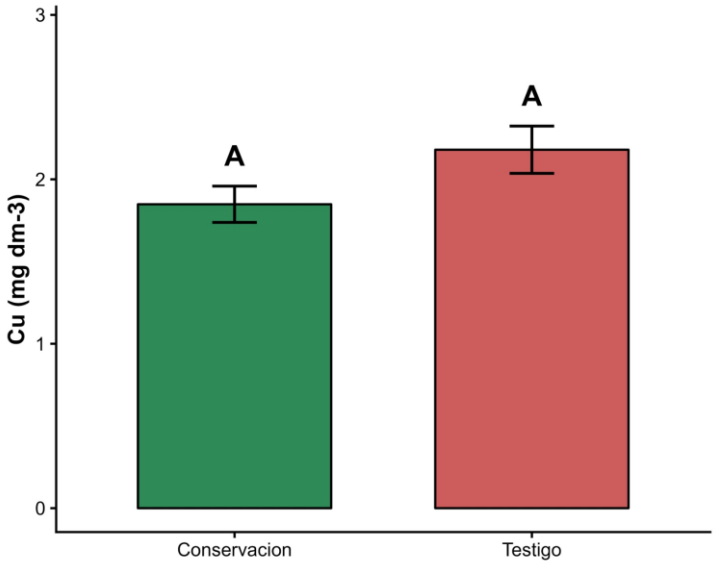

Figura 30. Media y desviación estándar del cobre disponible

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

En cuanto al cobre disponible, se observaron 1,85 mg dm^{-3} bajo conservación y 2,18 mg dm^{-3} en el testigo. Según Ribeiro et al. (1999), los valores superiores a 1,80 mg dm^{-3} corresponden a contenidos muy altos cuando se emplea Mehlich-1. Por tanto, ambos sistemas presentaron una categoría muy alta, aunque el manejo de conservación se ubicó muy cerca del límite inferior de esta clasificación.

El testigo presentó 0,33 mg dm^{-3} más de cobre, equivalente a una diferencia aproximada del 17,8 % respecto del sistema conservado. Sin embargo, la variación no fue estadísticamente significativa (p = 0,099), ya que el valor de probabilidad superó 0,05.

En consecuencia, no puede afirmarse que el testigo haya acumulado más cobre por efecto de su condición de manejo. Havlin et al. (2014) señalan que este micronutriente se adsorbe fuertemente a la materia orgánica y a los coloides minerales, lo que limita su movilidad. Debido a que ambos contenidos fueron elevados, no existe evidencia que justifique aportes adicionales sin una evaluación específica del cultivo.

10.2.12 Boro disponible

El boro interviene en la formación de paredes celulares y en la reproducción vegetal. El manejo de conservación presentó 0,29 mg dm^{-3} y el testigo 0,39 mg dm^{-3}, sin diferencia significativa (p = 0,290).

Tabla 52. Comparación del boro disponible entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	0,29	0,18	0,290	No significativa
Testigo	0,39	0,12	0,290	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Ambos valores se ubicaron en un nivel medio. La similitud estadística indica que la disponibilidad de boro permaneció estable y estuvo probablemente más relacionada con la humedad, la textura y la adsorción que con el sistema de manejo durante el período evaluado.

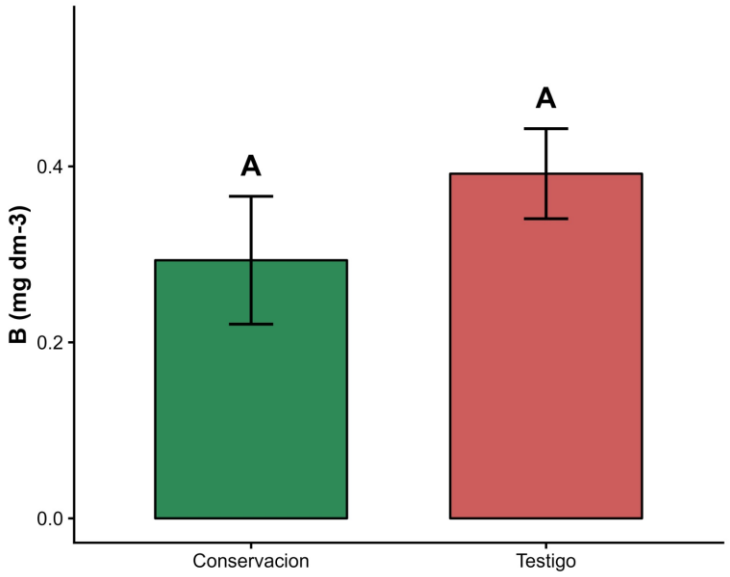

Figura 31. Media y desviación estándar del boro disponible
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Los datos obtenidos para el boro disponible indicaron 0,29 mg dm^{-3} en el sistema con conservación y 0,39 mg dm^{-3} en el testigo. De acuerdo con Ribeiro et al. (1999), los contenidos comprendidos entre 0,16 y 0,35 mg dm^{-3} corresponden a un nivel bajo, mientras que aquellos entre 0,36 y 0,60 mg dm^{-3} se clasifican como medios. Por consiguiente, el área conservada presentó un contenido bajo, mientras que el testigo se ubicó en un nivel medio.

El testigo superó al manejo de conservación en 0,10 mg dm^{-3}, equivalente a una diferencia numérica aproximada del 34,5 %. No obstante, esta variación no resultó estadísticamente significativa (p = 0,290). Por tanto, la ubicación de los sistemas en categorías distintas no demuestra una diferencia ocasionada por el manejo. Havlin et al. (2014) mencionan que la disponibilidad del boro está influenciada por la humedad, la textura, la materia orgánica y el pH. Debido a su estrecho intervalo entre deficiencia y toxicidad, cualquier recomendación debería basarse también en el requerimiento del cultivo y en análisis complementarios.

10.2.13 Acidez potencial ($H + Al^{3+}$)

La acidez potencial $H + Al^{3+}$ representa la reserva de acidez asociada al complejo de intercambio. Se observaron 1,22 cmolc dm^{-3} en conservación y 0,98 cmolc dm^{-3} en el testigo, sin diferencia significativa (p = 0,273).

Tabla 53. Comparación de la acidez potencial entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	1,22	0,26	0,273	No significativa
Testigo	0,98	0,37	0,273	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Los valores fueron bajos en relación con la reacción alcalina de ambos suelos. La ausencia de significancia indica que el manejo no modificó esta propiedad. En este caso, la principal limitación química no fue la acidez, sino la alcalinidad evidenciada por los valores de pH.

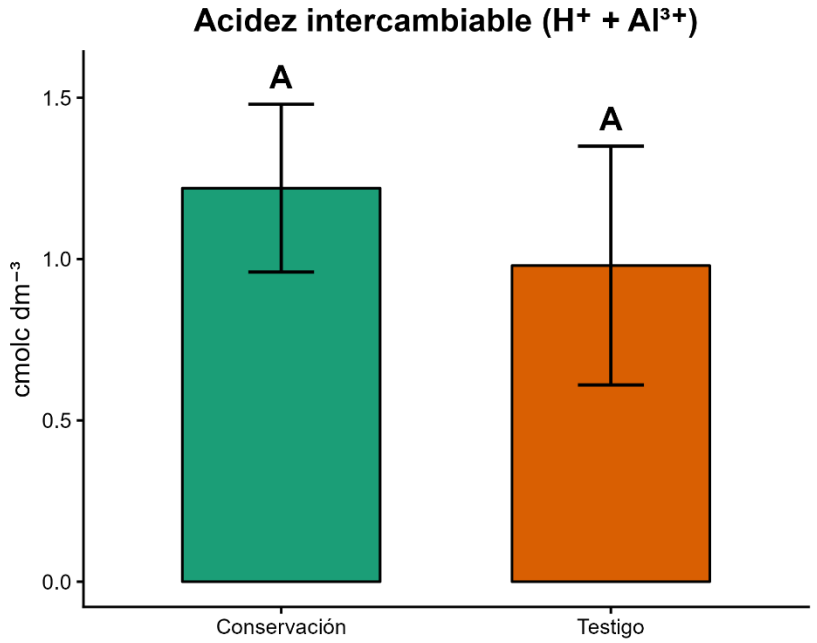

Figura 32. Media y desviación estándar de la acidez potencial

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La acidez potencial presentó 1,22 cmolc dm^{-3} en el manejo de conservación y 0,98 cmolc dm^{-3} en el área testigo. Ribeiro et al. (1999) clasifican como muy bajos los valores iguales o inferiores a 1,00 cmolc dm^{-3} y como bajos los comprendidos entre 1,01 y 2,50 cmolc dm^{-3}. Por ello, el sistema conservado presentó una acidez potencial baja, mientras que el testigo se ubicó en la categoría muy baja.

La diferencia fue de 0,24 cmolc dm^{-3}, equivalente a un incremento numérico aproximado del 24,5 % en conservación. Sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa (p = 0,273). En consecuencia, el manejo no produjo un cambio comprobable en la reserva de acidez. Sobral et al. (2015) explican que H + Al complementa la interpretación del pH y participa en el cálculo de la CIC potencial. En este estudio, los valores reducidos son coherentes con la reacción alcalina de los dos suelos, por lo que la principal limitación química no fue la acidez, sino el pH elevado.

10.2.14 Suma de bases (SB)

La suma de bases integra los contenidos intercambiables de calcio, magnesio, potasio y sodio. El manejo de conservación presentó 9,17 cmolc dm^{-3} y el testigo 8,45 cmolc dm^{-3}, sin diferencia significativa (p = 0,187).

Tabla 54. Comparación de la suma de bases entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	9,17	0,69	0,187	No significativa
Testigo	8,45	1,03	0,187	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La semejanza entre los sistemas es coherente con la ausencia de diferencias en calcio, magnesio y potasio. El valor ligeramente mayor en conservación constituye una tendencia, pero no una respuesta estadística; por ello, se interpreta como mantenimiento del complejo de bases y no como incremento demostrado.

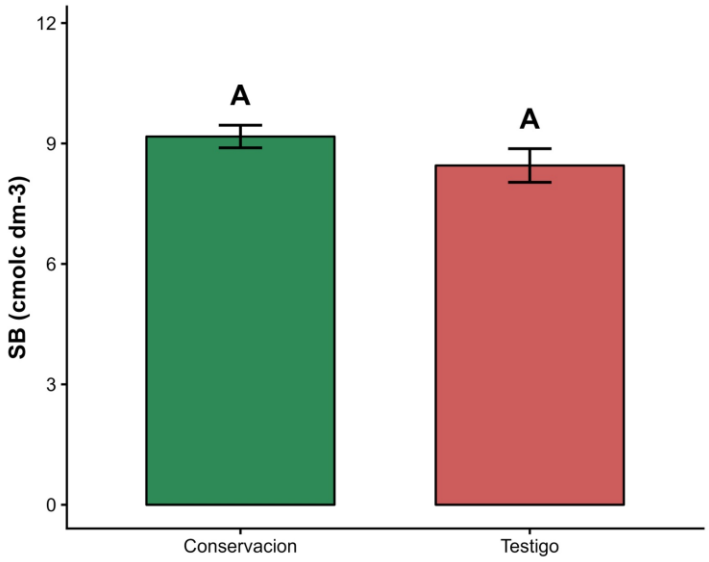

Figura 33. Media y desviación estándar de la suma de bases

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

10.2.14 Suma de bases intercambiables (SB)

La suma de bases alcanzó 9,17 cmolc dm^{-3} en el sistema de conservación y 8,45 cmolc dm^{-3} en el testigo. De acuerdo con Ribeiro et al. (1999), los valores superiores a 6,00 cmolc dm^{-3} se clasifican como muy altos. En consecuencia, ambos sistemas presentaron una suma de bases muy alta, en concordancia con los contenidos de calcio, magnesio y potasio y con la reacción alcalina observada.

El área conservada presentó 0,72 cmolc dm^{-3} más, equivalente a un incremento numérico aproximado del 8,5 %. A pesar de ello, la diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0,187$). Por tanto, no se puede sostener que el manejo incrementó la cantidad total de bases intercambiables; solamente se observó una tendencia numérica. Sobral et al. (2015) indican que esta variable debe interpretarse junto con la CIC y la saturación de bases, debido a que un valor elevado no informa por sí solo si existe un equilibrio adecuado entre calcio, magnesio, potasio y sodio.

10.2.15 Capacidad de intercambio catiónico (CIC a pH 7,0)

La capacidad de intercambio catiónico expresa la cantidad de cationes que el suelo puede retener e intercambiar. Se registraron 9,86 cmolc dm^{-3} en conservación y 8,98 cmolc dm^{-3} en el testigo, sin diferencia significativa ($p = 0,122$).

Tabla 55. Comparación de la capacidad de intercambio catiónico entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	9,86	0,70	0,122	No significativa
Testigo	8,98	1,03	0,122	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La CIC fue estadísticamente similar, lo que indica una capacidad comparable para retener nutrientes. Aunque la materia orgánica fue mayor en conservación, el tiempo de manejo y la variabilidad del contenido de arcilla pueden haber limitado una respuesta detectable de esta propiedad.

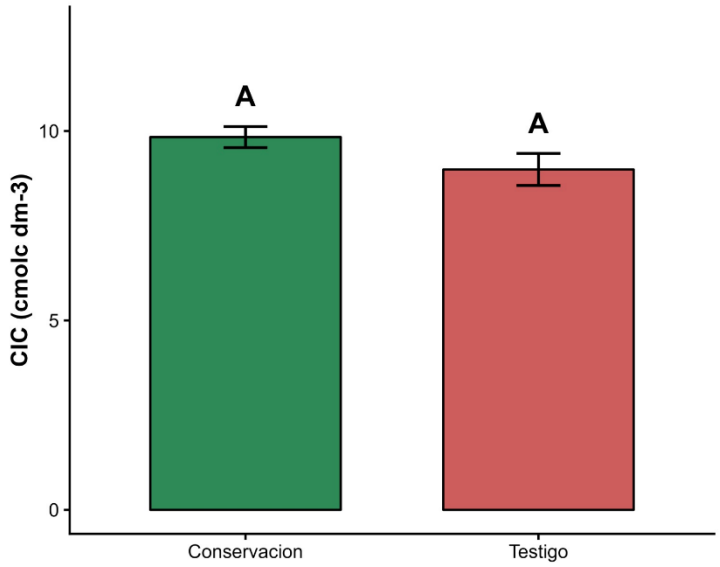

Figura 34. Media y desviación estándar de la capacidad de intercambio catiónico

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Respecto a la capacidad de intercambio catiónico, el suelo bajo conservación registró 9,86 cmolc dm^{-3}, mientras que el testigo alcanzó 8,98 cmolc dm^{-3}. Sobral et al. (2015) consideran bajos los valores inferiores a 5,00 cmolc dm^{-3}, medios los contenidos entre 5,00 y 15,00 cmolc dm^{-3} y altos aquellos superiores a 15,00 cmolc dm^{-3}. De acuerdo con esta escala, ambos sistemas presentaron una CIC media, lo que indica una capacidad intermedia para retener e intercambiar nutrientes.

La diferencia fue de 0,88 cmolc dm^{-3}, equivalente a un incremento numérico aproximado del 9,8 % en el área conservada. Sin embargo, el resultado no fue estadísticamente significativo ($p = 0,122$). En consecuencia, no se puede afirmar que el mayor contenido de materia orgánica haya incrementado todavía la CIC de forma demostrable. Brady y Weil (2016) señalan que esta propiedad depende principalmente de la cantidad y tipo de arcilla, la materia orgánica y el pH. Es posible que el tiempo de manejo o la variabilidad natural del suelo no hayan permitido detectar una respuesta significativa durante el periodo estudiado.

10.2.16 Saturación de bases (Sat_B)

La saturación de bases representa el porcentaje de la CIC ocupado por cationes básicos. Los valores fueron 93,21 % en conservación y 94,00 % en el testigo, sin diferencia significativa (p = 0,292).

Tabla 56. Comparación de la saturación de bases entre los sistemas evaluados

Sistema	Media	Desviación estándar	p-valor	Resultado
Manejo de conservación	93,21	1,50	0,292	No significativa
Testigo	94,00	0,81	0,292	No significativa

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La saturación fue muy alta y prácticamente igual en ambos sistemas, en concordancia con el pH alcalino y el predominio de bases intercambiables. Este resultado indica que la proporción de sitios ocupados por bases permaneció estable, aunque no permite evaluar por sí sola el equilibrio específico entre calcio, magnesio, potasio y sodio.

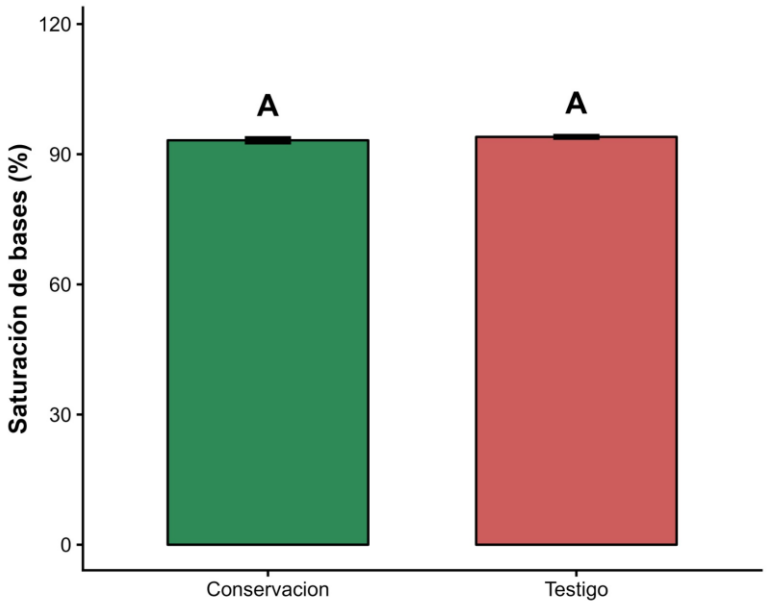

Figura 35. Media y desviación estándar de la saturación de bases

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La proporción de la CIC ocupada por bases fue de 93,21 % en el manejo de conservación y de 94,00 % en el testigo. Según Ribeiro et al. (1999), los valores superiores al 80 % corresponden a una saturación de bases muy alta. Por tanto, ambos suelos se ubicaron en la categoría muy alta, lo que confirma el predominio de calcio, magnesio, potasio y otros cationes básicos en el complejo de intercambio.

El testigo presentó solamente 0,79 puntos porcentuales más, equivalente a una diferencia numérica aproximada del 0,8 %. Esta variación no resultó estadísticamente significativa ($p = 0,292$), por lo que la saturación de bases se mantuvo prácticamente igual entre los sistemas. Havlin et al. (2014) advierten que una saturación elevada no garantiza por sí sola una fertilidad equilibrada, porque es necesario conocer la proporción individual de los cationes y la posible presencia de sodio. En este caso, el resultado es coherente con el pH alcalino y demuestra que el manejo de conservación no modificó significativamente esta propiedad.

10.3 Caracterización de variables biológicas en el suelo de la Terraza de Banco N.° 1

Los indicadores biológicos se interpretaron de manera descriptiva. El número de réplicas independientes disponible no fue suficiente para aplicar una prueba t confiable; por ello, las diferencias observadas no se califican como significativas o no significativas, sino como tendencias que deben verificarse mediante un muestreo con mayor replicación.

10.3.1 Biomasa microbiana

La biomasa microbiana representa la cantidad operacional de microorganismos vivos detectada en el suelo. En el sistema con conservación se obtuvieron 519 y 555 µg g^{-1}, con un promedio descriptivo de 537 µg g^{-1}, mientras que el testigo presentó 475 µg g^{-1}. La diferencia descriptiva fue de 62 µg g^{-1} (13,05 % respecto del testigo). Esta tendencia es coherente con el mayor contenido de materia orgánica, pero no constituye evidencia estadística porque solo se dispuso de dos observaciones de conservación y una del testigo.

Tabla 57. Indicadores biológicos observados en los sistemas evaluados

Indicador	Manejo de conservación	Testigo	Análisis
Biomasa microbiana (µg g^{-1})	537 (519–555)	475	Descriptivo; n = 2 vs. n = 1
Proporción bacteriana (%)	73,5 (73–74)	71	Descriptivo
Proporción fúngica (%)	26,5 (26–27)	29	Descriptivo

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

El promedio mayor bajo conservación sugiere un ambiente con más sustratos orgánicos y mejores condiciones para la actividad microbiana. No obstante, el tamaño muestral impide estimar la variabilidad del testigo y aplicar una prueba inferencial válida; el resultado debe utilizarse como línea base para un muestreo posterior.

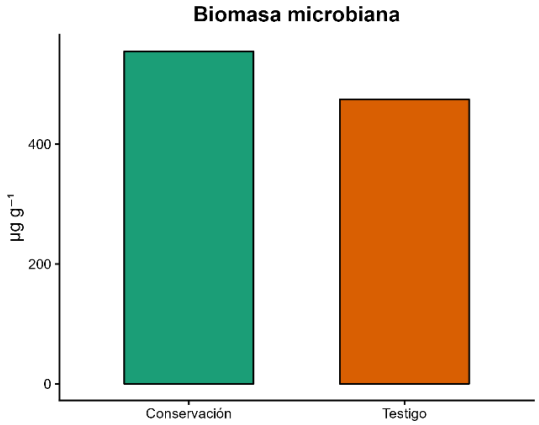

Figura 36. Biomasa microbiana observada en los sistemas evaluados

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La evaluación biológica del suelo mostró un promedio de biomasa microbiana de 537 µg g^{-1} en el sistema con conservación, obtenido a partir de valores de 519 y 555 µg g^{-1}, mientras que el testigo presentó 475 µg g^{-1}. La diferencia descriptiva fue de 62 µg g^{-1}, equivalente a un valor aproximadamente 13,1 % mayor bajo conservación. Bünemann et al. (2018) explican que la biomasa microbiana constituye una fracción activa de la materia orgánica y puede responder al suministro de carbono, humedad, cobertura y grado de perturbación.

El mayor promedio observado en conservación podría relacionarse con el contenido más alto de materia orgánica, la presencia de raíces y la incorporación de residuos vegetales. Sin embargo, no existe una escala universal que permita clasificar estos valores como bajos, medios o altos, debido a que dependen del método, la textura, la profundidad y las condiciones de muestreo. Además, solo se dispuso de dos observaciones en conservación y una en el testigo, por lo que no fue posible aplicar una prueba inferencial válida. En consecuencia, el resultado representa una tendencia descriptiva favorable, pero no una diferencia estadísticamente comprobada.

10.3.2 Proporción bacteriana

La proporción bacteriana expresa la participación relativa de bacterias dentro de la biomasa detectada. En conservación se observaron 73 y 74 %, con un promedio de 73,5 %, mientras que el testigo presentó 71 %. La diferencia es descriptiva y muestra predominio bacteriano en ambos suelos, pero no se evaluó significancia estadística.

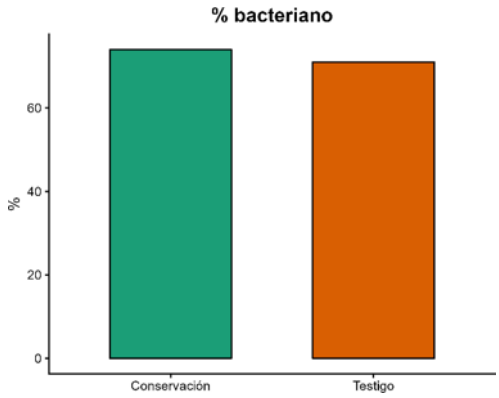

Figura 37. Proporción bacteriana observada en los sistemas evaluados
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

En relación con la composición bacteriana, el área bajo conservación presentó valores de 73 y 74 %, con un promedio de 73,5 %, mientras que el testigo registró 71 %. El sistema conservado superó al testigo en 2,5 puntos porcentuales, equivalente a una diferencia relativa aproximada del 3,5 %. Lehmann et al. (2020) señalan que las bacterias participan activamente en la transformación de compuestos fácilmente degradables y responden a cambios en el carbono disponible, la humedad y el pH.

Los resultados muestran un predominio bacteriano en ambos sistemas, porque los porcentajes fueron mayores que los correspondientes a los hongos. Sin embargo, una proporción bacteriana más alta no significa automáticamente que el suelo posea una condición biológica superior, debido a que describe solamente la composición relativa detectada por el método. Como no existieron réplicas suficientes, la diferencia debe interpretarse de forma descriptiva y no puede calificarse como significativa. Su análisis debe realizarse conjuntamente con la biomasa total, la materia orgánica y la reacción del suelo.

10.3.3 Proporción fúngica

La proporción fúngica fue de 27 y 26 % en las dos muestras de conservación, con un promedio de 26,5 %, y de 29 % en el testigo. La diferencia es complementaria al predominio bacteriano y debe interpretarse únicamente de forma descriptiva. Estos valores son porcentajes relativos y no deben expresarse como UFC g^{-1}.

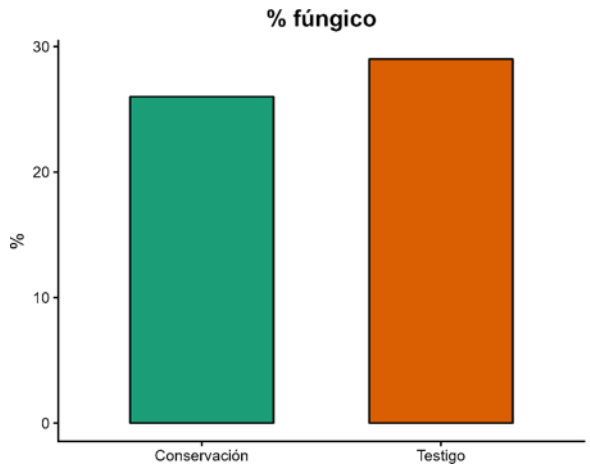

Figura 38. Proporción fúngica observada en los sistemas evaluados
Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

Por su parte, la proporción fúngica registró valores de 27 y 26 % en las muestras de conservación, con un promedio de 26,5 %, mientras que el testigo presentó 29 %. El área testigo superó al sistema conservado en 2,5 puntos porcentuales, equivalente a una diferencia relativa aproximada del 9,4 %. Dhakal et al. (2022) explican que los hongos cumplen funciones importantes en la descomposición de residuos complejos, la formación de agregados y el desarrollo de redes de hifas en el suelo.

El porcentaje ligeramente mayor en el testigo no significa que este sistema poseyera una biomasa microbiana total superior, porque su valor de biomasa fue menor. Las proporciones bacteriana y fúngica son complementarias y deben interpretarse como composición relativa, no como unidades formadoras de colonias. Debido al número insuficiente de observaciones, no fue posible aplicar una prueba estadística, por lo que los resultados constituyen únicamente tendencias descriptivas. Para confirmar el comportamiento de la comunidad microbiana sería necesario aumentar el número de réplicas y mantener condiciones uniformes de muestreo y análisis.

10.4 Tabla de discriminación estadística de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

De las 22 variables físicas y químicas sometidas a comparación inferencial, cuatro presentaron diferencias significativas (18,18 %): arcilla, conductividad hidráulica, pH y materia orgánica. En el componente físico fueron significativas 2 de 6 variables (33,33 %) y en el componente químico 2 de 16 (12,50 %). Las tres variables biológicas se

analizaron únicamente de forma descriptiva por falta de réplicas independientes suficientes.

Tabla 58. Discriminación estadística de las variables evaluadas

Componente	Variable	Conservación	Testigo	Significancia y explicación
Física	Arena (%)	48,14	49,24	No; p = 0,676. Medias estadísticamente similares.
Física	Limo (%)	41,06	43,44	No; p = 0,344. La diferencia no superó la variación interna.
Física	Arcilla (%)	10,79	7,32	Sí; p = 0,0004. Mayor proporción de finos en conservación.
Física	Densidad aparente (g cm^{-3})	1,061	1,167	No; p = 0,0516. Tendencia menor, sin alcanzar α = 0,05.
Física	Porosidad (cm^3 cm^{-3})	0,573	0,564	No; p = 0,618. Valores estadísticamente similares.
Física	Conductividad hidráulica (mm h^{-1})	23,08	17,02	Sí; p = 0,0002. Mayor conductividad bajo conservación.
Química	pH	8,05	8,88	Sí; p = 0,018. El suelo conservado fue menos alcalino.
Química	Materia orgánica (dag kg^{-1})	1,66	0,85	Sí; p = 0,032. Mayor contenido en conservación.
Química	Potasio (mg dm^{-3})	899,77	816,27	No; p = 0,273. Diferencia dentro de la variabilidad.
Química	Fósforo (mg dm^{-3})	601,27	387,58	No; p = 0,102. Alta dispersión de los datos.
Química	Calcio (cmolc dm^{-3})	3,84	3,59	No; p = 0,333. Medias próximas.
Química	Magnesio (cmolc dm^{-3})	3,03	2,77	No; p = 0,543. Sin respuesta estadística.
Química	Azufre (mg dm^{-3})	3,97	4,63	No; p = 0,517. Ambos contenidos fueron bajos.
Química	Zinc (mg dm^{-3})	4,85	3,48	No; p = 0,333. La dispersión impidió significancia.
Química	Hierro (mg dm^{-3})	18,07	15,18	No; p = 0,426. Contenidos similares.
Química	Manganeso (mg dm^{-3})	32,72	20,57	No; p = 0,065. Tendencia con alta variabilidad.
Química	Cobre (mg dm^{-3})	1,85	2,18	No; p = 0,099. Diferencia no significativa.
Química	Boro (mg dm^{-3})	0,29	0,39	No; p = 0,290. Medias similares.
Química	$H + Al^{3+}$ (cmolc dm^{-3})	1,22	0,98	No; p = 0,273. Acidez potencial estable.
Química	Suma de bases (cmolc dm^{-3})	9,17	8,45	No; p = 0,187. Tendencia sin respaldo estadístico.

Componente	Variable	Conservación	Testigo	Significancia y explicación
Química	CIC (cmolc dm^{-3})	9,86	8,98	No; p = 0,122. Capacidad de retención comparable.
Química	Saturación de bases (%)	93,21	94,00	No; p = 0,292. Valores similares.
Biológica	Biomasa microbiana (µg g^{-1})	537 (n = 2)	475 (n = 1)	No evaluada; réplicas insuficientes para inferencia.
Biológica	Proporción bacteriana (%)	73,5	71	No evaluada; comparación descriptiva.
Biológica	Proporción fúngica (%)	26,5	29	No evaluada; comparación descriptiva.

Fuente: Chiriboga Ibujés (2026), a partir de los resultados de la investigación.

La significancia se determinó por el p-valor y no por la magnitud visual de la diferencia. Cuando $p < 0,05$, la diferencia entre las medias fue superior a la variación esperada dentro de los sistemas; cuando $p \geq 0,05$, los datos no aportaron evidencia suficiente para rechazar la igualdad de medias. Por ello, fósforo, manganeso y zinc presentaron medias mayores en conservación, pero no fueron significativos debido a su variabilidad.

En términos técnicos, los resultados más consistentes asociados con el manejo de conservación fueron una mayor conductividad hidráulica, mayor materia orgánica y un pH menos alcalino. La diferencia en arcilla debe interpretarse con cautela porque la textura es una propiedad inherente y el estudio fue observacional; podría reflejar conservación de partículas finas o heterogeneidad espacial previa. Las variables biológicas muestran tendencias favorables, pero requieren mayor replicación antes de emitir conclusiones inferenciales.

11. CONCLUSIONES

Se determino que, en las propiedades físicas, el contenido de arcilla y la conductividad hidráulica presentaron diferencias significativas entre los sistemas. El manejo de conservación registró 10,79 % de arcilla y 23,08 mm h^{-1} de conductividad hidráulica, frente a 7,32 % y 17,02 mm h^{-1} en el testigo. La arena, el limo, la densidad aparente y la porosidad no fueron significativos. La respuesta hidráulica evidencia una condición más favorable para la infiltración, mientras que la diferencia textural debe interpretarse con cautela por la naturaleza observacional del estudio.

Se establece que, en las propiedades químicas, únicamente el pH y la materia orgánica mostraron diferencias significativas. El suelo con conservación fue menos alcalino (pH 8,05) y presentó mayor materia orgánica (1,66 dag kg^{-1}) que el testigo (pH 8,88 y 0,85 dag kg^{-1}). Potasio, fósforo, calcio, magnesio, azufre, micronutrientes, acidez potencial,

suma de bases, CIC y saturación de bases permanecieron estadísticamente similares; por tanto, sus diferencias numéricas no deben atribuirse al manejo.

Los indicadores biológicos mostraron un promedio mayor de biomasa microbiana y proporción bacteriana bajo el manejo de conservación, sin mostrar significancia estadística, las cuales se asocia con mejoras en la condición hidráulica, la materia orgánica de suelo.

12. RECOMENDACIONES

Fomentar la puesta en marcha y el mantenimiento de terrazas de banco que tengan relación con una cobertura vegetal permanente, ya que las practicas contribuyen a la conservación de la muestra del suelo, facilitando el mantenimiento de sus propiedades físicas y químicas, así como la disponibilidad de nutrientes.

Reforzar el aporte de materia orgánica a través de la incorporación de residuos vegetales, cultivos de cobertura y abonos orgánicos, teniendo en cuenta la influencia positiva acerca de la fertilidad del suelo, la actividad microbiana y el progreso de la calidad biológica del recurso edáfico.

Constituir un programa de monitoreo continúo relacionado a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, añadiendo un mayor número de repeticiones, periodos de evaluación más continuos y variables complementarias, con el fin de general información que ayude a la sostenibilidad productiva y ambiental de los sistemas de conservación implementados en el Campus Salache

13. BIBLIOGRAFÍA

FAO e ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR): Main report. Foodand Agriculture Organization of the United Nations.

Lal, R. (2015). Soil conservation and ecosystem services. International Soil and Water Conservation Research, 3(3), 135-144.

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

MAG. (2019). Diagnóstico nacional de suelos agrícolas del Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Panagos, P., Borrelli, P., & Robinson, D. (2020). FAO calls for actions to reduce global soil erosion [La FAO insta a tomar medidas para reducir la erosión global del suelo]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 25, 789–790. https://doi.org/10.1007/s11027-019-09892-3

Jiménez Álvarez, L. S., Jiménez, W., Ayala, N., Quichimbo Miguitama, P. G., Fierro, N., & Capa Mora, D. (2024). Explorando la etnopedología en los Andes ecuatorianos: una perspectiva local sobre indicadores y manejo del suelo. Geoderma Regional, 36, e00755. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00755

Dazzi, C., & Lo Papa, G. (2022). Una nueva definición de suelo para promover la conciencia, la sostenibilidad, la seguridad y la gobernanza del suelo. International Soil and Water Conservation Research, 10(1), 99–108. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.07.001

Robinson, D. A., Thomas, A., Reinsch, S., Lebron, I., Feeney, C. J., Maskell, L. C., Wood, C. M., Seaton, F. M., Emmett, B. A., & Cosby, B. J. (2022). Modelación analítica de la porosidad y densidad aparente del suelo a lo largo del continuo de materia orgánica y uso del suelo. Scientific Reports, 12, 7085. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11099-7

Dhakal, K., Parajuli, M. P., Jian, S., Li, J., & Nandwani, D. (2022). Respuesta de la respiración heterotrófica del suelo y de la biomasa microbiana en sistemas de producción orgánicos y convencionales. Frontiers in Soil Science, 2, 999139. https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.999139

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

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

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

Gelvez Pardo, I. M., Moreno Rodríguez, J. M., & Santos Díaz, A. M. (2020). Guía de muestreo de suelo para análisis microbiológico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404098

Reynolds, W. D., & Elrick, D. E. (2021). Mediciones con infiltrómetro de tensión para la determinación de las propiedades hidráulicas del suelo [Tension infiltrometer measurements of soil hydraulic properties]. En J. H. Dane y G. C. Topp (Eds.), Métodos de análisis de suelos: Parte 4. Métodos físicos (pp. 919–942). Soil Science Society of America. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c36

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

USDA. (2014). Soil survey manual. United States Department of Agriculture

Gómez, K. A., & Gómez, A. A. (1984). Procedimientos estadísticos para la investigación agrícola [Statistical Procedures for Agricultural Research] (2.ª ed.). John Wiley & Sons.

West, R. M. (2021). Buenas prácticas en estadística: uso de la prueba t de Welch para comparar diferencias entre dos grupos [Best practice in statistics: Use the Welch t-test when testing the difference between two groups]. Annals of Clinical Biochemistry, 58(4), 267–269. https://doi.org/10.1177/0004563221992088

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

Lal, R. (2015). Soil conservation and ecosystem services. International Soil and Water Conservation Research, 3(3), 135-144.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson.

Blanco-Canqui, H., & Ruis, S. J. (2020). Impactos de los cultivos de cobertura sobre las propiedades físicas del suelo: una revisión [Cover crop impacts on soil physical properties: A review]. Soil Science Society of America Journal, 84(5), 1527–1576. https://doi.org/10.1002/saj2.20129

Hillel, D. (2022). Introduction to environmental soil physics. Elsevier

Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., de Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Calidad del suelo: una revisión crítica [Soil Quality: A Critical Review]. Soil Biology and Biochemistry, 120, 105–125. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030

Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). El concepto y las perspectivas futuras de la salud del suelo [The concept and future prospects of soil health]. Nature Reviews Earth & Environment, 1(10), 544–553. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8

Vogel, H.-J., Eberhardt, E., Franko, U., Lang, B., Ließ, M., Weller, U., Wiesmeier, M., & Wollschläger, U. (2019). Evaluación cuantitativa de las funciones del suelo: potencial y estado [Quantitative Evaluation of Soil Functions: Potential and State]. Frontiers in Environmental Science, 7, 164. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00164

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

Molina, J. (2020). Estadística aplicada a la investigación agrícola. Editorial Universitaria. Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments (9th ed.). Wiley

Hinsinger, P., Herrmann, L., Lesueur, D., Robin, A., Trap, J., Waithaisong, K., & Plassard, C. (2018). Impacto de las raíces, microorganismos y microfauna sobre el destino del fósforo en la rizosfera [Impact of Roots, Microorganisms and Microfauna on the Fate of Soil Phosphorus in the Rhizosphere]. En J. A. Roberts (Ed.), Annual Plant Reviews Online. Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0528

Scherer, H. W. (2009). Azufre en los suelos [Sulfur in Soils]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 172(3), 326–335. https://doi.org/10.1002/jpln.200900037

Sánchez, P. A. (2019). Properties and management of soils in the tropics. Cambridge University Press.

FAO. (2017). Voluntary guidelines for sustainable soil management. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

USDA-NRCS. (2017). Soil survey manual (Agriculture Handbook No. 18). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.