



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**EVALUACIÓN DEL USO DE MEDIDAS DE
RESTABLECIMIENTO DE LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS DEL SUELO PERTURBADAS POR LA
ACTIVIDAD GANADERA EN EL ÁREA DE COBERTURA DEL
SISTEMA DE RIEGO COOP. SANTA TERESITA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTOR:

PABLO ANDRES ZABALA ESCOBAR

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**EVALUACIÓN DEL USO DE MEDIDAS DE
RESTABLECIMIENTO DE LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS DEL SUELO PERTURBADAS POR LA
ACTIVIDAD GANADERA EN EL ÁREA DE COBERTURA DEL
SISTEMA DE RIEGO COOP. SANTA TERESITA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTOR: PABLO ANDRÉS ZABALA ESCOBAR

DIRECTOR: ING. JORGE DANIEL CÓRDOVA LLIQUIN

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Pablo Andrés Zabala Escobar

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Pablo Andrés Zabala Escobar, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de junio de 2024



Pablo Andrés Zabala Escobar
060440731-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DEL USO DE MEDIDAS DE RESTABLECIMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO PERTURBADAS POR LA ACTIVIDAD GANADERA EN EL ÁREA DE COBERTURA DEL SISTEMA DE RIEGO COOP. SANTA TERESITA**, realizado por el señor: **PABLO ANDRÉS ZABALA ESCOBAR**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Alex Vinicio Gavilanes Montoya, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-06-10
Ing. Jorge Daniel Córdova Lliquin, M.Sc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-10
Ing. Vicente Javier Parra León, M.Sc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-10

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres, quienes me han apoyado durante toda mi vida y no me han dejado caer. A mi hermana, por siempre estar cuando la necesito. A mis tíos y primos, que me han respaldado a lo largo de este proceso, en especial a mi tía Nancy Escobar, ya que sin ella esto no habría sido posible. A mis amigos, por sus palabras de aliento y superación. Y, por último, a mi abuelita Lourdes Mora, por ser mi ejemplo de vida. Aunque físicamente ya no se encuentre con nosotros, su legado seguirá por todo lo alto.

Pablo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme culminar esta etapa académica. Un profundo agradecimiento a mi director y asesor de tesis por su orientación y apertura en la realización de este trabajo.

Pablo

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.2.	Objetivos.....	4
1.2.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.2.2.	<i>Objetivos específicos</i>	4
1.3.	Justificación.....	4
1.4.	Hipótesis.....	5
1.4.1.	<i>Hipótesis nula</i>	5
1.4.2.	<i>Hipótesis alterna</i>	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Suelo.....	6
2.2.	Calidad del suelo.....	6
2.3.	Propiedades del suelo.....	6
2.3.1.	<i>Propiedades físicas del suelo</i>	7
2.3.1.1.	<i>Color</i>	7
2.3.1.2.	<i>Textura</i>	7
2.3.1.3.	<i>Porosidad</i>	7
2.3.1.4.	<i>Estructura</i>	8
2.3.2.	<i>Compactación del suelo</i>	8
2.3.3.	<i>Propiedades químicas</i>	8
2.3.3.1.	<i>pH (Potencial de Hidrógeno)</i>	8

2.3.3.2.	<i>Capacidad de intercambio catiónico</i>	9
2.3.3.3.	<i>Conductividad eléctrica</i>	9
2.3.4.	<i>Propiedades biológicas</i>	9
2.3.4.1.	<i>La vida en el suelo</i>	9
2.4.	Ganadería	10
2.4.1.	<i>Tipos de ganadería</i>	10
2.4.1.1.	<i>Ganadería intensiva</i>	10
2.4.1.2.	<i>Ganadería extensiva</i>	10
2.4.2.	Impactos de la ganadería	11
2.4.2.1.	<i>Impactos sobre la biodiversidad</i>	11
2.4.2.2.	<i>Impactos sobre el suelo</i>	11
2.4.2.3.	<i>Impactos sobre el agua</i>	11
2.4.3.	Ganadería y cambio climático	11
2.5.	Análisis de interpolación espacial	12
2.5.1.	Métodos geoestadísticos y determinísticos de interpolación	12
2.5.1.1.	<i>Métodos determinísticos</i>	12
2.5.1.2.	<i>Métodos geoestadísticos</i>	12
2.5.2.	Análisis espacial de superposición	13
2.5.2.1.	<i>Álgebra de mapas</i>	13
2.6.	Enmiendas para el restablecimiento de propiedades fisicoquímicas del suelo ..	14
2.6.1.	Enmiendas orgánicas	14
2.6.1.1.	<i>Compost</i>	14
2.6.1.2.	<i>Bocashi</i>	15
2.6.1.3.	<i>Abonos verdes</i>	15
2.6.1.4.	<i>Humus</i>	15
2.6.1.5.	<i>Estiércol de cuy (Cuyinaza)</i>	15
2.6.2.	Enmiendas químicas	16
2.6.2.1.	<i>Cal</i>	16
2.6.3.	Enmiendas mecánicas	16
2.6.3.1.	<i>Labranza mínima</i>	16
2.6.4.	Enmiendas integradas	17
2.7.	Metodologías participativas	18
2.8.	Manuales de transferencia de tecnología agraria	18

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	19
3.1.	Caracterización de la zona de estudio	19
3.1.1.	<i>Área de estudio</i>	19
3.1.2.	<i>Ubicación</i>	19
3.1.3.	<i>Componente biofísico</i>	20
3.1.3.1.	<i>Relieve</i>	20
3.1.3.2.	<i>Suelos</i>	20
3.1.3.3.	<i>Cobertura y uso de suelo</i>	22
3.1.3.4.	<i>Clima</i>	22
3.2.	Procedimiento de la investigación	23
3.2.1.	<i>Identificación de las condiciones del suelo</i>	23
3.2.1.1.	<i>Línea base geoespacial</i>	23
3.2.1.2.	<i>Levantamiento de información en campo</i>	24
3.2.1.3.	<i>Análisis de interpolación a través del método Kriging empírico Bayesiano</i>	26
3.2.1.4.	<i>Reclasificación de la superficie interpolada de acuerdo a la categorización de variables</i>	27
3.2.1.5.	<i>Análisis de superposición</i>	28
3.2.2.	<i>Comparación de enmiendas para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo en el sistema de riego Coop. santa teresita</i>	30
3.2.2.1.	<i>Socialización de resultados</i>	30
3.2.2.2.	<i>Selección de enmiendas</i>	30
3.2.2.3.	<i>Implementación de enmiendas</i>	31
3.2.2.4.	<i>Medición de variables</i>	33
3.2.2.5.	<i>Análisis estadístico</i>	33
3.2.3.	<i>Elaboración una guía técnica para la trasferencia de las tecnologías validadas dentro del sistema de riego Coop. Santa Teresita</i>	34

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	35
4.1.	Determinación de lotes en Cooperativa Santa Teresita	35
4.1.1	Identificación de puntos de muestreo	36
4.2.	Objetivo 1: Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo	37
4.2.1.	<i>pH₃₇</i>	
4.2.2.	<i>Compactación del suelo</i>	41

4.2.3.	<i>Priorización de áreas</i>	45
4.3.	Objetivo 2: Análisis de la integración de enmiendas en el suelo	46
4.3.1.	<i>Influencia de las enmiendas en el pH de suelo</i>	47
4.3.2.	<i>Influencia de las enmiendas en la compactación de suelo</i>	51
4.3.3.	<i>Análisis estadístico</i>	56
4.3.3.1.	<i>ANOVA para la variable pH</i>	56
4.3.3.2.	<i>ANOVA para la variable compactación</i>	58
4.3.3.3.	<i>Prueba T de Student</i>	58
4.4.	Objetivo 3: Guía técnica para la transferencia de las tecnologías validadas dentro del sistema de riego Coop. Santa Teresita	59

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1.	Conclusiones	75
5.2.	Recomendaciones	77

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1:	Relieve de la parroquia San Juan	20
Tabla 3-2:	Suelos de acuerdo a su textura	20
Tabla 3-3:	Descripción de suelos	21
Tabla 3-4:	Cobertura y uso de suelo	22
Tabla 3-5:	Pisos climáticos.....	22
Tabla 3-6:	Categorización del pH.....	28
Tabla 3-7:	Categorización de la compactación del suelo	28
Tabla 3-8:	Ponderación de prioridad de intervención	29
Tabla 3-9:	Nivel de prioridad	29
Tabla 3-10:	Cantidad o forma de aplicación de cada enmienda.....	32
Tabla 4-1:	Variación temporal del pH del suelo con diversas enmiendas.....	47
Tabla 4-2:	Variación temporal de la compactación del suelo con diversas enmiendas.....	51
Tabla 4-3:	Prueba ANOVA para la variable pH.....	56
Tabla 4-4:	Prueba Tukey para la variable pH.....	57
Tabla 4-5:	Prueba ANOVA para la variable compactación	58
Tabla 4-6:	Prueba T de Student para pH y compactación	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1:	Ubicación de Coop. Santa Teresita	19
Ilustración 3-2:	Introducción de pH metro en el suelo	25
Ilustración 3-3:	Penetrómetro de reloj	26
Ilustración 3-4:	Parámetros para la interpolación	27
Ilustración 3-5:	Distribución del tipo de enmienda utilizada para la mejora de las variables pH y compactación.....	32
Ilustración 4-1:	Mapa de lotes en el sistema de riego Coop. Santa Teresita.....	35
Ilustración 4-2:	Mapa de puntos de muestreo en el sistema de riego Coop. Santa Teresita ..	36
Ilustración 4-3:	Mapa de valores brutos de pH.....	38
Ilustración 4-4:	Categorización de pH en muestras del sistema de riego Coop. Santa Teresita	39
Ilustración 4-5:	Mapa categorizado de pH en el sistema de riego Coop. Santa Teresita.....	40
Ilustración 4-6:	Mapa de valores brutos de compactación.....	42
Ilustración 4-7:	Mapa categorizado de compactación en el sistema de riego Coop. Santa Teresita	43
Ilustración 4-8:	Categorización de compactación en muestras del sistema de riego Coop. Santa Teresita.....	44
Ilustración 4-9:	Mapa de priorización en el sistema de riego Coop. Santa Teresita.....	46
Ilustración 4-10:	Variación temporal del pH del suelo con diversas enmiendas	47
Ilustración 4-11:	Porcentaje de incremento de pH del suelo con diversas enmiendas	48
Ilustración 4-12:	Comparación de las enmiendas orgánicas y química en el incremento del pH del suelo	49
Ilustración 4-13:	Comparación de las enmiendas integradas en el incremento del pH del suelo	50
Ilustración 4-14:	Variación temporal de la compactación del suelo con diversas enmiendas .	52
Ilustración 4-15:	Reducción de compactación del suelo con diversas enmiendas.....	52
Ilustración 4-16:	Comparación de las enmiendas orgánicas y química en la reducción de la compactación del suelo	53
Ilustración 4-17:	Comparación de las enmiendas mecánicas en la reducción de la compactación del suelo	54
Ilustración 4-18:	Comparación de las enmiendas integradas en la reducción de la compactación del suelo	55

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: SOCIALIZACIÓN A LA COMUNIDAD DE LA COOPERATIVA SANTA TERESITA

ANEXO B: RECOLECCIÓN DE DATOS

ANEXO C: IMPLEMENTACIÓN DE ENMIENDAS

ANEXO D: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANEXO E: NÚMERO DE MUESTRAS Y VALOR DE LAS VARIABLES RESPECTIVAS

RESUMEN

El pastoreo intensivo ha causado perturbaciones físicas, químicas y biológicas en el suelo, resultando en la degradación de los pastizales. Esta degradación afecta el rendimiento de los pastizales y reduce la disponibilidad de forraje nutritivo para las especies ganaderas. El estudio se centró en evaluar medidas de restitución de las propiedades fisicoquímicas del suelo afectadas por la actividad ganadera en el área de cobertura del sistema de riego Coop. Santa Teresita, en la parroquia San Juan, cantón Riobamba. Para ello, se elaboró una línea base geoespacial con levantamiento de lotes mediante GPS, se generó una grilla de muestreo y se planificó la toma de 284 muestras. Se muestrearon variables como pH y compactación, y los datos se utilizaron para elaborar mapas mediante interpolación y clasificación. Se identificaron áreas prioritarias mediante superposición y se seleccionaron enmiendas orgánicas, químicas, mecánicas e integradas para mejorar el suelo. Estas enmiendas se implementaron en siete parcelas, midiendo periódicamente las variables durante 5 meses. La evaluación de las propiedades fisicoquímicas del suelo revela que el 63,38% de las muestras presenta un pH neutro, mientras que el 33,1% exhibe niveles ácidos. Además, se observa un nivel moderado de compactación en el 60,92% de las muestras. La enmienda de estiércol de cuy fue la más efectiva para ajustar el pH, con un aumento del 10,72%, mientras que la enmienda de aireación mediante un aireador de rodillo redujo significativamente la compactación del suelo en un 20,27%. La enmienda integrada 2 se destacó como la más eficaz para ambas variables. Finalmente, se elaboró una guía técnica para la transferencia de las tecnologías validadas para mejorar el suelo en el sistema de riego en Coop. Santa Teresita. Los resultados indican que tanto las enmiendas individuales como las integradas son opciones viables para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Palabras clave: <PASTOREO INTENSIVO>, <POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)>, <COMPACTACIÓN DE SUELO>, <ENMIENDAS>, <GUÍA TÉCNICA>, <SAN JUAN (PARROQUIA)>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>, <CHIMBORAZO (PROVINCIA)>.



SUMMARY

The study was focused on evaluating measures to restore the physicochemical properties of the soil affected by livestock activity in the coverage area of Santa Teresita Cooperative irrigation system, in San Juan village, Riobamba canton. To this end, a geospatial baseline was prepared with a GPS survey of the lots, a sampling grid and 284 samples were taken. Variables such as pH and compaction were sampled, and the data were used to produce maps by interpolation and classification. Priority areas were identified by overlay and organic, chemical, mechanical and integrated amendments were selected to improve the soil. These amendments were implemented in seven plots, measuring variables periodically for 5 months. The evaluation of soil physicochemical properties reveals that 63.38% of the samples present a neutral pH, while 33.1% exhibit acidic levels. In addition, a moderate level of compaction was observed in 60.92% of the samples. The guinea pig manure amendment was the most effective in adjusting pH, with an increase of 10.72%, while the aeration amendment using a roller aerator significantly reduced soil compaction by 20.27%. Integrated amendment 2 stood out as the most effective for both variables. Finally, a technical guide was prepared for the transfer of the validated technologies to improve the soil in the irrigation system in Santa Teresita cooperative. The results indicate that both individual and integrated amendments are viable options to improve soil physicochemical properties.

Keywords: <INTENSIVE PASTURE>, <HYDROGEN POTENTIAL (pH)>, <SOIL COMPACTING>, <AMENDMENTS>, <TECHNICAL GUIDE>, <SAN JUAN (VILLAGE)>, <RIOBAMBA (CANTON)>, <CHIMBORAZO (PROVINCE)>



M.Sc. **Cristina Chamorro O.**
0604237172

INTRODUCCIÓN

El suelo desempeña un papel fundamental como soporte de distintas actividades productivas en la agricultura, ganadería y otras industrias. El recurso suelo aporta a la humanidad aproximadamente el 95% de los alimentos que consumimos, proporcionando también bienes y servicios ecosistémicos de suma importancia (FAO, 2022, pág. 1). Este recurso natural suministra el medio en el cual la vegetación crece, siendo esencial en la producción de alimentos y materias primas. La calidad del suelo incide directamente en la salud y el rendimiento de los cultivos, así como la sostenibilidad de actividades agrícolas y pecuarias.

El sector pecuario a nivel global ejerce un rol prioritario en el desarrollo sustentable dentro de las actividades productivas que se ejecutan en el suelo y forma parte de las principales fuentes de ingresos para un sinnúmero de países. Se estima que el sector pecuario es el de mayor crecimiento en el mundo en comparación a otros sectores productivos, Además de dar sustento a más de 1300 millones de personas, representa el 40% de la producción agrícola en el planeta (ONU, 2006, pág. 1).

La actividad agropecuaria impacta al suelo tanto de formas positivas como negativas. Por un lado, la agricultura proporciona alimentos necesarios y sostiene a las comunidades agrícolas. Además, prácticas sostenibles, como la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos, mejoran la fertilidad del suelo. Sin embargo, también existen consecuencias negativas, como la erosión debido a la labranza intensiva, la contaminación por el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, la pérdida de biodiversidad y degradación del suelo (FAO, 2002, pág.1)

Según (Kogut, 2023, págs. 1-5), la degradación de los suelos es una creciente preocupación en todo el mundo ya que amenaza la fertilidad y productividad del suelo, así como la seguridad alimentaria, Esta degradación es resultado de agentes tanto antrópicos como naturales que plantean riesgos para la salud de los ecosistemas, el desarrollo sostenible y el suministro de alimentos.

El gran aumento en la demanda y producción mundial de bienes ganaderos ha llevado a un significativo impacto ambiental de los sistemas pecuarios en el recurso aire, suelo, agua y biodiversidad. La ganadería contribuye cerca del 18% de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) y hasta un 80% de las emisiones totales en los sectores de uso del suelo y agricultura (FAO, 2022, pág. 1).

En Ecuador, la industria pecuaria es una pieza esencial dentro de las actividades productivas, puesto que crea distintas fuentes de empleo y sustenta diferentes industrias, sin embargo, dicha actividad enfrenta retos importantes que se relacionan estrechamente con la degradación del suelo, afectando a

su calidad y desempeño. Según datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en el año 2020, el sector agropecuario abarca una extensión de aproximadamente de 5.2 millones de hectáreas, en donde un 39.7% se destina al cultivo de pastos (INEC, 2021, pág. 5).

A pesar de lo mencionado, la ganadería aporta drásticamente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La sobreexplotación de pastizales, la compactación de suelo debido al pisoteo principalmente de ganado vacuno, la concentración heterogénea de nutrientes por causa del pastoreo sin una gestión adecuada, son aspectos por considerar ya que estos pueden ser algunas de las causas del deterioro en las propiedades fisicoquímicas del suelo en Ecuador y en el mundo (Medina, 2016, pág. 2).

Es de vital importancia comprender y evaluar los impactos negativos por consecuencia del pastoreo en el suelo para así fomentar estrategias eficaces de restablecimiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo afectadas por la actividad agropecuaria (FAO, 2018, pág. 1-3). Con esta investigación se pretende informar a la población del área de cobertura del sistema de riego Cooperativa Santa Teresita acerca de medidas apropiadas que impulsen la restauración y conservación del recurso suelo.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La salud del suelo tiene una función clave en la productividad de las explotaciones agrícolas y pecuarias. Comprender el estado físico, químico y biológico del suelo puede ser de gran utilidad para la población que se dedica al trabajo en el campo con énfasis en la ganadería para así aumentar su rendimiento y otorgar a las especies ganaderas una gran cantidad de forraje lleno de nutrientes, todo ello con un manejo sustentable del recurso suelo (Nix, 2023, pág.1).

El deterioro del suelo es un problema mundial, causado por diferentes factores que afectan principalmente a la producción agrícola y a los ecosistemas. Según (Pham, et al., 2018, págs. 99-110) “las tasas promedio de erosión del suelo en el planeta se calculan entre 12 y 15 ton/ha/año, lo que se traduce a que cada año, la superficie de la tierra pierde aproximadamente de 0.90 a 0.95 mm de suelo”.

En el Ecuador se considera que las pérdidas del recurso suelo difieren acorde a su pendiente y se encuentra entre 5 a 50 Tm/ha/año, en donde la región interandina es la más afectada con un 4% dentro de la provincia de Chimborazo causando modificaciones en el nivel de fertilidad del suelo y por ende su capacidad de sustentar una agricultura productiva, como también perjudicando el ecosistema (Jiménez, 2011).

Por consecuencia de la actividad agropecuaria dentro del sistema de riego Cooperativa Santa Teresita ubicado en la parroquia San Juan, las propiedades fisicoquímicas del suelo se han visto afectadas en gran medida. En este sentido, la oferta de forraje ha disminuido y para poder proseguir con actividades pecuarias, la población que allí se encuentra ha tenido que expandir la frontera agrícola, menorando así las zonas de páramo originales (Mora, et al., 2017, pág. 6).

La compactación del suelo resultante del pastoreo de ganado bovino y, en menor cantidad, ovino ha provocado el aumento de la degradación de los pastizales y la erosión en el suelo, principalmente en zonas áridas. En algunas zonas, los desechos animales (heces y orines) superan la capacidad de absorción del suelo y agua, resultando en contaminación del suelo, del agua subterránea, en la pérdida de biodiversidad y cambios en los niveles de pH (Medina, 2016).

El crecimiento poblacional y por consecuencia el aumento de la demanda de alimentos y productos derivados de las actividades agropecuarias provoca que la frontera agrícola se extienda, ya que en el

suelo donde se realizaban dichas actividades ha ido perdiendo su calidad y deteriorando las propiedades fisicoquímicas. La expansión de la frontera agrícola causa desertificación y contribuye al cambio climático, siendo este uno de los mayores problemas al que nos enfrentamos en la actualidad.

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Evaluar el uso de medidas de restitución de las propiedades fisicoquímicas del suelo alteradas por la actividad ganadera en el área de cobertura del sistema de riego Coop. Santa Teresita, parroquia San Juan, cantón Riobamba.

1.2.2. *Objetivos específicos*

- Identificar las condiciones del suelo dentro del sistema de riego Coop. Santa Teresita mediante el levantamiento de las variables pH y compactación.
- Emplear y contrastar el uso de enmiendas mecánicas, orgánicas, químicas y mixtas en la restitución de las propiedades fisicoquímicas del suelo en el sistema de riego Coop. Santa Teresita.
- Elaborar una guía técnica para la transferencia de las tecnologías validadas dentro del sistema de riego Coop. Santa Teresita.

1.3. Justificación

Las actividades pecuarias en alta montaña y en páramo, da como resultado un proceso de deforestación y despojo de la capa vegetal natural que posteriormente serán reemplazadas por pastizales y praderas. La presencia ganado vacuno produce daños en la compactación y en la contaminación del suelo, provocando la pérdida de la capacidad de retención de agua en los páramos y la falta de un rendimiento óptimo en suelos ácidos.

Por lo expuesto anteriormente, la presente investigación pretende comparar y transferir de manera sencilla y concreta el uso de medidas de restablecimiento adecuadas para mejorar las propiedades fisicoquímicas afectadas por la actividad agropecuaria en especial el pastoreo en el sistema de riego Cooperativa Santa Teresita.

La carencia de investigaciones previas le otorga un valor significativo a este estudio, puesto que establece un punto de referencia para futuras comparaciones y permite la implementación de prácticas

apropiadas de manejo del suelo, teniendo en cuenta la sostenibilidad y la conservación de la biodiversidad. Además, los resultados obtenidos en este estudio tienen implicaciones más amplias en cuanto a la comprensión de los suelos en territorios similares, y contribuyen al conocimiento científico en el campo de la edafología y la ecología.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis nula

La aplicación de enmiendas no incide en el restablecimiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo afectadas por la ganadería dentro del sistema de riego Cooperativa Santa Teresita.

1.4.2. Hipótesis alterna

La aplicación de enmiendas incide en el restablecimiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo afectadas por la ganadería dentro del sistema de riego Cooperativa Santa Teresita.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Suelo

El suelo constituye la capa superficial de la corteza terrestre que proporciona soporte y suministra agua y sales minerales a la vegetación que lo utiliza. Se produce a partir de un proceso de descomposición de rocas. Desempeña el papel de hábitat de un sinnúmero de microorganismos los cuales son causantes de diferentes transformaciones bioquímicas y de la degradación de materia orgánica (Salazar, 2016, pág. 117).

El suelo es un recurso limitado y está conformado por minerales, agua, aire, materia orgánica, macro, meso y microorganismos que cumplen funciones fundamentales de tipo abiótico y biótico, ejerciendo procesos indispensables para la humanidad y el planeta en sí (Miniambiente, 2016). El recurso suelo provee alimentos y materias primas, siendo el soporte de actividades antrópicas, en especial la agricultura.

El suelo es una colección o acumulación de fragmentos de roca desintegrada cuyos tamaños de partículas pueden variar desde bloques que miden unos pocos metros de dimensión hasta tamaños mucho menores generalmente llamados suelo, con tamaños de partículas que oscilan cerca de los 100 mm hasta tamaños que no pueden ser observados a simple vista, es decir, menos de 0.0001 mm (en el rango de micrómetros) (Yong, et al., 2012, pág. 22).

2.2. Calidad del suelo

La calidad del suelo es un concepto holístico que asocia las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, así también los procesos ecológicos, con énfasis en la “capacidad del suelo para actuar de manera correcta” en lo que respecta a sostener la productividad, almacenar y reciclar nutrientes, regular y distribuir el flujo de agua. Asimismo, un suelo en buen estado cumple con filtrar, amortiguar y detoxificar materia orgánica e inorgánica aplicadas en el suelo (Wall, et al., 2012, pág. 334-335).

2.3. Propiedades del suelo

Las propiedades del suelo se refieren a las características intrínsecas y medibles que influyen en su comportamiento y función. Estas propiedades están divididas en tres categorías principales: físicas, químicas y biológicas. Según (García, 2015, pág.1) estas propiedades son primordiales ya que tendrán un

efecto en el estado y conducta del suelo, describen su manejo, sus limitaciones en cuanto a cultivo o en qué proporción se movilizan dentro de él los posibles contaminantes que lo puedan llegar a afectar.

2.3.1. Propiedades físicas del suelo

2.3.1.1. Color

El color del suelo, fácilmente observable, es útil para identificar tipos de suelo en una región o localidad, pero su relación con la pedogénesis y otros factores puede no ser fundamental. La coloración puede deberse a diversas causas, por lo que su uso como criterio de clasificación de tipos de suelo principales debe hacerse con precaución, ya que raramente tiene valor significativo (Rucks et al., 2004, pág. 54)

El color del suelo es un indicador útil para evaluar su composición. Por ejemplo, un tono blanquecino indica la presencia de arena, caliza o yeso, mientras que un color más oscuro sugiere la existencia de materia orgánica y óxido de hierro. Un tono verdoso o grisáceo puede indicar problemas de drenaje, mientras que un tono marrón señala una buena permeabilidad. (Suquilanda, 2017, pág. 31)

2.3.1.2. Textura

La textura del suelo proporciona detalles sobre el estado de degradación y la capacidad productiva del suelo. Esta propiedad permite identificar las partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo, las cuales están asociadas con otras cualidades como la porosidad. Estos aspectos influyen en la capacidad del suelo para facilitar el movimiento y la retención de aire y agua (Camacho, 2017, pág. 6).

2.3.1.3. Porosidad

El suelo es un recurso poroso, debido a que entre sus componentes orgánicos e inorgánicos existen espacios libres que pueden estar o no conectados entre sí. La magnitud de la porosidad está intrínsecamente vinculada a la textura y estructura del suelo, y se define como la relación entre el volumen de vacíos, ocupados por aire o agua, y el volumen total del suelo abarcando las diversas fracciones sólidas, líquidas y de gaseosas presentes. Cuantitativamente se puede determinar por medio de la densidad real y la densidad aparente, expresándose en porcentaje (Salazar, 2016, pág. 124).

Según (García, 2015, pág.1) se pueden diferenciar dos tipos de porosidad:

- **Porosidad total:** La porosidad determina la habilidad promedio para retener líquidos. Incluye los poros dentro de las partículas del suelo, el espacio entre ellas y todos los vacíos presentes en el suelo, como grietas y madrigueras.
- **Porosidad efectiva, de drenaje o comunicada:** Es la proporción entre el volumen poroso que está conectado entre sí y el volumen total de la muestra.

2.3.1.4. *Estructura*

La disposición de las partículas individuales en el suelo se denomina estructura, la cual se presenta en forma de agregados separados por superficies débiles. Estos agregados, conocidos como peds, pueden ser de distintas clases según su forma, como granulares, blocky, prismáticos, columnares y laminares. La descripción de estructura del suelo engloba dos aspectos a considerar: la agregación y las separaciones. Cuando un suelo no cumple con ambas partes de esta definición, se considera sin estructura. Por lo tanto, no todos los suelos exhiben estructura. Las dos condiciones para ser considerados sin estructura son tener grano único (sin formación de agregados) o presentar una estructura masiva (sin patrones discernibles de separación) (Schwyter et al., 2022, págs. 1-4).

2.3.2. *Compactación del suelo*

La compactación del suelo se produce cuando este se comprime, ya sea por acciones naturales como la lluvia, el propio peso del suelo, o por procesos externos como el tráfico de campo, el uso de implementos de labranza y el pisoteo del ganado. Este fenómeno significa que la porosidad disminuye o la densidad aparente del suelo aumenta. Las cargas externas pueden ser causadas por rodaduras, pisoteos o vibraciones, mientras que las cargas internas se deben a la succión o presión del agua debido a un gradiente hidráulico (Torres, 2017, pág. 2).

2.3.3. *Propiedades químicas*

2.3.3.1. *pH (Potencial de Hidrógeno)*

Para (Salazar, 2016, pág. 126) el pH es una medida logarítmica de la concentración de iones hidrógeno. Los valores de pH disminuyen a medida que los niveles de iones de hidrogeno aumentan, cambiando en un

rango de 0 a 14. Los valores por debajo de 7 son llamados ácidos, los que rondan el 7 denominados neutros y los superiores a 7 se los conocen como alcalinos o básicos. El nivel de acidez o alcalinidad de los suelos resulta un indicador esencial de la disponibilidad de nutrientes para las raíces y microorganismos del suelo (Osorio, 2012, pág. 1).

2.3.3.2. Capacidad de intercambio catiónico

Según (Pérez Rosales, 2017, pág. 172) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) sirve como una señal indirecta de la capacidad de regulación del suelo y está influenciada por la cantidad y la naturaleza de la arcilla presente. Los métodos para calcular la CIC se clasifican en distintas categorías, como la determinación de la CIC mediante la suma de cationes intercambiables, la evaluación de la CIC según el pH del suelo, la estimación de la CIC a un pH ajustado y la medición de la CIC en el punto de carga cero. Todos estos procedimientos se fundamentan en la saturación del suelo a través de la absorción exponencial de cationes.

2.3.3.3. Conductividad eléctrica

La capacidad del suelo para transportar corriente eléctrica se define como conductividad eléctrica (CE), y está determinada por la concentración de sales disueltas o ionizadas en la solución. En consecuencia, un aumento en la CE indica una mayor concentración de sales en el suelo. Esta característica química del suelo posibilita la elección del tipo de cultivo y variedad en función de la pasividad a los niveles de salinidad en el suelo, el sistema de cultivo, y la intensidad y periodicidad del riego. Concentraciones elevadas de sales en el suelo pueden afectar negativamente el desarrollo radicular de ciertos cultivos (Fertilab, 2019, pág. 2).

La medición de las sales solubles en el suelo se realiza a través de la resolución de la conductividad eléctrica del extracto de saturación. Este procedimiento se sustenta en el concepto de que el total de corriente eléctrica conducida en una solución salina es directamente proporcional a la concentración de sales en dicha solución (López Falcón, 2002).

2.3.4. Propiedades biológicas

2.3.4.1. La vida en el suelo

De acuerdo con (Chavarría, 2011, pág. 57) la existencia de organismos en el interior del suelo es una señal indiscutible de la calidad que presenta dicho ecosistema. Al determinar la calidad biológica de los

suelos, es esencial establecer 2 parámetros que son la diversidad y abundancia. No obstante, la existencia de abundancia puede representar complicaciones, debido a que esto indica que los suelos han sido afectados o sufren desequilibrios entre las especies.

Las diversas comunidades de organismos presentes en el suelo tienen un impacto en la suma y orientación de las corrientes de carbono entre el suelo y la atmósfera. Además, estas agrupaciones influyen en la distribución de nutrientes, en el ciclo del C (carbono) y N (nitrógeno), así también en la condición física del suelo. Además, ejercen un rol crucial en el control de plagas y polinización de plantaciones (Pérez Morales, 2020, pág. 18).

2.4. Ganadería

Es una práctica agrícola enfocada en la cría de animales para la producción de varios productos como leche, carne, cueros, textiles, etc. Esta práctica desempeña un papel crucial en nuestra colectividad (Herrera et al., 2018, pág. 4). Ejerce un rol económico primordial a escala global, especialmente en áreas rurales, como una estrategia tanto sociocultural como económica para promover la seguridad dentro de las comunidades (León et al., 2022, pág. 2).

2.4.1. Tipos de ganadería

2.4.1.1. Ganadería intensiva

En relación con la ganadería intensiva, (García, 2022, págs. 110-112) sostiene que se trata de una práctica en la cual se maximizan los factores de producción. Se destaca por una densidad de animales por hectárea significativamente superior a la observada en la ganadería extensiva. Según el mismo autor, la ganadería intensiva se define como un sistema altamente tecnificado de explotación ganadera que, a diferencia de la extensiva, no optimiza el uso de los recursos naturales. Este enfoque coloca al ganado en condiciones diseñadas para obtener el máximo beneficio en el menor tiempo posible.

2.4.1.2. Ganadería extensiva

La ganadería extensiva se define como una forma de actividad que hace uso de los recursos disponibles en el territorio a través del pastoreo y con una baja necesidad de productos y energía externos. Se destaca por su integración y consideración hacia los procesos ecológicos locales, dado que es esencial adaptarse a ellos para asegurar la continuidad de la producción (Herrera et al., 2018, pág. 7).

2.4.2. Impactos de la ganadería

2.4.2.1. Impactos sobre la biodiversidad

La ganadería busca optimizar la rentabilidad mediante la manipulación genética, promoviendo frecuentemente el cruce de razas y la generación de razas "cosmopolitas". Estas nuevas variedades son diseñadas para adaptarse a diversos entornos, aunque esto supone un detrimento para las especies autóctonas, menos rentables desde el punto de vista económico. Además, la conversión de áreas forestales en pastizales y la preferencia por la producción especializada de pastos y forrajes en detrimento de las variedades locales de cultivo contribuyen significativamente a la pérdida de biodiversidad (Lorente, 2010, págs. 8-9).

2.4.2.2. Impactos sobre el suelo

La ganadería ocupa alrededor del 30% de la superficie libre de hielo del planeta, lo cual tiene implicaciones negativas para la salud del suelo. Según (Pérez, 2008) la explotación excesiva en la ganadería puede resultar en la degradación del suelo, así como en su compactación y erosión, lo que complica su utilización posterior (Lorente, 2010, pág. 8).

La compactación representa una de las principales formas de deterioro en los suelos destinados a la ganadería, ejerciendo un impacto significativo en la productividad ganadera al restringir la infiltración del agua, obstaculizar el crecimiento de las raíces y potencialmente afectar el desarrollo de las plantas. Asimismo, la compactación disminuye la fertilidad del suelo al reducir la actividad biológica (Díaz et al., 2015, pág. 1-3).

2.4.2.3. Impactos sobre el agua

Para (Lorente, 2010) la actividad ganadera, al igual que otras acciones humanas, ejerce un impacto en el medio ambiente, especialmente en el recurso hídrico. El estiércol surge como la principal fuente de contaminación, siendo vertido en ríos a través de los desagües y filtrándose en el suelo cuando la capacidad de carga del área es superada. Estos fenómenos son más prominentes en las operaciones ganaderas intensivas. La acidificación del suelo se ve directamente afectada por el uso excesivo de fertilizantes.

2.4.3. Ganadería y cambio climático

Para (Harris, 2021, pág.1) la ganadería desempeña un papel crucial en la historia de nuestro planeta, y es innegable que ha influido en el aumento de las temperaturas globales desde la Revolución Industrial. La crítica hacia esta actividad ha sido notable, especialmente por su asociación con el calentamiento global, Siendo responsable del 14.5% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) según (Gerber et al., 2013).

En el contexto de la ganadería, estas emisiones se originan principalmente durante la producción y procesamiento de alimentos para el ganado, la fermentación entérica de rumiantes (tales como vacas, ovejas y cabras) y la gestión de excrementos. A pesar de su contribución al calentamiento global, la ganadería también se ve afectada por sus consecuencias, lo que subraya la necesidad de que el sector se comprometa a abordar este problema (Haro et al., 2018, pág. 8).

2.5. Análisis de interpolación espacial

Para Quesada (2019, pág.1) la interpolación espacial de datos es uno de los temas que la geoestadística estudia. Consiste en indagar los valores no conocidos de una variable espacial con base en los disponibles.

Gracias a la interpolación, se pronostican valores para las celdas de un ráster utilizando una cantidad limitada de puntos de una muestra. Este método puede aplicarse para prever valores desconocidos de diversas variables geográficas, como elevación, precipitaciones, concentraciones químicas y niveles de ruido (Esri, 2020, pág.1).

2.5.1. Métodos geoestadísticos y determinísticos de interpolación

2.5.1.1. Métodos determinísticos

Los métodos de interpolación determinísticos generan superficies a partir de puntos de medición mediante el uso de similitudes (distancia inversa ponderada) o suavizado (funciones de base radial). Se clasifican en dos grupos: globales y locales. Las globales realizan predicciones considerando todos los datos disponibles, mientras que las técnicas locales se basan únicamente en los puntos medidos dentro de vecindades, áreas espaciales más reducidas dentro del área de estudio más amplia (Esri, 2020, pág.1).

2.5.1.2. Métodos geoestadísticos

Los métodos de estadísticas geográficas, también conocidos como métodos geoestadísticos, se fundamentan en modelos estadísticos que incorporan la autocorrelación, es decir, la relación estadística entre los puntos medidos. Esta característica confiere a las técnicas de estadística geográfica la capacidad no solo de generar una superficie de predicción, sino también de ofrecer alguna indicación de la certeza o precisión asociada a dichas predicciones (Esri, 2020, pág.1).

- **Kriging bayesiano empírico (EBK)**

Este método de interpolación en estadísticas geográficas automatiza los aspectos más complicados asociados con la creación de un modelo de kriging válido. Su distinción frente a otros métodos de kriging radica en su consideración del error introducido al estimar el semivariograma subyacente (Esri, 2019, pág.1).

El Kriging Empírico Bayesiano ajusta automáticamente el semivariograma empírico previamente conocido mediante simulaciones, utilizando como punto de partida los parámetros de entrada que son probabilidades a priori. En la práctica, ajustamos de manera manual el semivariograma empírico tomando en consideración modelos teóricos y la posición geográfica de los datos. Con esta estimación, realizamos predicciones en ubicaciones desconocidas que se espera estén cercanas a los valores observados en teoría. (Mantilla, 2016, pág. 38).

2.5.2. Análisis espacial de superposición

El análisis de superposición engloba un conjunto de técnicas utilizadas en la identificación de sitios ideales o en la elaboración de modelos de idoneidad. Esta técnica permite aplicar una escala de valores común a diversas entradas, aunque sean diferentes entre sí, con el fin de generar un análisis integrado. Los modelos de idoneidad identifican las ubicaciones óptimas o preferidas para un fenómeno particular (ESRI, s.f., pág.1).

Siguiendo la perspectiva de (Jaime et al., 2011), el método de superposición de mapas se trata de la agrupación de varios mapas o capas, donde la celda de cada capa se vincula con la misma ubicación geográfica. Esto resulta en la generación de una nueva capa o mapa que adhiere los datos de todas las capas o mapas originales.

2.5.2.1. Álgebra de mapas

Dentro del contexto de los SIG (Sistemas de Información Geográfica), este concepto engloba un grupo de análisis o geo procesos utilizados en múltiples capas para conseguir información derivada. A través de la manipulación de capas iniciales, es posible generar nueva cartografía secundaria mediante su combinación (Morondo, 2021, pág. 1-2).

Aunque comúnmente se asocia el álgebra de mapas con datos ráster, esta noción abarca tanto procedimientos vectoriales como ráster. La naturaleza de los archivos ráster facilita la coherencia en la aplicación del álgebra de mapas, ya que se dispone de un formato de archivo regular basado en celdas homogéneas que son comparables y combinables entre sí. La herramienta principal para llevar a cabo esta función es la calculadora ráster (Morondo, 2021, pág. 1-2).

2.6. Enmiendas para el restablecimiento de propiedades fisicoquímicas del suelo

Se conceptualiza como un insumo o mezcla de insumos desarrollados para enmendar una característica concreta determinada en el suelo, con el propósito de mejorar la salud del mismo (Rodas, 2023, págs. 1-2).

2.6.1. Enmiendas orgánicas

Las enmiendas orgánicas resultan de la conversión de desechos de origen vegetal, animal e industrial, y al ser incorporadas al suelo, poseen la capacidad de mejorar sus características físicas, químicas y biológicas, contribuyendo a aumentar la productividad de los cultivos agrícolas (Murillo et al., 2020, págs. 58-68). En términos generales, las mejoras realizadas mediante enmiendas tienen un impacto positivo en los procesos de infiltración y retención de agua, fomentan la actividad microbiana y regulan el pH, convirtiéndose así en una valiosa fuente de nutrientes para el suelo y las plantas. No obstante, es crucial examinar el origen de dichos materiales para prevenir la introducción de patógenos y sustancias potencialmente perjudiciales, evitando así posibles riesgos para el suelo y las plantas (Islam et al., 2020, págs. 87-96).

Según Cuenca et al. (2020, págs. 54-64), la capacidad de los estiércoles y las materias orgánicas para actuar como materiales encalates en suelos ácidos se atribuye al efecto de amortiguación proporcionado por los bicarbonatos y ácidos orgánicos presentes en el estiércol. Además, señala que el intercambio de protones entre el suelo y los sistemas de amortiguamiento de los materiales orgánicos también contribuye a este fenómeno.

2.6.1.1. Compost

Se trata de un fertilizante orgánico obtenido mediante la descomposición biológica (aeróbica y exotérmica) de una combinación de residuos, generalmente de origen urbano y vegetal. Este proceso se lleva a cabo en condiciones controladas de aireación, humedad y temperatura, hasta alcanzar un estado lo bastante estable para ser almacenado y utilizado (Durango et al.; 2021, pág. 3).

2.6.1.2. *Bocashi*

Se trata de un abono abundante en nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos, obtenido mediante la fermentación de materiales secos que han sido mezclados de manera adecuada. Los nutrientes derivados de este proceso de fermentación incluyen tanto elementos mayores como menores, creando así un fertilizante completo que supera las fórmulas de los fertilizantes químicos (FAO, 2011, pág. 10).

2.6.1.3. *Abonos verdes*

Son plantas de rápido crecimiento y adaptabilidad a distintos suelos, principalmente las leguminosas, se cultivan con el propósito de proteger y recuperar el suelo. Estas plantas, que también se encuentran como malezas en áreas no cultivadas, tienen la capacidad de formar nódulos en sus raíces, donde bacterias conviven y aportan nitrógeno al suelo, convirtiéndolo en una fuente aprovechable por los cultivos sucesivos (CENTA, 2020, págs. 1-4).

2.6.1.4. *Humus*

El humus es una sustancia coloidal compuesta por productos orgánicos, resultantes de la descomposición de restos orgánicos por organismos como hongos y bacterias. Su tonalidad negruzca se debe al alto contenido de carbono. Este componente se localiza principalmente en las capas superiores del suelo con actividad orgánica (López et al., 2010, pág. 3). El humus contribuye a mejorar la composición del suelo, incrementando su capacidad para retener agua, mejorando la retención de nutrientes y disminuyendo el riesgo de compactación (PhycoTerra, 2023, pág. 2)

2.6.1.5. *Estiércol de cuy (Cuyinaza)*

El excremento de cuy, que inicialmente tiene una consistencia blanda, experimenta deshidratación con el tiempo y se transforma en una masa sólida llamada cuyinaza. Esta mezcla incluye diversos materiales como rastrojos, virutas, cáscaras, excremento, pelos y restos de alimentos. La cuyinaza puede pasar por un proceso de compostaje con la intervención de organismos como insectos, escarabajos, hongos, levaduras, protozoarios y bacterias tanto aeróbicas como anaeróbicas. Las investigaciones resaltan la

eficacia del biofertilizante obtenido de la cuyinaza para mejorar la fertilidad del suelo, contribuyendo de manera positiva a la sostenibilidad del recurso y siendo una opción beneficiosa para los agricultores debido a su costo de producción reducido (Murray et al., 2022, págs. 1-7).

2.6.2. Enmiendas químicas

Las enmiendas químicas son productos minerales diseñados para restablecer las propiedades físicas y químicas del suelo (Damian et al., 2018, págs. 154-155).

2.6.2.1. Cal

Emplear cal agrícola conlleva una serie de beneficios que incluyen la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como la mayor fijación de nitrógeno en leguminosas, el incremento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, la reducción de toxicidades en el suelo y la potenciación de la eficacia de algunos herbicidas. Además, el uso de cal agrícola para ajustar el pH hacia niveles neutros potencia la actividad de los organismos descomponedores de residuos de cultivos, mejorando la estructura del suelo. Este proceso facilita la lixiviación de nutrientes y contribuye a una mejor retención de agua en el suelo (Torres, 2019, pág.1).

2.6.3. Enmiendas mecánicas

Se define como enmienda mecánica el uso de enfoques agrícolas que emplean maquinaria específica para trabajar la capa externa del suelo, evitando afectar las capas subterráneas. El objetivo es conservar la composición del suelo, impulsar la variedad microbiana e incrementar la capacidad de retención de nutrientes y agua (Medina, 2023, págs. 4-34).

2.6.3.1. Labranza mínima

La labranza mínima implica la preparación del terreno sin realizar labores profundas, consistiendo en uno o dos pasajes de implementos sobre la superficie, seguido de la siembra. Esta técnica consiste en mezclar los residuos del cultivo previo con el suelo (Vargas, 2021, págs. 7-8).

- Preservación de la integridad del suelo y la materia orgánica.
- Disminución de la erosión y la pérdida de nutrientes.
- Reducción del gasto de combustible y los costos asociados con la maquinaria. (Jacto, 2023, págs. 2-3).

2.6.4. *Enmiendas integradas*

Dichas enmiendas brindan una solución integral y de bajo costo para optimizar la calidad del recurso suelo y el desarrollo adecuado de las plantas. Pese a ello, es primordial conocer las necesidades específicas de cada suelo y de la vegetación previo a optar por una enmienda mixta (Admon, 2023, págs. 1-3).

- **Integrada de minerales:** Contienen una variedad de minerales, como zeolita y vermiculita, los cuales son usados para mejorar las características del suelo como la capacidad de retención de agua y nutrientes (Admon, 2023, págs. 1-3).
- **Orgánico-minerales:** Consisten en la combinación de enmiendas orgánicas e inorgánicas, como por ejemplo la mezcla de abono orgánico con minerales como la cal (Admon, 2023, págs. 1-3).
- **Mezclas de compost:** Consisten en mezclar compost con distintos elementos, como arena, arcilla o turba con el fin de mejorar tanto la fertilidad como la estructura del suelo (Admon, 2023, págs. 1-3).
- **Enmiendas orgánico-minerales con prácticas mecánicas:** Se basan en una mezcla de enmiendas orgánicas e inorgánicas, como la combinación de abono orgánico con minerales como la cal además de emplear equipos y maquinaria específica para trabajar el suelo (Admon, 2023, págs. 1-3).
- **Mezclas de fertilizantes:** Se trata de una diversidad de fertilizantes químicos mezclados para ofrecer a la vegetación una fuente equilibrada de nutrientes (Admon, 2023, págs. 1-3).

2.7. Metodologías participativas

La metodología participativa se refiere a un enfoque de trabajo que considera a los participantes como agentes activos o protagonistas en la construcción del conocimiento, en lugar de percibirlos como simples receptores pasivos. Su objetivo es promover la participación y asegurar la inclusión de todos los miembros del grupo involucrado. Al utilizar esta metodología, la percepción, análisis y solución de los problemas ya no dependen únicamente de quienes llevan a cabo el proyecto, sino que se prioriza de manera fundamental la consideración de las personas beneficiarias, incluyendo sus expectativas, percepciones y necesidades. La metodología participativa busca fomentar un aprendizaje integral para que las personas adquieran una visión completa de la realidad (Lemus, 2022, págs. 1-2).

2.8. Manuales de transferencia de tecnología agraria

Es un tipo de guía que proporciona conceptos, consideraciones, métodos y herramientas para realizar la programación, disposición, implementación, seguimiento y evaluación de las acciones de transferencia de tecnología en el sector agrícola. Este recurso aborda elementos esenciales vinculados a la transferencia de tecnología en el sector agrícola, tales como la adopción de tecnología, asistencia técnica, desarrollo rural y políticas agrícolas (INIA, 2016, pág. 4).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Caracterización de la zona de estudio

3.1.1. Área de estudio

La presente investigación se realizó en el sistema de riego Cooperativa Santa Teresita dentro de la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Tiene una extensión de 69,26 has y se encuentra en la zona alta de la parroquia San Juan, cuyo rango altitudinal varía de 3160 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) a 6210 m.s.n.m.

3.1.2. Ubicación

Su ubicación en coordenadas UTM *Universal Transverse Mercator* es la siguiente 746557,70 Este y 9823228,10 Norte.

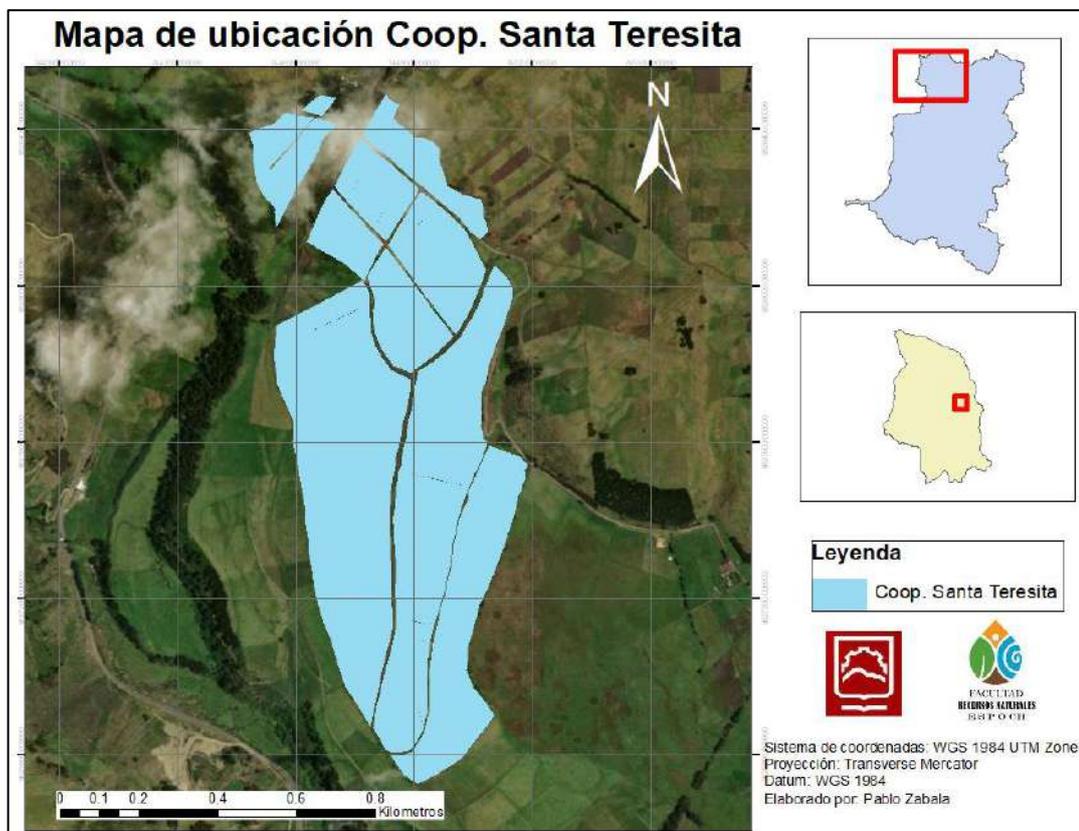


Ilustración 3-1: Ubicación de Coop. Santa Teresita

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

3.1.3. Componente biofísico

3.1.3.1. Relieve

La parroquia San Juan en su mayoría, está constituida por territorio escarpado, seguido por zonas montañosas, pendientes colinadas, pendientes moderadamente onduladas, territorios con nieve, a continuación, se encuentran pendientes suaves y por último existen territorios planos o casi planos. Los porcentajes de territorio se representan en la siguiente tabla.

Tabla 3-1: Relieve de la parroquia San Juan

Ítem	Descripción	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Plano o casi plano	508,77	52,30
2	Suave o ligeramente ondulado	743,95	3,36
3	Modernamente ondulado	3458,23	15,56
4	Colinado	4152,96	18,78
5	Escarpado	6076,24	27,48
6	Montañoso	5970,58	27,00
7	Nieve	1201,96	5,44
	Total	22112,69	100

Fuente: (GAD Parroquial San Juan, 2021).

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

3.1.3.2. Suelos

En la parroquia San Juan se encuentra la siguiente clasificación de suelos de acuerdo a su textura.

Tabla 3-2: Suelos de acuerdo a su textura

Ítem	Tipo	Descripción	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	1	Gruesa	1243,37	5,62
2	1-5	Gruesa -muy fina	1622,00	7,34
3	2	Moderadamente gruesa	11526,22	52,12

Ítem	Tipo	Descripción	Área (ha)	Porcentaje (%)
4	2-5	Moderadamente gruesa-muy fina	650,23	2,94
5	3	Media	4706,14	21,28
6	3-4	Media-fina	76,27	0,34
7	Nieve	Nieve	12000,06	5,43
8	Roca	Roca	0,68	0,00
9	Eriales	Eriales	1087,71	4,92
Total			22112,69	100

Fuente: (GAD Parroquial San Juan, 2021).

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

En la siguiente tabla se hallan los diferentes órdenes de suelos.

Tabla 3-3: Descripción de suelos

Orden	Suborden	Grangrupo	Subgrupo	Área
Andisoles	Cryands	Haplocryands	Vitric haplocryands	4878,92
Andisoles	Udands	Hapludands	Vitric hapludands	6369,23
Andisoles	Aquands	Endoaquands	Histic endoaquands	415,45
Andisoles	Vitrands	Ustivitrands	Typic ustivitrands	118,69
Andisoles - entisoles	Udands – psamments	Durudands - ustipsamments	Acrudoxic durudands - typic ustipsamments esquelética-media	44,13
Andisoles - entisoles	Vitrands – psamments	Udivitrands - ustipsamments	Humic udivitrands - typic ustipsamments esquelética-media	0,78
Áreas misceláneas	Áreas misceláneas	Áreas misceláneas	Áreas misceláneas	6392,04
Entisoles	Orthents	Udorthents	Typic udorthents	1577,09
Entisoles	Fluvents	Ustifluvents	Aquic ustifluvents	314,34
Mollisoles	Ustolls	Durustolls	Typic durustolls	700,15
Mollisoles	Udolls	Argiudolls	Andic argiudolls	101,12
Nieve	Nieve	Nieve	Nieve	1200,06
Roca	Roca	Roca	Roca	0,69
Total				22112,69

Fuente: (GAD Parroquial San Juan, 2021).

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

3.1.3.3. Cobertura y uso de suelo

El uso del suelo en la parroquia San Juan se muestra en la tabla a continuación

Tabla 3-4: Cobertura y uso de suelo

Uso	Área (ha)	Porcentaje (%)
Protección y conservación de páramos herbáceos	12639,27	57,16%
Pecuario	2099,37	9,49%
Agrícola	1366,11	6,18%
Tierras improductivas	2501,14	11,31%

Fuente: (GAD Parroquial San Juan, 2021).

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

3.1.3.4. Clima

La parroquia San Juan posee 3 tipos de climas que son: ecuatorial frio alta montaña, ecuatorial frio seco alta montaña y ecuatorial frio semihúmedo montaña. Existen también 3 diferentes pisos climáticos que se los observa en la siguiente tabla.

Tabla 3-5: Pisos climáticos

Pisos climáticos	Descripción	Área (ha)	% del área total
Tierra nevada	>5000 m.s.n.m con temperaturas nocturnas de hasta -50 °C	576,9	2,61
Tierra helada	Desde los 3500 hasta 5000 m.s.n.m con temperaturas medias anuales máximas de 6 °C	18307,48	82,77
Tierra fría	Alturas de los 2000 a 3500 m.s.n.m con temperaturas que van desde los 12 a los 22 °C	3235,42	14,63

Fuente: (GAD Parroquial San Juan, 2021).

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

3.2. Procedimiento de la investigación

3.2.1. Identificación de las condiciones del suelo

3.2.1.1. Línea base cartográfica

En la etapa inicial del estudio, se dio prioridad a la elaboración de una línea base geoespacial para la zona de estudio, que incluye el sistema de riego de Cooperativa Santa Teresita, mediante el uso del software ArcMap. Este proceso comprendió las siguientes fases:

- **Registro georreferenciado de lotes dentro de la Cooperativa Santa Teresita**

Se realizó una visita a la Cooperativa Santa Teresita, durante la cual se utilizó tecnología GPS para llevar a cabo el levantamiento de información de los distintos lotes. Este enfoque de mapeo mediante GPS asegura una recopilación precisa y georreferenciada de datos, lo que permite una representación cartográfica precisa de la distribución espacial de los lotes en la cooperativa. Esta metodología no solo garantiza la precisión de la información recopilada, sino que también proporciona un estudio espacial más estricto, una gestión de los recursos y la planificación táctica basada en decisiones.

- **Elaboración de mapa**

Se integró un archivo *shapefile* que representaba los lotes de la Cooperativa Santa Teresita, en la parroquia San Juan. Se generó una grilla de muestreo mediante la herramienta *Create fishnet*, la cual produjo cuadriláteros de 50 x 50 metros, con un punto central en cada cuadrante. Estos puntos centrales sirvieron como coordenadas de referencia para el posterior muestreo de las variables pH y compactación del suelo. La elección de esta malla cuadrangular se sustenta en su capacidad para ofrecer una representación equitativa y detallada del terreno, permitiendo así la identificación de variaciones en las condiciones del suelo.

- **Preparación para el muestreo en campo**

Con el objetivo de obtener datos detallados del área de investigación, se planificó la toma de 10 muestras por hectárea dentro de la grilla estructurada. En total, se identificaron 284 puntos de muestreo en el sistema de riego de la Cooperativa Santa Teresita, asegurando una cobertura

representativa del área de estudio y permitiendo una evaluación exhaustiva de las variables seleccionadas.

Una vez definidas las coordenadas de referencia, se cargaron estos datos en un dispositivo GPS de mano. Este paso fue esencial para iniciar el muestreo de las variables pH y compactación del suelo en el terreno. La preparación meticulosa de este proceso aseguró una recopilación de datos precisa y eficiente durante la fase de trabajo de campo.

- **Socialización**

Se llevó a cabo la socialización de los objetivos y la metodología de la presente investigación con los residentes y las principales autoridades del sistema de riego de la Cooperativa Santa Teresita. Esta fase fue de suma importancia para obtener los permisos necesarios y asegurar la viabilidad de este estudio. La comunicación eficaz con la población local no solo garantizó el cumplimiento ético, asimismo fortaleció la colaboración y el respaldo necesario para materializar una investigación sin complicaciones.

3.2.1.2. *Levantamiento de información en campo*

Una vez obtenidos y registrados los puntos de muestreo en el GPS de mano, se realizaron salidas de campo para llevar a cabo el levantamiento de las variables fisicoquímicas. Se empleó un pH metro de campo para medir los niveles de pH del suelo, que varían en un rango de 0 a 14. En cuanto a la compactación, se utilizó un penetrómetro de reloj para determinar la fuerza de compactación del suelo en Newtons. Posteriormente, para convertir estos valores a Megapascales, se aplicó la fórmula:

$$\left(\frac{\text{Newtons}}{\text{Diámetro}(1) * 10}\right) \div 1000$$

Estos instrumentos fueron esenciales para identificar con precisión las características fisicoquímicas del suelo dentro del sistema de riego Coop. Santa Teresita.

- **Determinación del pH**

Se empleó un sensor de pH de campo y se llevaron a cabo los siguientes pasos para una correcta toma de datos:

- Antes de introducir el pH metro en el suelo, se procedió a ajustar la punta de metal.
- El sensor fue insertado en el suelo a una profundidad de 5 centímetros.
- Se aguardó aproximadamente 60 segundos para permitir que el sensor se estabilizara, y se registró el dato obtenido en la lectura.
- Finalmente, se efectuó la limpieza y ajuste de la punta de metal del sensor, preparándolo para las siguientes muestras.



Ilustración 3-2: Introducción de pH metro en el suelo

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

- **Determinación de la compactación**

La compactación del suelo fue evaluada mediante el empleo de un penetrómetro de reloj. El procedimiento seguido constó de los siguientes pasos:

- Se colocó la barra y el cono, ambos de 1 centímetro cuadrado, en posición.
- La punta del sensor fue ajustada con precaución para evitar el riesgo de que quedara atrapada en el suelo.
- Se introdujo el penetrómetro en el suelo a una profundidad mínima de 15 centímetros.
- Se aguardó a que la lectura se estabilizara y se registró el dato obtenido.
- Después de cada muestra tomada, se ajustó la punta de metal para garantizar la precisión de las mediciones.



Ilustración 3-3: Penetrómetro de reloj

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

3.2.1.3. *Análisis de interpolación a través del método Kriging empírico Bayesiano*

Con base en los datos recopilados durante la fase de trabajo de campo, se generaron dos mapas distintos mediante el software ArcGIS. Estos mapas ofrecieron una representación visual de los rangos de pH y los niveles de compactación del suelo en el sistema de riego Coop. Santa Teresita. La elaboración de estos mapas se llevó a cabo empleando la herramienta de Kriging empírico Bayesiano, siguiendo los pasos detallados a continuación:

- En primer lugar, se creó una base de datos con la información recolectada en campo, la cual se organizó en una hoja de Excel. Posteriormente, esta base de datos se exportó al software ArcGIS.
- A continuación, se ejecutó la herramienta de interpolación Kriging empírico bayesiano, ajustando los parámetros necesarios para asegurar la correcta creación de los mapas.

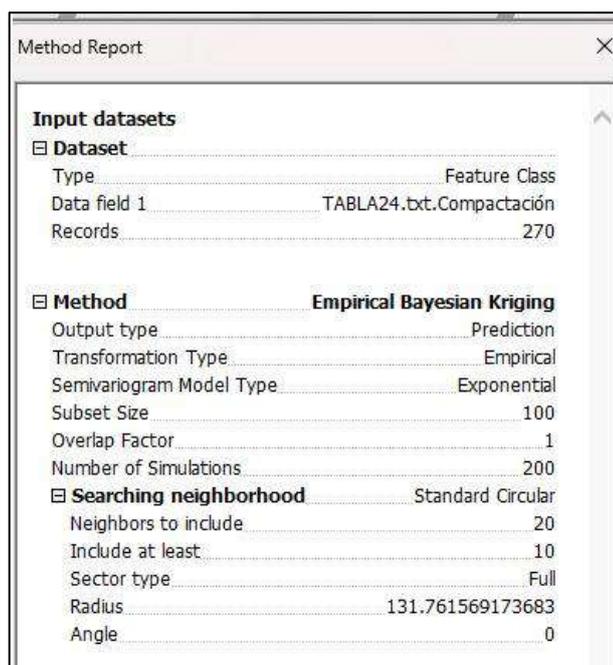


Ilustración 3-4: Parámetros para la interpolación

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

El método de interpolación seleccionado se considera el más apropiado para el propósito de la investigación, ya que automatiza la elección del semivariograma que mejor describe la variable en estudio. Esta elección se implementó para ambas variables fisicoquímicas del suelo contempladas en la investigación.

3.2.1.4. *Reclasificación de la superficie interpolada de acuerdo a la categorización de variables*

Una vez finalizada la interpolación con precisión de ambas variables en la superficie, se procedió a realizar la reclasificación según las categorías detalladas en las tablas 3-6 y 3-7. Este procedimiento tuvo como finalidad obtener un mapa debidamente clasificado y fácilmente comprensible. Este paso es esencial para presentar de manera clara y visual la información sobre los niveles de las variables estudiadas, facilitando así su interpretación y análisis por parte de los usuarios.

Tabla 3-6: Categorización del pH

Valor de pH	Clase
< 5	Fuertemente ácido
5 - 6	Moderadamente ácido
6 - 6.5	Ligeramente ácido
6.5 - 7.5	Neutro
7.5 - 8.5	Ligeramente básico
> 8.5	Básico

Fuente: (Porta et al., 2003).

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

Tabla 3-7: Categorización de la compactación del suelo

Resistencia a la penetración (MPa)	Clase
< 0,1	Muy Bajo
0,1 a 1	Bajo
1 a 2	Moderado
2 a 4	Alto
> 4	Muy alto

Fuente: Rodríguez, 2020.

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

3.2.1.5. Análisis de superposición

Con la finalidad de identificar las áreas prioritarias, se llevó a cabo una superposición mediante el uso de ArcGIS. Esta metodología permitió reconocer las zonas que presentan desafíos tanto en el pH como en la compactación del suelo, así como áreas donde solo se evidencian problemas vinculados al pH o exclusivamente a la compactación del suelo. Este análisis ofreció una perspectiva completa que simplificó la determinación de las áreas prioritarias para la intervención. Para ello se procedió a realizar los siguientes pasos:

- Se incorporaron las capas ráster correspondientes al pH y de compactación del suelo de Coop. Santa Teresita en un nuevo archivo de ArcMap.
- Ponderación de prioridades de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3-8: Ponderación de prioridad de intervención

Nivel de pH (Ponderación)	Grado de Compactación (Ponderación)	Sumatoria de ponderados	Prioridad de intervención
Neutro (1)	Baja (1)	2	Nula
Neutro (1)	Moderada (2)	3	Prioridad baja
Ligeramente ácido (3)	Baja (1)	4	Prioridad baja
Ligeramente ácido (3)	Moderada (2)	5	Prioridad moderada
Moderadamente ácido (5)	Baja (1)	6	Prioridad media
Moderadamente ácido (5)	Moderada (2)	7	Prioridad alta

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

- Para llevar a cabo la superposición de estas capas, se recurrió a la herramienta "Calculadora raster", accesible a través de ArcToolbox en la sección de herramientas de análisis espacial, específicamente en la categoría de Álgebra de mapas.
- Dentro de esta herramienta, se efectuó un doble clic en la capa de pH para seleccionarla como el primer componente en la operación. Seguidamente, se hizo clic en el signo “ + ” y se seleccionó la capa de compactación como el segundo componente de la operación. Tras esta selección, se pulsó el botón "OK" para confirmar la operación y se aguardó mientras el software procesaba la información.
- Como resultado de esta operación, se obtuvo una nueva capa que representaba la superposición de las capas de pH y compactación.
- Para mejorar la interpretación visual, se llevó a cabo un ajuste en el rango de colores de la capa final, optimizando así la presentación de la información.
- La tabla siguiente indica los niveles de priorización para la implementación de enmiendas en la zona de estudio.

Tabla 3-9: Nivel de prioridad

	Prioridad alta (7)
	Prioridad media (6)
	Prioridad moderada (5)
	Prioridad baja (3-4)
	Nula (2)

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

3.2.2. Comparación de enmiendas para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo en el sistema de riego Coop. santa teresita

3.2.2.1. Socialización de resultados

En una primera instancia, se organizó una sesión informativa dirigida a los residentes de la Coop. Santa Teresita. Durante dicha sesión, se proporcionó una explicación detallada sobre el estado de salud del suelo en el sistema de riego. Se presentaron los mapas previamente obtenidos que categorizaban el pH y la compactación en el área de estudio, lo que facilitó a la comunidad una comprensión más clara de las condiciones fisicoquímicas analizadas en el suelo.

Tras la presentación de la información recopilada, se procedió a identificar y priorizar, en colaboración con la comunidad, las áreas específicas donde se llevarían a cabo las enmiendas, promoviendo así la toma de decisiones informadas y la participación activa de la comunidad en el proceso de mejora del suelo.

3.2.2.2. Elección de enmiendas

Se ejecutó una revisión bibliográfica con el fin de identificar las enmiendas adecuadas para modificar los niveles de pH y compactación en la zona de estudio. Seguidamente, se describen las enmiendas elegidas, las cuales han confirmado ser eficaces en la restauración de las características fisicoquímicas del suelo. Este procedimiento asegura una intervención adecuada y ajustada a las particularidades del suelo, lo que contribuye a una mejora más eficaz y sostenible del entorno.

- **Cal:** Es un aliado considerable para mantener un suelo en óptimas condiciones. Estabiliza el pH y modificando la acidez del suelo, siendo esencial para el desarrollo y bienestar de la vegetación (Agronet, 2023, pág. 1).
- **Estiércol de cuy:** El estiércol puede ajustar la acidez del suelo, ya sea aumentándola o reduciéndola, debido a la descomposición de la materia orgánica que genera ácidos. Sin embargo, el estiércol generalmente contiene cationes básicos en cantidad suficiente para neutralizar los ácidos presentes en el suelo (Murillo et al., 2020, págs. 58-68).
- **Humus:** Desempeña un papel como estabilizador del pH del suelo, gracias a la existencia de ácidos húmicos y fúlvicos que modifican la acidez según lo requiera. De igual manera, su

contenido pleno en materia orgánica descompuesta facilita la descompactación del suelo, aumentando su porosidad y propiciando el flujo de aire y agua (Lozano, 2023, pág. 2).

- **Labranza mínima:** Se trata de la técnica más comúnmente empleada para acondicionar el suelo mediante el uso de herramientas, con el objetivo de descompactarlo y prepararlo para el cultivo (Mendoza, 2021, pág. 8).
- **Aireación por rodillo:** El uso de un rodillo aireador se presenta como una opción efectiva para mejorar la aireación y facilitar la infiltración del agua de lluvia en el suelo, al mismo tiempo que posibilita la mejora de las propiedades físicas del suelo con la mínima perturbación (Yam-Tzec et al., 2021, pág. 2).

3.2.2.3. Implementación de enmiendas

Se asignaron siete parcelas para llevar a cabo la aplicación de las enmiendas mencionadas anteriormente. Dos de estas parcelas se destinaron principalmente a mejorar el pH: una con enmienda de origen orgánico y otra con enmienda de origen químico. La tercera y cuarta parcela recibieron una enmienda de tipo mecánico para abordar la compactación. Además, se implementó una quinta parcela con enmienda orgánica, con el propósito de mejorar tanto el pH como la compactación. Finalmente, las parcelas sexta y séptima fueron objeto de una enmienda integrada que combinó el uso simultáneo de enmiendas orgánicas, químicas y mecánicas. La ilustración 3-5 detalla el tipo de enmienda destinada para cada variable, así como las enmiendas integradas.

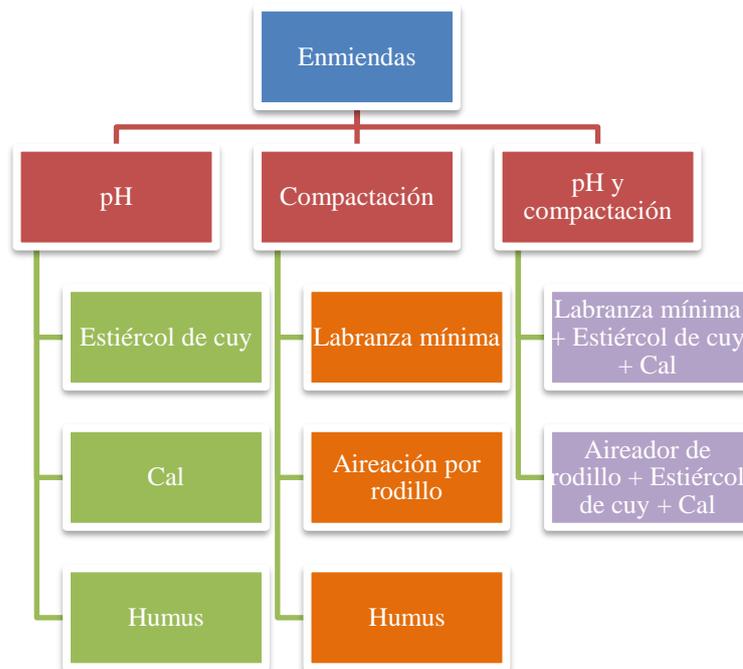


Ilustración 3-5: Distribución del tipo de enmienda utilizada para la mejora de las variables pH y compactación

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

Posterior a la delimitación de las áreas de intervención, la clase de enmienda y el número de parcelas, se continuó con el señalamiento de cada una con medidas de 5 x 5 metros, así como se indica en la ilustración 3-6. A partir de esto, se acondicionó el suelo de cada parcela utilizando un azadón y se repartió uniformemente cada enmienda, ajustando la cantidad según lo necesario. A continuación, se especifican las cantidades exactas de enmiendas aplicadas en cada parcela.

Tabla 3-10: Cantidad o forma de aplicación de cada enmienda

Enmienda	Forma de aplicación / Cantidad
Estiércol de cuy	3 costales para suelo ligeramente ácido (22.5 kg aproximado por costal)
Cal	1 Kg x metro ²
Humus	2 costales (22.5 kg aproximado por costal)
Integrada	3 costales de estiércol de cuy y 1 Kg de Cal x metro ² (22.5 kg aproximado por costal)
Rodillo	Se aplica mediante el paso del rodillo sobre la superficie del suelo
Labranza	Uso de la hoja del azadón para romper y mover el suelo

Fuente: Mula, 2023, pág. 1.

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

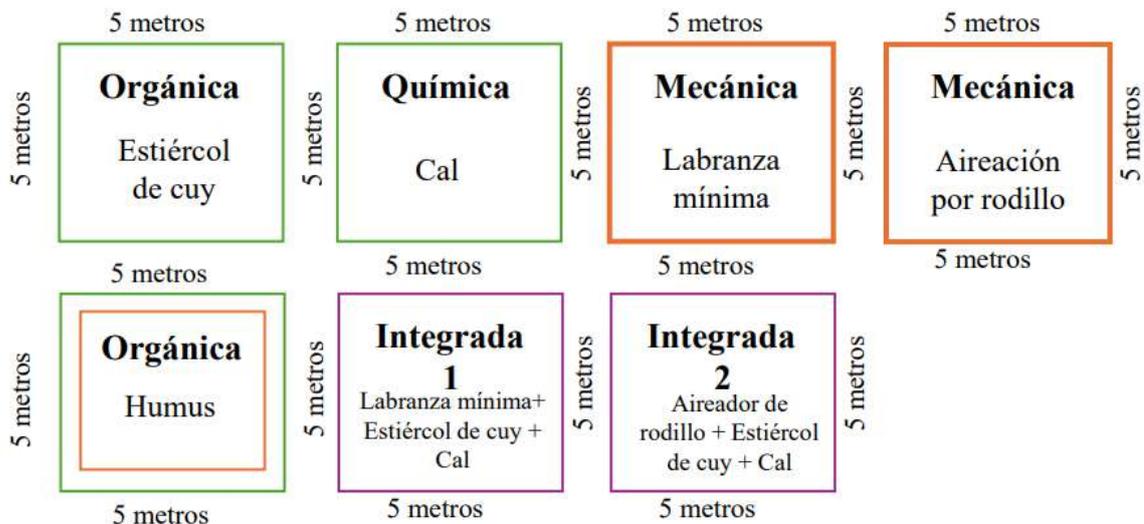


Ilustración 3-6: Distribución de parcelas y enmiendas

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

Para esta investigación se utilizó el color verde para indicar las enmiendas aplicadas con respecto al pH del suelo. Color naranja para describir a las enmiendas que benefician a bajar el nivel de compactación del suelo y por último el color morado para detallar las enmiendas integradas que influyen tanto para el pH como para la compactación.

La selección de enmiendas individuales y la aplicación de dos enmiendas integrales buscó abordar de manera más completa y eficaz la mejora de las condiciones del suelo en estudio, generando un impacto positivo tanto en las propiedades de pH como compactación del sustrato.

3.2.2.4. Medición de variables

Con el objetivo de evaluar la influencia de las enmiendas en estas variables, se ejecutaron mediciones mensuales en un lapso de 5 meses. Este enfoque temporal continuado ofreció información a lo largo del tiempo para comparar y analizar si las enmiendas tuvieron un impacto en el mejoramiento de la calidad del suelo.

Previo a la aplicación de las enmiendas, se llevaron a cabo mediciones para evaluar las variables de pH y compactación, permitiendo obtener un panorama del estado inicial de las propiedades del suelo en cada parcela.

3.2.2.5. Análisis estadístico

Se llevó a cabo el análisis estadístico mediante el software SPSS. En una primera fase, se procedió a validar los supuestos de normalidad y homogeneidad de los datos. Una vez confirmada la idoneidad de estos requisitos, se aplicaron las pruebas paramétricas ANOVA para evaluar las enmiendas destinadas a mejorar cada variable de estudio y la prueba T de Student para las enmiendas integradas utilizadas con el propósito de mejorar ambas variables. Ambas pruebas se realizaron con un nivel de confianza del 95%, con el objetivo de identificar posibles diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las enmiendas aplicadas.

Después de identificar las diferencias en las medias, se procedió a realizar la prueba de Tukey para determinar qué medias son estadísticamente distintas entre sí, contribuyendo de esta manera a obtener una comprensión más precisa de las discrepancias existentes.

3.2.3. Elaboración de una guía técnica para la transferencia de las tecnologías validadas dentro del sistema de riego Coop. Santa Teresita

En primer lugar, se llevó a cabo la priorización de contenidos relacionados con las enmiendas mecánicas, orgánicas, químicas e integradas, centrándose en su efectividad para restablecer las propiedades fisicoquímicas del suelo. Este proceso implicó revisar y seleccionar cuidadosamente información relevante proveniente de fuentes científicas y técnicas, con el objetivo de fundamentar de manera sólida las recomendaciones que se brindarían en la guía técnica.

Posteriormente, se procedió al diseño y diagramación de un material divulgativo que condensara de manera clara y accesible la información recopilada. Este material fue estructurado de manera lógica y visualmente atractiva, garantizando una presentación efectiva de las diferentes enmiendas y sus aplicaciones prácticas en el restablecimiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Por último, se procedió a la difusión de la guía técnica a la población del sistema de riego Cooperativa Santa Teresita. Este procedimiento involucró la coordinación de sesiones informativas y actividades colaborativas, donde se explicaron detalladamente las recomendaciones y pautas presentes en la guía. Se incentivó la participación de la comunidad, impulsando un diálogo que permitiera despejar dudas y aplicar las prácticas sugeridas a las necesidades específicas del lugar.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Determinación de lotes en Cooperativa Santa Teresita

El siguiente mapa representa los lotes delimitados con la ayuda de un equipo GPS dentro de la Coop. Santa Teresita. Es de suma importancia determinar los lotes de cada dueño en el sistema de riego para una correcta toma de datos y la posterior entrega de información acerca de las variables fisicoquímicas estudiadas y como recuperar la calidad del suelo.

MAPA DE LOTES COOP. SANTA TERESITA

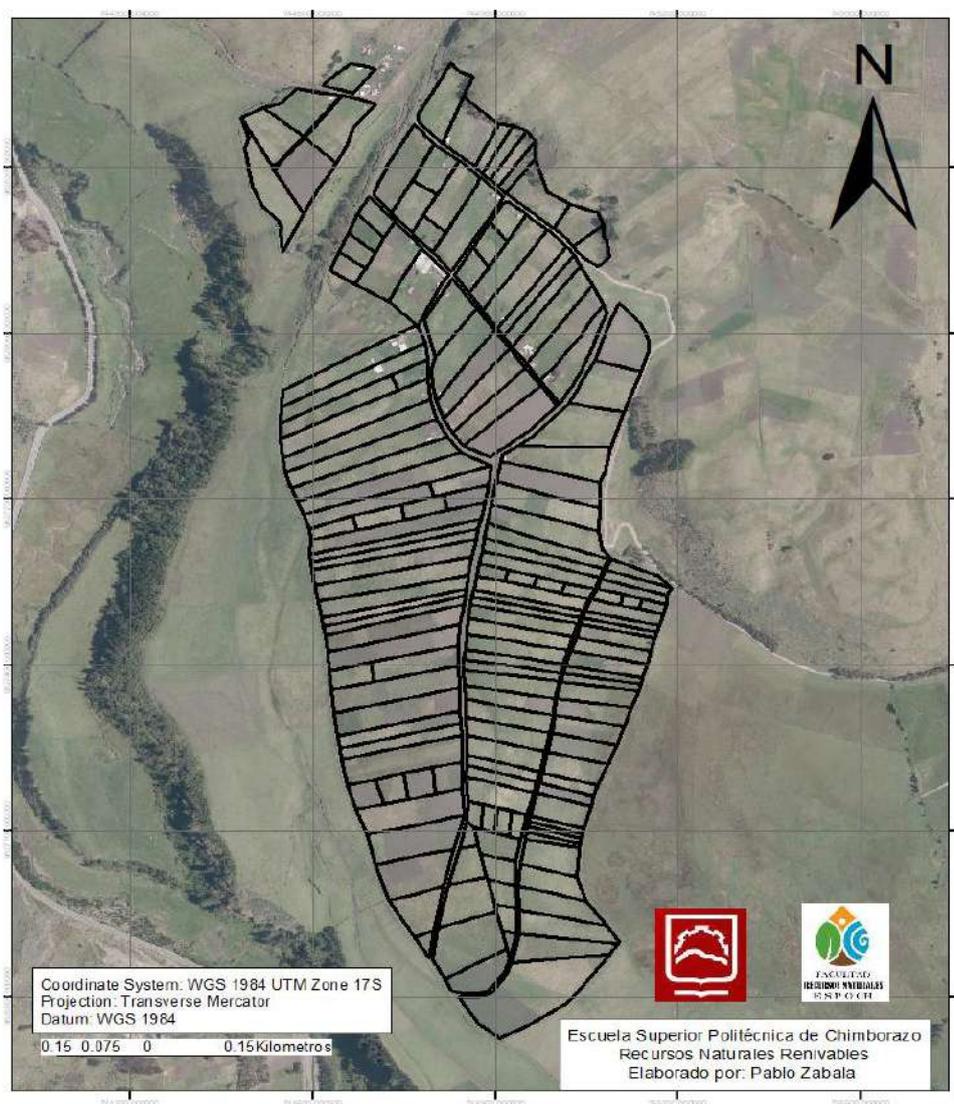


Ilustración 4-1: Mapa de lotes en el sistema de riego Coop. Santa Teresita

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

4.1.1. Identificación de puntos de muestreo

La ilustración 4-2 muestra el mapa empleado para identificar los puntos de muestreo en el área de estudio. Este mapa fue fundamental para garantizar la ubicación exacta de los puntos para la recolección de muestras, lo que facilitó un enfoque metódico y significativo en la recopilación de información para esta investigación. El reconocimiento de estos puntos de muestreo es esencial para asegurar la legitimidad y fiabilidad de los resultados conseguidos en el estudio sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en el área.

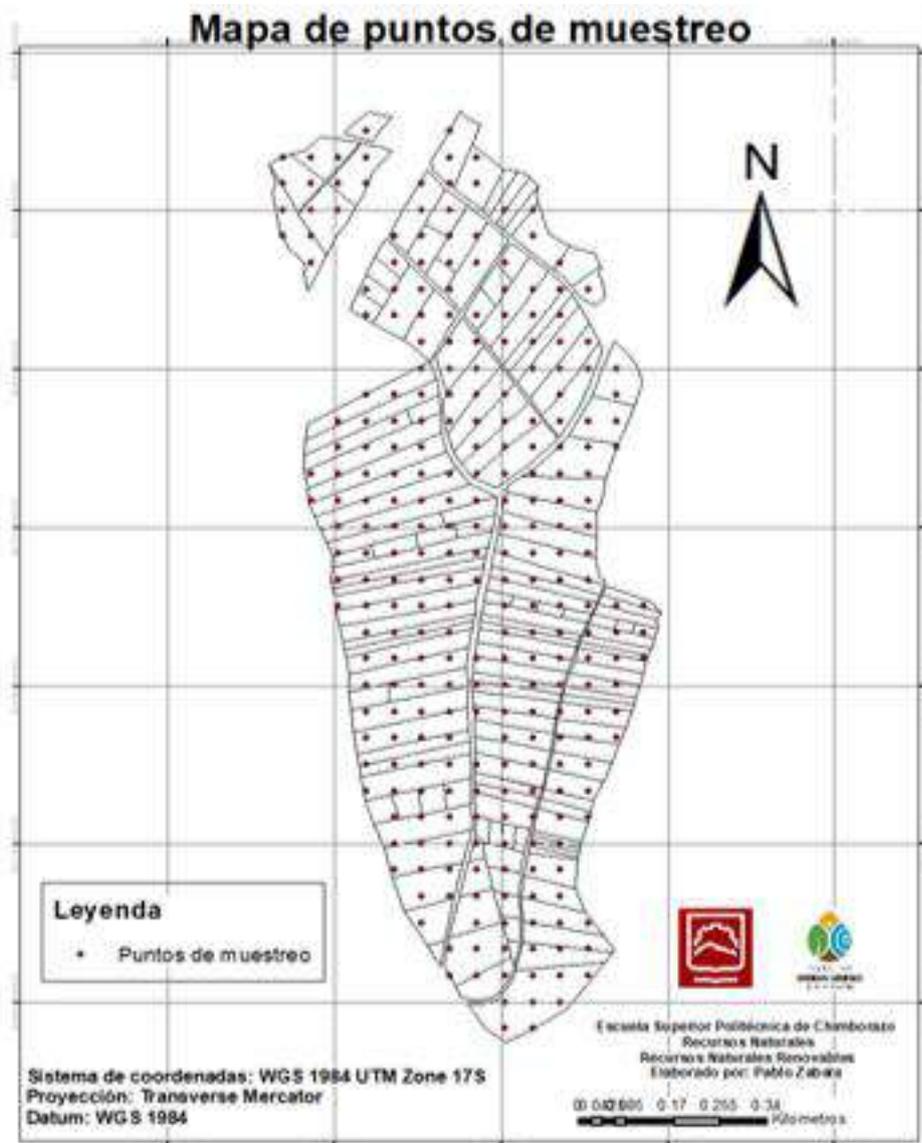


Ilustración 4-2: Mapa de puntos de muestreo en el sistema de riego Coop. Santa Teresita

Realizado por: Zabala, Pablo, 2023.

4.2. Objetivo 1: Análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo

Mediante la recopilación de información sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en el sistema de riego de la Cooperativa Santa Teresita, se han obtenido resultados que contribuyen a la comprensión de las condiciones del suelo en el área de estudio. La clasificación de los niveles de pH y compactación no solo ha proporcionado información sobre las características actuales del suelo, sino que también ha facilitado una identificación más precisa de las zonas que requieren atención prioritaria.

4.2.1. pH

El grado de alcalinidad o acidez del suelo es una propiedad fundamental para la comprensión de la calidad y aprovechamiento del suelo. Su influencia en la disponibilidad de nutrientes es primordial para entender la capacidad del suelo para proveer los elementos requeridos para el desarrollo de la vegetación. El análisis preciso del pH simplifica la identificación de carencias o toxicidades y es fundamental en la concepción de estrategias de control del recurso suelo (León et al., 2018, pág.83).

En este contexto, los resultados de las de muestras recopiladas en el sistema de riego Coop. Santa Teresita se presentan de manera detallada en la ilustración 4-3, clasificadas según las categorías identificadas, ofreciendo así una visión exhaustiva de la condición del suelo en la zona de estudio.

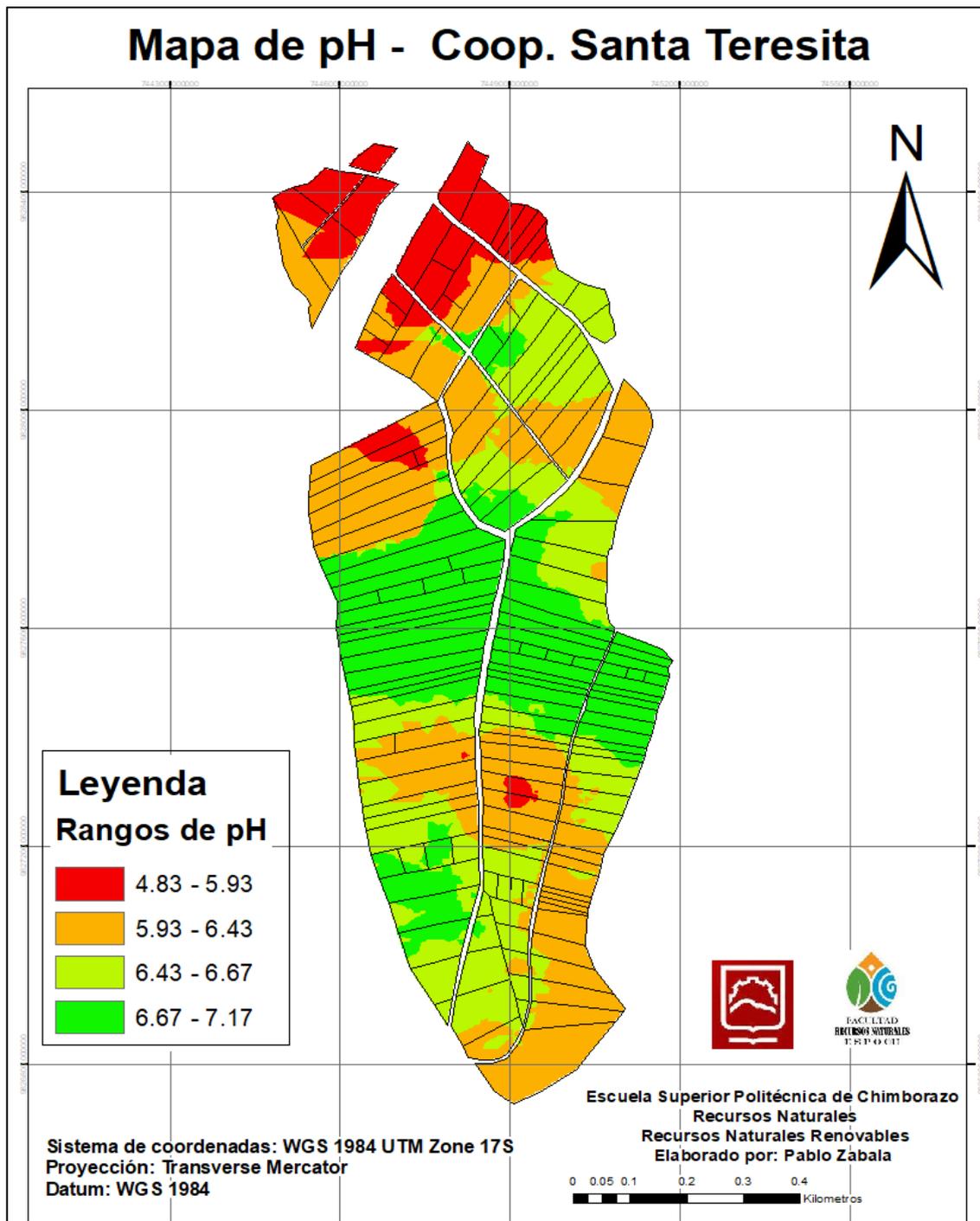


Ilustración 4-3: Mapa de valores brutos de pH

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

Los resultados indican que la constitución del suelo en la zona de estudio se caracteriza por presentar un pH neutro. Un total de 180 muestras fueron identificadas dentro de esta categoría, lo que representa el 63,38% del total analizado. Como segundo lugar, se identificaron 82 muestras clasificadas como ligeramente ácidas, conformando un 28,87%. Además, se registraron 12 muestras catalogadas como moderadamente ácidas, representando el 4,23%. La categoría ligeramente básica se detectó en menor medida, equivalente al 0,35%. Estos hallazgos ofrecen

una visión precisa y exhaustiva de la diseminación de las propiedades del suelo en la zona investigada, resaltando la prevalencia de un pH neutro en el área.

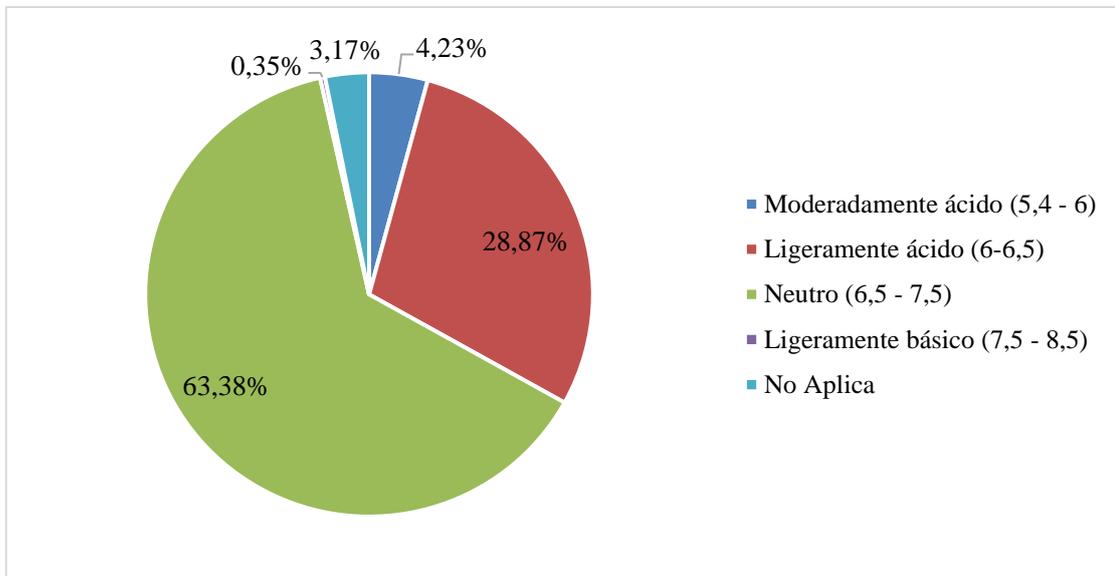


Ilustración 4-4: Categorización de pH en muestras del sistema de riego Coop. Santa Teresita

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

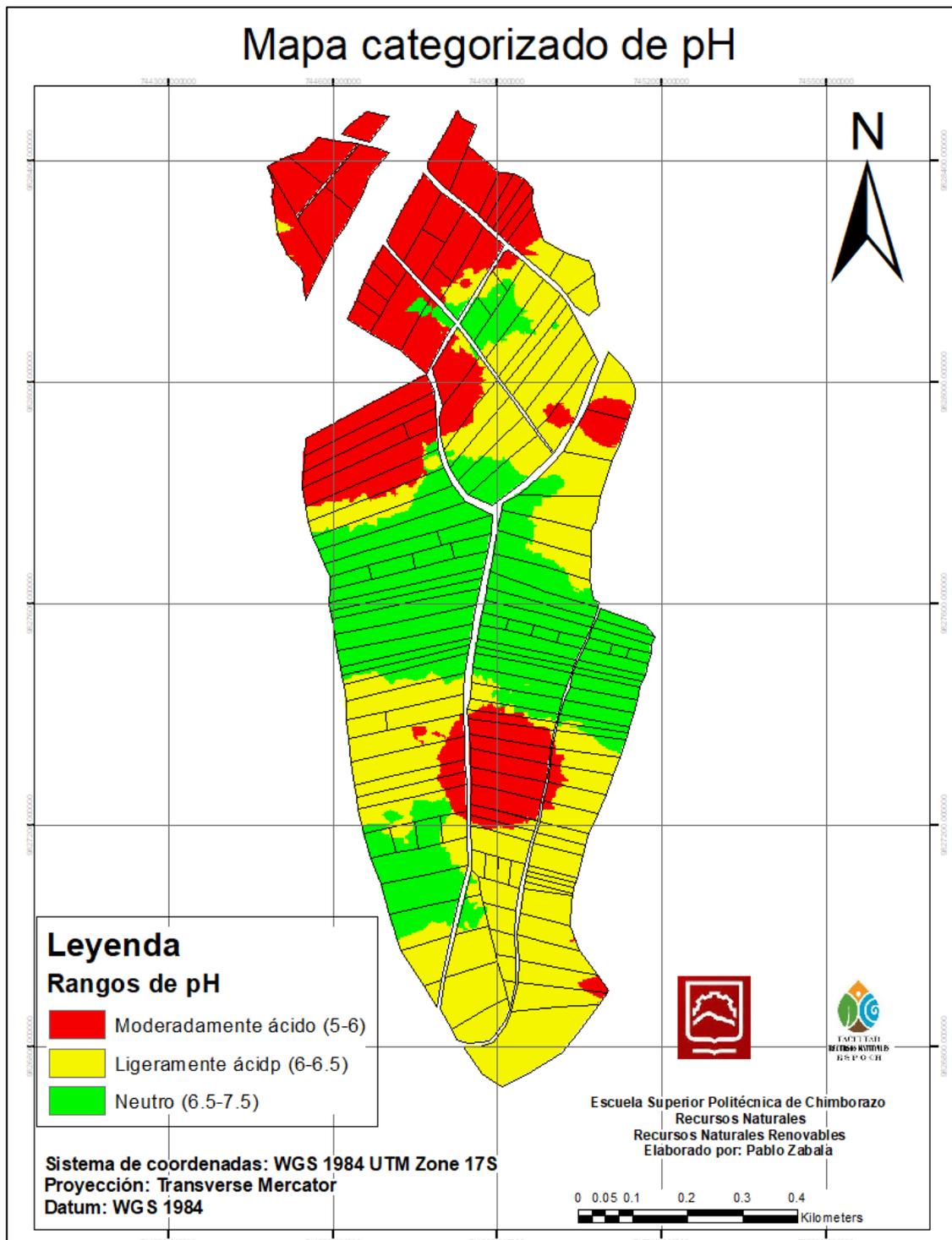


Ilustración 4-5: Mapa categorizado de pH en el sistema de riego Coop. Santa Teresita

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

Los hallazgos obtenidos en este estudio concuerdan con las conclusiones expuestas por Hofstede et al. (2023, págs. 53-64) y Llambí et al. (2012, citado en Hurtado, 2022, pág. 42). Estos investigadores señalan que los valores promedio de pH en suelos de páramo generalmente oscilan entre 5 y 7. Además, según estos autores, la acidez del suelo tiende a incrementarse en suelos más maduros y

bien desarrollados, particularmente en aquellos ubicados en la región sur del Ecuador. Por otra parte, en las primeras etapas de desarrollo de estos suelos, es posible observar pH superiores a 6.5, atribuibles a la carga de cationes básicos provenientes de los materiales parentales.

Este suceso propone que, conforme a la evolución de los suelos de páramo, sufren variaciones en sus propiedades químicas, mostrándose más alcalinos en sus primeras etapas y convirtiéndose en más ácidos con el paso del tiempo. Estos datos subrayan la compleja dinámica de los suelos de páramo y el impacto de múltiples elementos en su evolución (Hofstede et al., 2023, págs. 53-64).

Hanna (2019, págs. 1-3) indica que las fluctuaciones en el pH pueden atribuirse a diversos factores, como la retención de agua, pisoteo de ganado, utilización de fertilizantes o acúmulo de residuos ganaderos. Al tratarse de la ganadería, el pH del suelo es crucial al influir claramente en la disponibilidad de nutrientes para la vegetación forrajera que forma parte de la alimentación del ganado. Los suelos con un pH adecuado, que se sitúa entre 5,5 y 6,5 según Nutricontrol (2020, págs. 1-4), promueven la absorción eficaz de nutrientes por las raíces, evitando la precipitación de ciertos elementos y conservando una base nutritiva para la vegetación. Por un lado, suelos alcalinos ($\text{pH} > 7$) pueden provocar dificultades en la ganadería al retener nutrientes como fósforo y hierro, lo que ocasiona deficiencias en los animales. Por el contrario, suelos ácidos ($\text{pH} < 5$) afectan adversamente el desarrollo de las raíces y también pueden resultar en insuficiencias para el ganado (Martínez, 2022, pág.3).

Dada la prevalencia del rango de pH entre 6.5 y 7.5 en la mayoría de las áreas dentro del sistema de riego Coop. Santa Teresita, se deduce que el estado del suelo proporciona condiciones óptimas para respaldar las actividades agropecuarias en la región de estudio. El pH neutral no solo favorece la actividad microbiana y el proceso de mineralización, sino que también señala la inexistencia de sustancias que podrían ser perjudiciales para las plantas, como el aluminio y el manganeso (González et al., 2019, págs. 15-22). Estos hallazgos fortalecen un entorno propicio para el crecimiento vegetal y el éxito de las operaciones ganaderas en el área de estudio.

4.2.2. Compactación del suelo

La compactación, al incidir negativamente en prácticamente todas las características físicas, químicas y biológicas del suelo, afecta de manera significativa el crecimiento de las plantas y la salud del ganado que se alimenta de ellas (Morris, 2023, págs. 1-4). La evaluación de la compactación del suelo adquiere relevancia debido a su capacidad para señalar áreas problemáticas en el campo, permitiendo la adopción de medidas correctivas.

Los resultados de las muestras recopiladas en el sistema de riego Coop. Santa Teresita se observan en la ilustración 4-6, organizadas conforme a las categorías identificadas, proporcionando así una perspectiva completa de la condición del suelo en el área de estudio. Este enfoque integral permite una comprensión detallada de la influencia de la compactación en el suelo y orienta hacia posibles acciones de mejora.

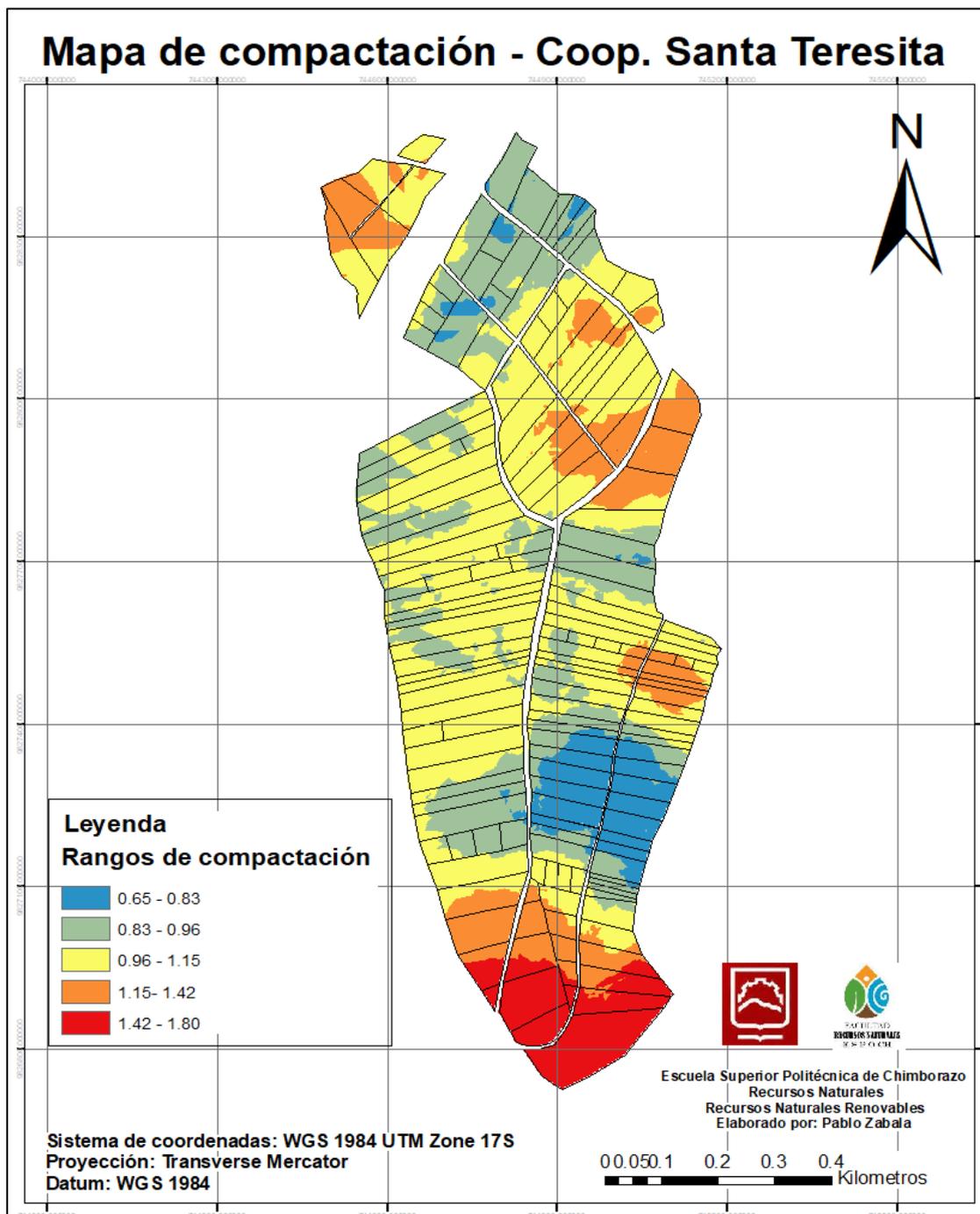


Ilustración 4-6: Mapa de valores brutos de compactación

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

Mapa categorizado de compactación

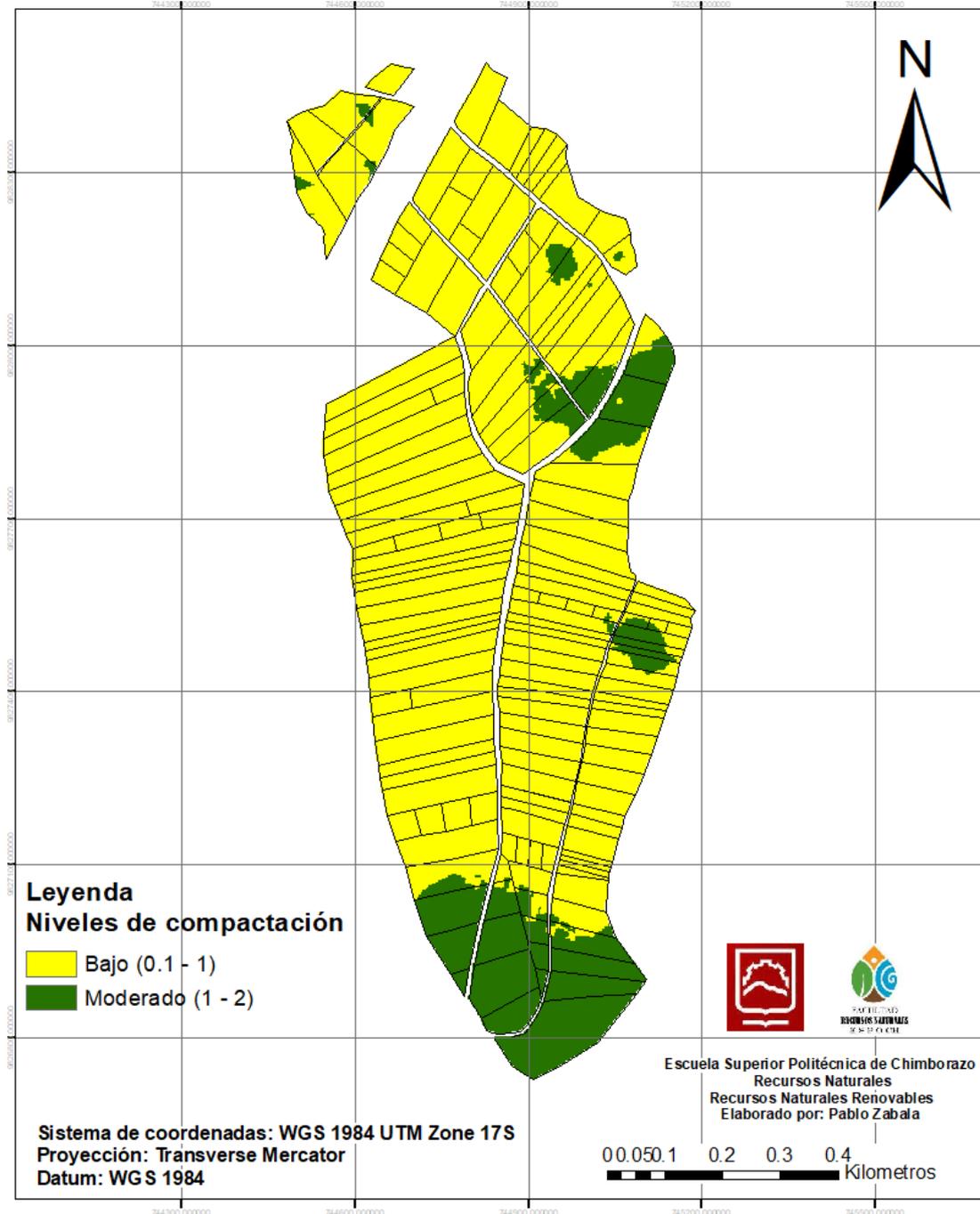


Ilustración 4-7: Mapa categorizado de compactación en el sistema de riego Coop. Santa Teresita

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

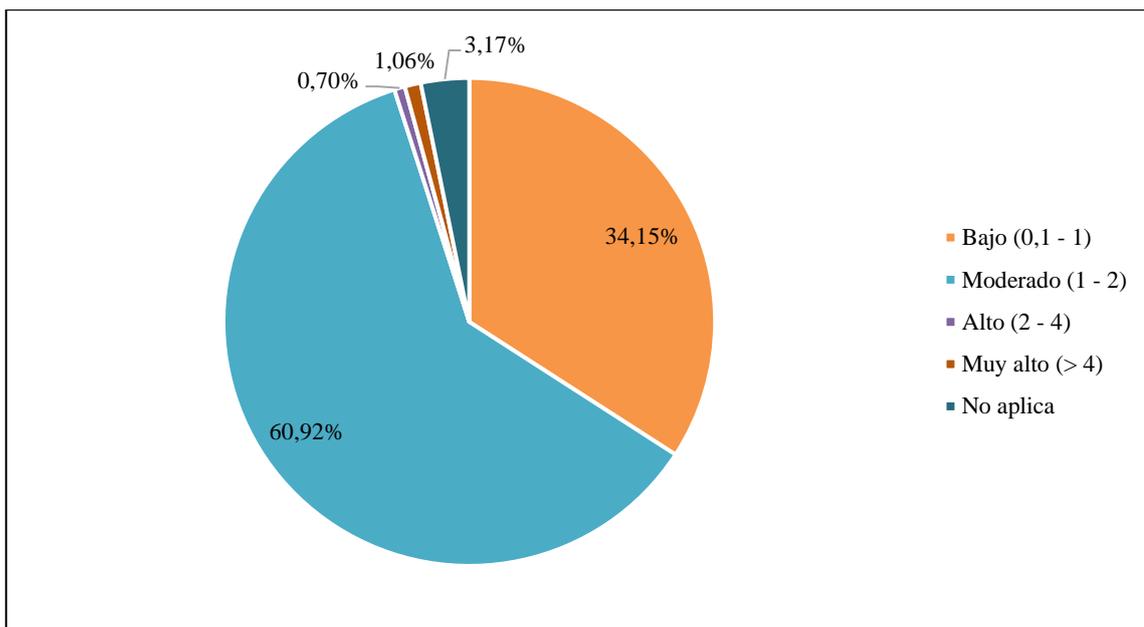


Ilustración 4-8: Categorización de compactación en muestras del sistema de riego Coop. Santa Teresita

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

Se contempló que un total de 173 muestras fueron catalogadas dentro de la categoría de compactación moderada, representando un 60,92% del total analizado. Además, se observaron 97 muestras clasificadas como compactación baja, siendo un 34,15%. También se identificaron 3 muestras catalogadas con una compactación muy alta, representando un 1,06%, mientras que 2 muestras se localizaron en la categoría de compactación alta, con un porcentaje igual al 0,70%. Estos resultados señalan una variabilidad en los niveles de compactación del suelo en la zona de estudio, destacando la notable presencia de muestras con compactación moderada.

Los resultados de compactación obtenidos en este estudio son coherentes con los hallazgos reportados por Hofstede et al. (2014, pág. 54). Estos investigadores indican que, debido al elevado contenido de materia orgánica, los suelos de páramo son generalmente sueltos en condiciones normales, presentando una compactación baja a moderada. Sin embargo, señalan que estas condiciones pueden propiciar la compactación del suelo con el pastoreo. El pisoteo de estos suelos durante el pastoreo provoca la compactación y la pérdida de su extraordinaria capacidad de retención de agua, ya que su resistencia mecánica es baja. Adicionalmente, Mena et al. (2011, pág. 92) advierten que el sobrepastoreo puede dejar al suelo desprotegido contra la exposición solar, resultando en la irreversible sequedad de su capa superficial. Esto hace que el suelo se vuelva extremadamente susceptible a la erosión hídrica y eólica, situación común en la provincia de Chimborazo.

IPNI (2020, págs. 1-2) indica que, si bien la compactación del suelo puede deberse a factores naturales, es más comúnmente resultado de actividades humanas como el tráfico de personas, animales y prácticas agrícolas. Durante el pastoreo, el pisoteo de animales favorece la compactación de los suelos en la capa superior, afectando tanto a los microorganismos del suelo como a la productividad de la pastura.

La respuesta del suelo al tránsito animal depende de la cantidad de humedad presente durante el pastoreo, siendo este impacto predominantemente de naturaleza físico-mecánica al afectar la compactación en los primeros centímetros del suelo. En condiciones más secas, el tránsito y pisoteo resultan en la compactación del suelo, asociada a la pérdida de macroporosidad, aunque este daño puede ser visualmente sutil. En cambio, el pastoreo en condiciones de alta humedad edáfica da lugar al fenómeno conocido como "poaching", caracterizado por la formación de huellas distintivas alrededor de las pezuñas de los animales o, en casos de extrema humedad, a la creación de un suelo completamente amasado (FEDEGAN, 2022, págs. 1-5).

Dado que la mayor parte del área presenta una compactación moderada del suelo, se puede inferir que, en líneas generales, el suelo mantiene un nivel de compactación adecuado. Conforme a Grosso et al. (2019, págs. 1-15), valores que superan los 2 MPa podrían tener un impacto desfavorable en el pastoreo que se realiza en el área de estudio. Este nivel de compactación conlleva a una disminución de la porosidad y al aumento de la densidad aparente del suelo, limitando la infiltración y el desarrollo de las raíces. Esta situación, a su vez, resulta en una merma en la productividad del suelo y afecta la calidad del pasto disponible para el ganado. Estos resultados enfatizan la importancia de mantener los niveles de compactación del suelo dentro de rangos óptimos para garantizar la salud del ecosistema pastoril en el área de estudio.

4.2.3. *Priorización de áreas*

En la ilustración 4-9 se presenta el mapa generado a partir de la superposición, en el cual se destacan las áreas de prioridad identificadas. Este mapa provee una ejemplificación visual precisa de las zonas consideradas como prioritarias, lo que facilita una comprensión más exhaustiva y detallada de las áreas de orientación planificada.

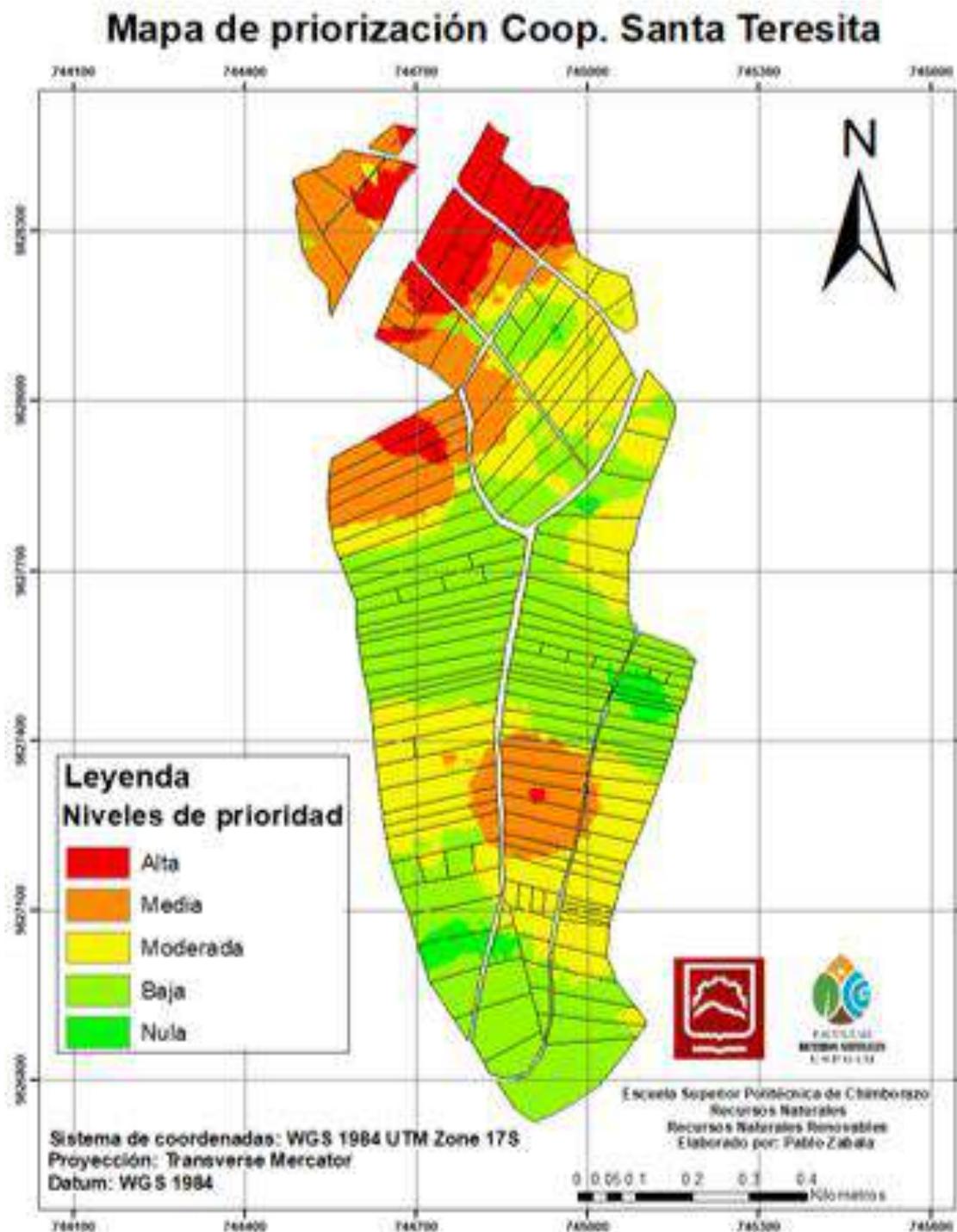


Ilustración 4-9: Mapa de priorización en el sistema de riego Coop. Santa Teresita

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

4.3. Objetivo 2: Análisis de la integración de enmiendas en el suelo

En esta sección, se presentan los resultados derivados de los valores de pH y compactación del suelo, los cuales corresponden a cada parcela según el tipo de enmienda aplicada. Se aborda tanto el estado inicial como la evolución de estas variables a lo largo de un período de 5 meses. Cabe

destacar que los datos presentados constituyen promedios, dado que se llevaron a cabo tres repeticiones de cada muestra con el fin de obtener resultados más precisos y reducir posibles errores.

4.3.1. Influencia de las enmiendas en el pH de suelo

Tabla 4-1: Variación temporal del pH del suelo con diversas enmiendas

Tipo de enmienda	Estado inicial	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Estiércol de cuy	6,47	6,61	6,73	6,88	7,08	7,16
Cal	6,43	6,63	6,77	6,87	6,92	6,99
Humus	6,40	6,51	6,64	6,78	6,85	6,94
Integrada 1	6,60	6,72	6,80	6,97	7,13	7,29
Integrada 2	6,50	6,69	6,82	6,98	7,16	7,30

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

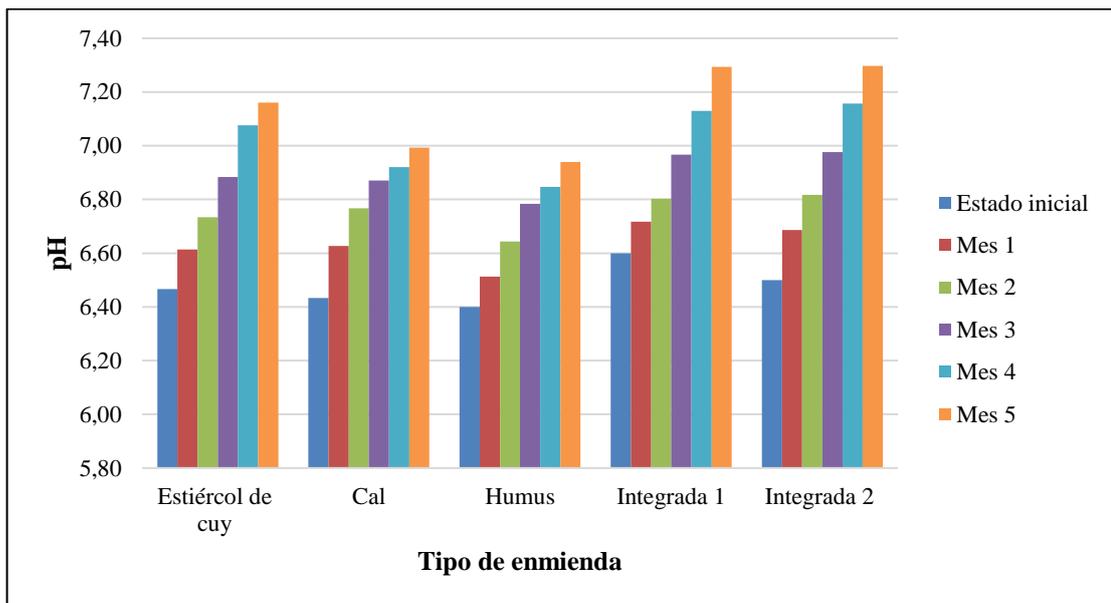


Ilustración 4-10: Variación temporal del pH del suelo con diversas enmiendas

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

La Tabla 4-1 e Ilustración 4-10 muestran la evolución del pH del suelo durante cinco meses tras la aplicación de diversas enmiendas. Se evidencia un aumento general en los niveles de pH con todas las enmiendas, aunque con variaciones en la magnitud de dicho incremento. Este patrón indica que cada enmienda afecta de manera única la alcalinización del suelo.

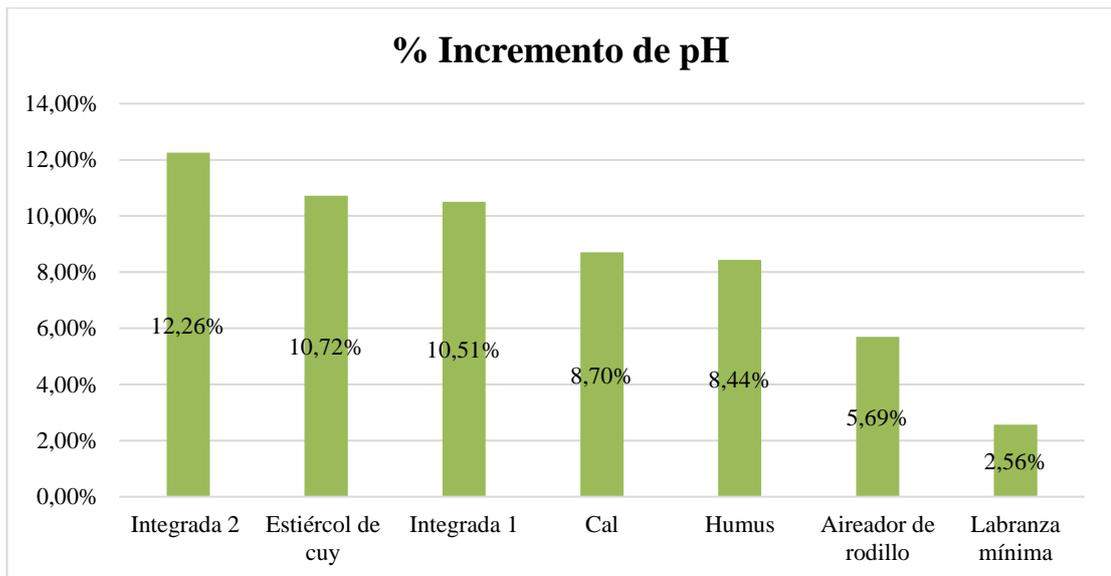


Ilustración 4-11: Porcentaje de incremento de pH del suelo con diversas enmiendas

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

En la Ilustración 4-11, resalta la notoria variación en los niveles de pH inducida por diversas enmiendas. La enmienda integrada 2 lidera con un significativo aumento del 12,26%, seguida de cerca por la enmienda de estiércol de cuy, que presenta un incremento del 10,72%. La enmienda integrada 1 experimenta un ascenso del 10,51%, mientras que tanto la aplicación de cal como la enmienda de humus generan aumentos similares del 8,70% y 8,44%, respectivamente.

Por otro lado, las enmiendas mecánicas muestran incrementos más modestos en el pH. El aireador de rodillo presenta un aumento del 5,69%, y la labranza mínima apenas registra un aumento discreto del 2,56%. Es importante señalar que estas enmiendas mecánicas fueron aplicadas específicamente para mejorar la compactación del suelo, siendo el aumento del pH un beneficio secundario de su implementación.

- **Enmiendas orgánicas y químicas**

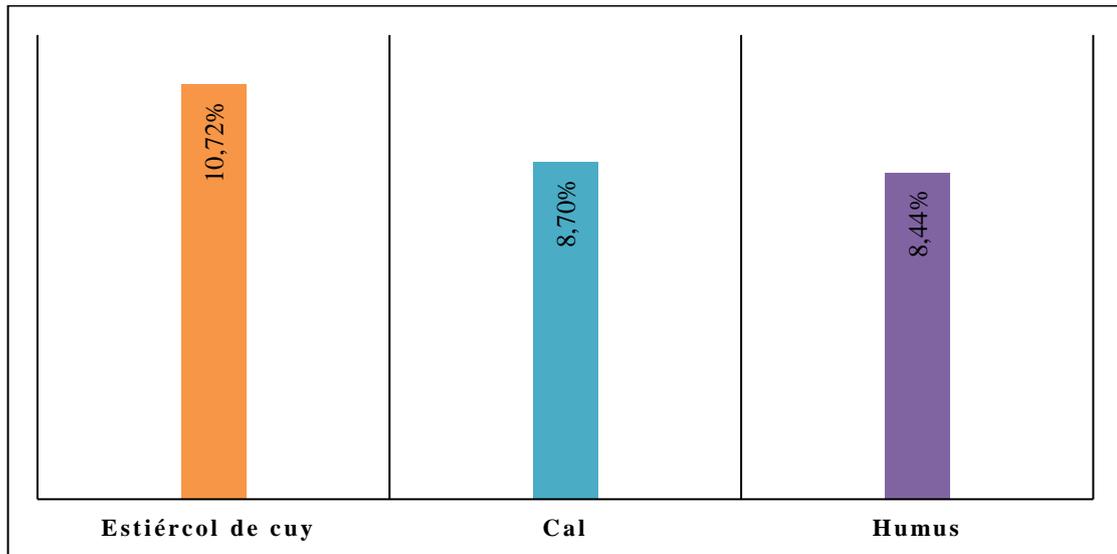


Ilustración 4-12: Comparación de las enmiendas orgánicas y química en el incremento del pH del suelo

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

La Ilustración 4-12 ofrece una visión de la comparativa del aumento porcentual en el pH, derivado de las enmiendas aplicadas con el propósito de mejorar esta variable en el suelo. Es notable que la enmienda de estiércol de cuy presenta el incremento más destacado, seguida por la enmienda de cal y, en última instancia, por la enmienda de humus.

Como se mencionó, la enmienda de estiércol de cuy se destaca como la más influyente entre las enmiendas orgánicas en el pH del suelo, este hallazgo concuerda de manera consistente con diversos resultados obtenidos en investigaciones previas. De acuerdo con Vega (2014, págs. 38-54), los tratamientos de suelo que incluyeron estiércol de cuy experimentaron un aumento significativo en el pH, elevándolo de 5,95 a 7,22, lo que representa un incremento del 21,34%. De manera similar, Farinango et al. (2020, págs. 860-882) afirmaron que la incorporación de estiércol de cuy como enmienda produjo un valor de pH más elevado en comparación con los tratamientos alternativos de la investigación, que exhibieron valores más bajos, pasando de un pH de 7,11 a 7,47. Asimismo, Morales (2023, págs. 85-92) observó un incremento en el pH de 4,62 a 7, indicando un aumento del 51,51%. Este cambio en el valor de pH se atribuye a la estabilización de la materia orgánica aplicada, cuyos procesos de transformación finalizan con valores estabilizados cerca de la neutralidad.

Los resultados obtenidos tras la aplicación de la enmienda de humus, identificada como la enmienda orgánica con un bajo porcentaje de mejora en el pH, concuerdan con la investigación de Flores (2014, págs. 55), quien registró un aumento leve en el pH del suelo de 8,33 a 8,8, con un incremento del 5,66%. Asimismo, de acuerdo con los resultados de Illatopa (2018, pág. 84), los efectos de la enmienda de humus no generaron un impacto significativo en las propiedades fisicoquímicas del suelo, obteniendo un aumento del 5,37% en el pH, pasando de 5,31 a 5,49. Estos hallazgos respaldan consistentemente los resultados del presente estudio, destacando el ligero impacto del humus en el pH del suelo.

En cuanto a la enmienda química, los resultados porcentuales obtenidos en esta investigación son semejantes con los datos presentados por Cruz y Macal (2019, págs. 1-16) en su estudio. La aplicación de cal condujo a un aumento significativo en el pH del suelo, pasando de 5,2 a 5,55 después de 80 días, representando un incremento del 7,42%. Este resultado también concuerda con la investigación de Rodríguez (2019, págs. 4-70), quien registró un aumento en el pH de 4,8 a 5,3 después de 120 días de aplicar cal agrícola, evidenciando un incremento del 10,41% en el pH, cambiando de un nivel ácido a uno medianamente ácido. La incorporación de cal, según Conde (2023, pág. 51), tiene un impacto considerable en los valores del pH del suelo, especialmente en los primeros 10 cm, y este aumento se mantiene en los meses subsiguientes al encalado. Gutiérrez (2018, pág. 24) respalda esta afirmación, destacando que la cal sobresale como una opción altamente efectiva y rentable para el tratamiento y la prevención de suelos ácidos.

- **Enmienda integrada**

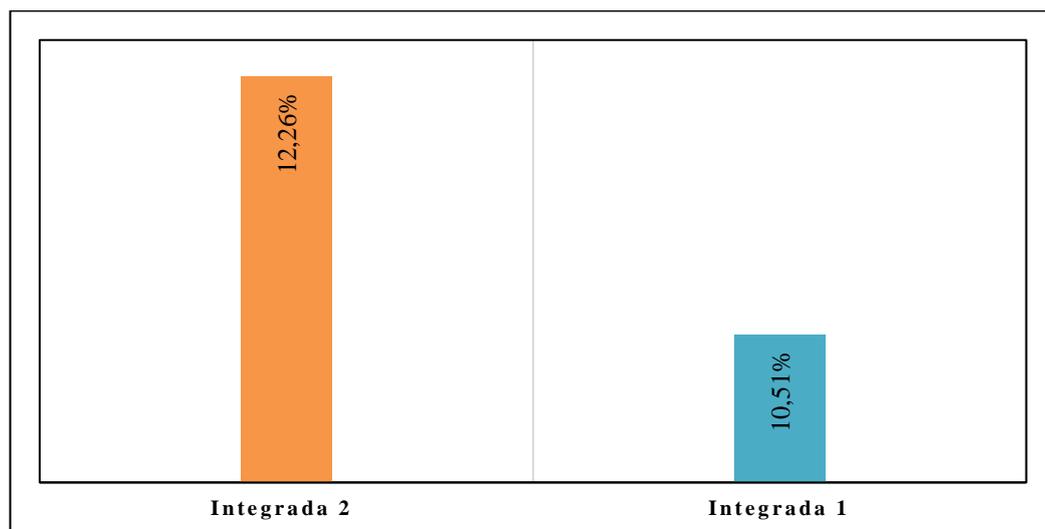


Ilustración 4-13: Comparación de las enmiendas integradas en el incremento del pH del suelo

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

Como se mencionó anteriormente, cada tipo de enmienda aporta beneficios específicos que inciden en el pH del suelo. En este contexto, la implementación de enmiendas integradas, que combinan de manera equilibrada enmiendas orgánicas, químicas y mecánicas, condujo a una mejora significativa del pH.

En la ilustración 4-13, se observa que la enmienda integrada 2, que incluye la adición de estiércol de cuy, cal y la aireación con rodillo aireador, presenta un mayor porcentaje de incremento de pH en comparación con la enmienda integrada 1. Esta última difiere únicamente en la enmienda mecánica, utilizando en este caso labranza mínima. Jungue et al. (2020, págs. 1-27) respaldan estos hallazgos al destacar que el éxito en la mejora de las propiedades del suelo radica en la integración equilibrada y combinada de diversas enmiendas, independientemente de su naturaleza mecánica, orgánica o inorgánica.

4.3.2. *Influencia de las enmiendas en la compactación de suelo*

Tabla 4-2: Variación temporal de la compactación del suelo con diversas enmiendas

Tipo de enmienda	Estado inicial	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Labranza mínima	0,027	0,026	0,026	0,025	0,024	0,023
Aireador de rodillo	0,025	0,023	0,022	0,021	0,020	0,020
Humus	0,025	0,024	0,024	0,023	0,022	0,022
Integrada 1	0,026	0,024	0,023	0,022	0,022	0,021
Integrada 2	0,025	0,024	0,023	0,022	0,020	0,019

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

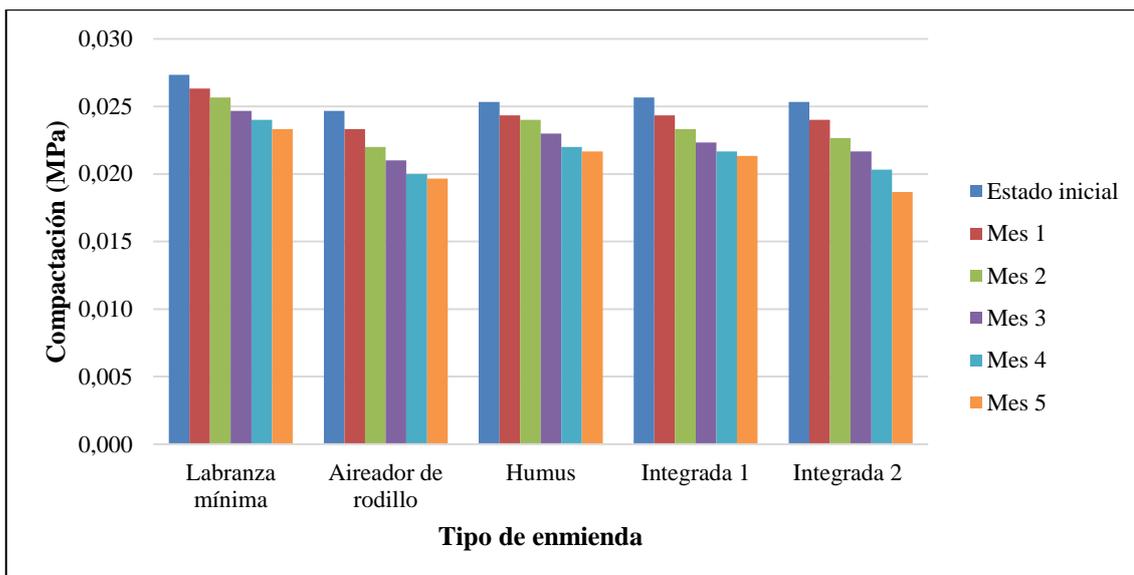


Ilustración 4-14: Variación temporal de la compactación del suelo con diversas enmiendas

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

La tabla 4-2 e ilustración 4-14 muestran la evolución de la compactación del suelo a lo largo de cinco meses después de la aplicación de diversas enmiendas. Se destaca que, en términos generales, todas las enmiendas logran reducciones en la compactación del suelo.

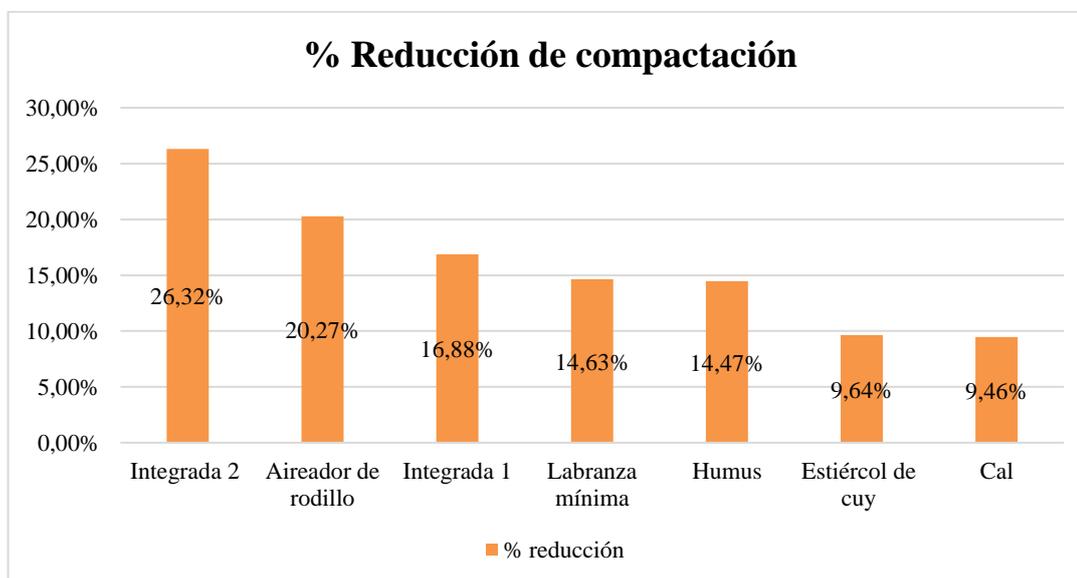


Ilustración 4-15: Reducción de compactación del suelo con diversas enmiendas

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

En la Ilustración 4-15 se destaca que la enmienda integrada 2 experimenta la disminución más pronunciada en la compactación del suelo a lo largo de todo el periodo de estudio, registrando una reducción significativa del 26,32%. Le sigue de cerca la enmienda mecánica del aireador de rodillo, que exhibe una notoria disminución del 20,27%. Por otro lado, la enmienda integrada 1

muestra una reducción del 16,88%. A continuación, se encuentran las enmiendas de labranza mínima y humus, ambas presentando una reducción similar del 14,63% y 14,47%, respectivamente.

En contraste, las enmiendas de estiércol de cuy y cal muestran los valores más bajos, con reducciones del 9,64% y 9,46%, respectivamente. Es importante señalar que estas dos últimas enmiendas se aplicaron específicamente para mejorar el pH, sin embargo, también contribuyen secundariamente, aunque en menor medida, a la reducción de la compactación del suelo.

- **Enmienda orgánica**

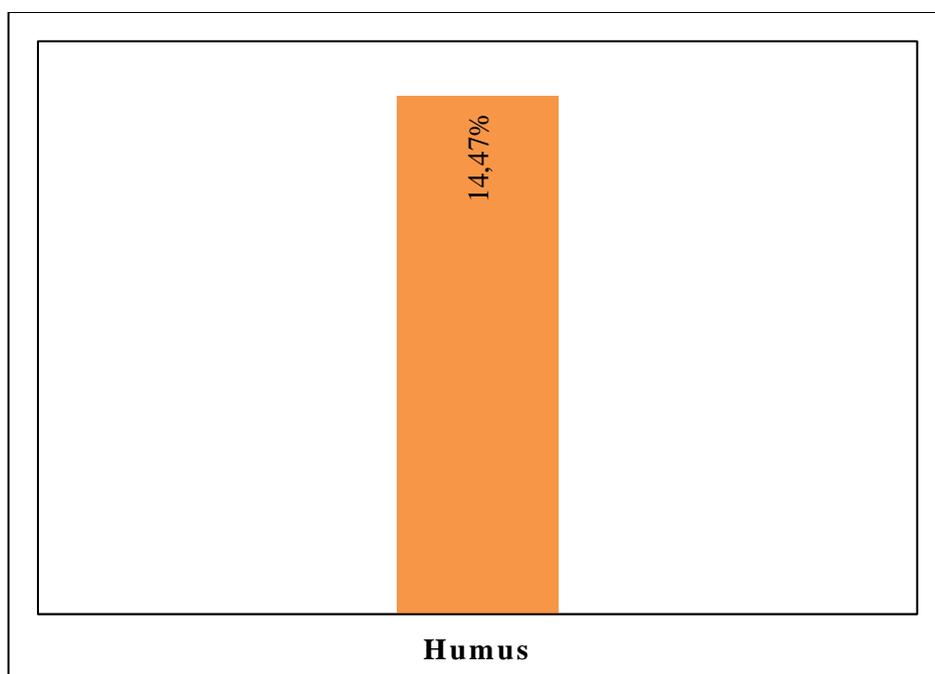


Ilustración 4-16: Comparación de las enmiendas orgánicas y química en la reducción de la compactación del suelo

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

La Ilustración 4-16 muestra la reducción porcentual de la compactación de la enmienda orgánica de humus que exhibe el incremento notable del 14,47%. De acuerdo con Boundless (2023, págs. 14-16), el humus ayuda a la mejoría de la estructura del suelo al proporcionar agua y minerales básicos para la vegetación. PhycoTerra (2023, pág. 2) sustenta esta afirmación al definir que el humus no solo enriquece la estructura del suelo, sino que también aumenta su potencial de retención de agua, optimizando así la retención de nutrientes y minimizando el riesgo de compactación. BrightView (2020, págs. 1-2) enfatiza la relevancia del humus en la estructura del suelo, favoreciendo a una textura granular, ideal para el desarrollo de raíces. La añadidura de humus

suaviza la tierra, produciendo intersticios interparticulares y proveyendo una textura quebradiza., El humus, en suelos arenosos, mantiene niveles óptimos de humedad, facilitando que el agua llegue hasta las raíces y drene el exceso para impedir el ahogamiento y salvaguardar los nutrientes del suelo (BrightView, 2020, págs. 1-2). Estas observaciones ratifican consistentemente los hallazgos del presente estudio, subrayado la importancia del humus como una solución efectiva para mejorar la compactación del suelo.

Los abonos orgánicos ya sea estiércol o humus desempeñan un papel como enmiendas en el suelo, alterando tanto sus propiedades físicas como químicas. Estos cambios afectan la compactación, higroscopicidad, la permeabilidad, pH, agua asimilable, calor de combustión y distintos aspectos extras del suelo. La presencia de materia orgánica es clave para mejorar la estructura del suelo al promover la unión entre las partículas, evitando la compactación y favoreciendo un mejor drenaje (Mendoza, 2019, págs. 19-20).

- **Enmiendas mecánicas**

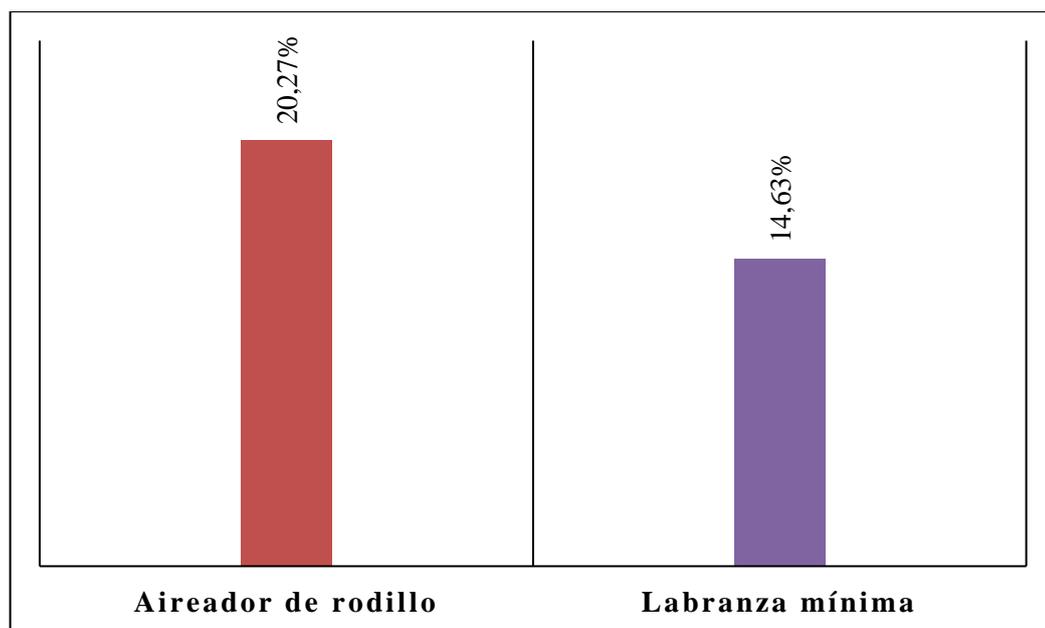


Ilustración 4-17: Comparación de las enmiendas mecánicas en la reducción de la compactación del suelo

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

La implementación de enmiendas mecánicas destinadas a mejorar la compactación ha generado un efecto positivo y significativo en la calidad de la compactación del suelo. Como se puede apreciar en la Ilustración 4-17, queda claro que el empleo del aireador de rodillo ha conseguido la mayor reducción en la compactación en comparación con la práctica de labranza mínima.

Auravant (2024, pág. 1-2) afirma que mejorar la aireación del suelo conlleva una reducción significativa en la compactación del suelo, un aumento en su nivel de oxidación, y facilita la absorción de nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Los hallazgos de Medina et al. (2017, págs. 471-485) respaldan esta afirmación al concluir que el uso del rodillo aireador durante los primeros tres años resultó en un incremento significativo de la materia orgánica del suelo y una disminución en la compactación. El empleo del rodillo aireador se posiciona como una opción de manejo periódico que brinda beneficios a largo plazo.

Kelly (2023, pág. 1-3) señala que las prácticas de labranza mínima son fundamentales para conservar las condiciones del suelo e impedir la compactación. No obstante, Martiren et al. (2016, págs. 21-36) indican que los métodos de labranza no han mostrado efectos sobresalientes en la compactación del suelo, contemplándose aumentos mínimos en suelos sin laboreo contrastando con aquellos subyugados a la labranza mínima. Según EOS (2021, págs. 1-6), a pesar de que la labranza reduce la compactación y aumenta el suministro de oxígeno, su eficacia es solo a corto plazo. Por ende, es esencial tener claro que una labranza excesiva puede provocar compactación, reduciendo la infiltración de agua y el desarrollo de las raíces. Suárez (2023, págs. 1-3) propone que, para mejorar la compactación del suelo, la labranza mínima debe combinarse con enmiendas orgánicas.

- **Enmiendas integradas**

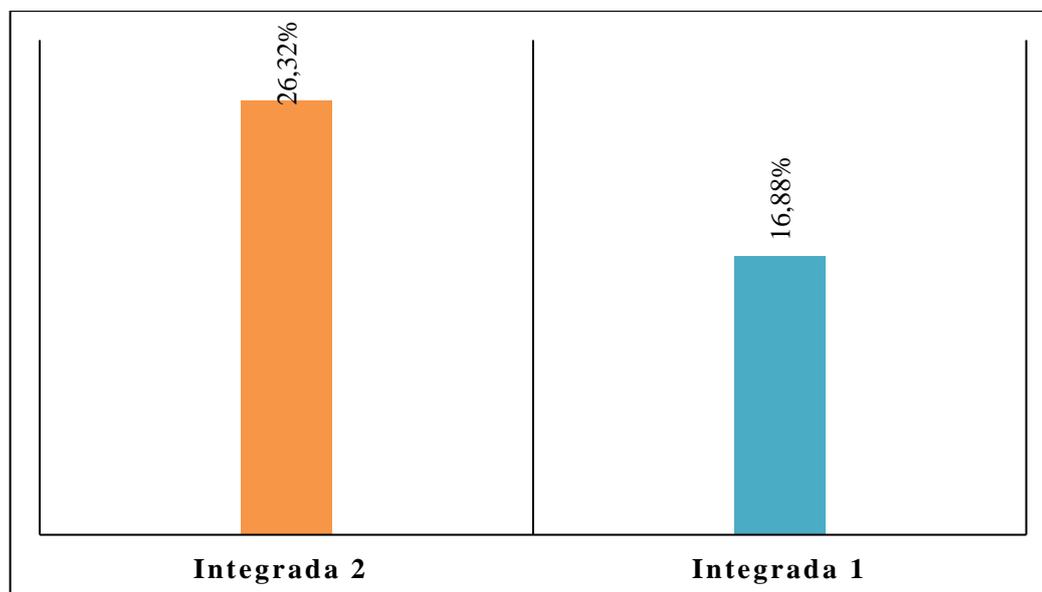


Ilustración 4-18: Comparación de las enmiendas integradas en la reducción de la compactación del suelo

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

Cada enmienda aplicada proporciona beneficios que inciden directa o indirectamente en la compactación del suelo. En este contexto, la implementación de enmiendas integradas, que equilibran de manera armoniosa estiércol de cuy, cal y enmiendas mecánicas, ha demostrado generar una mejora significativa en la compactación del suelo. Vargas (2021, págs. 7-8) respalda este enfoque al afirmar que la integración de enmiendas orgánicas con enmiendas mecánicas puede reducir considerablemente la compactación, mejorando así la estructura natural del suelo y favoreciendo una mayor aireación.

Adicionalmente, Fang et al. (2021, pág. 115-281) sostienen que tanto la cal como el yeso, cuando se combinan con enmiendas orgánicas, poseen el potencial de mejorar tanto la estructura como la fertilidad del suelo. Por último, Jungue et al. (2020, págs. 1-27) enfatizan que alcanzar una mejora en la estructura del suelo se fundamenta en la combinación equilibrada de diferentes enmiendas, ya sean de tipo mecánico, orgánico o inorgánico.

La Ilustración 4-18 enfatiza que la enmienda integrada número 2 presenta una disminución notablemente superior en la compactación en equiparándola con la enmienda integrada 1. Este hallazgo indica que la agrupación de estiércol de cuy, cal y aireador de rodillo resulta efectiva para mejorar la estructura del suelo y reducir la compactación.

4.3.3. Análisis estadístico

Con el propósito de evaluar la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre las enmiendas para cada variable, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) y T Student. Este análisis se realizó después de verificar la normalidad y homogeneidad de los datos, asegurando así la validez de los resultados obtenidos.

H₀: Las medias de las enmiendas utilizadas son iguales.

H₁: Las medias de las enmiendas utilizadas no son iguales.

4.3.3.1. ANOVA para la variable pH

Tabla 4-3: Prueba ANOVA para la variable pH

ANOVA

pH

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,079	2	,040	5,582	,043
Dentro de grupos	,042	6	,007		
Total	,121	8			

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

La Tabla 4-3 muestra un valor p para el pH que es 0,043 valor inferior al nivel de significancia de 0,05, lo que indica diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula para el pH, llegando a la conclusión de que al menos una de las medias en los niveles de pH difiere entre los grupos de enmiendas examinados.

- **Prueba de Tukey**

Tras verificar la presencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de enmiendas en la variable de pH, se procedió a realizar la prueba de Tukey con el objetivo de identificar de manera más detallada y exhaustiva las enmiendas específicas que presentan variaciones entre sí.

Tabla 4-4: Prueba Tukey para la variable pH

pH

HSD Tukey^a

Enmienda	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Humus	3	6,9400	
Cal	3	6,9933	6,9933
Estiércol de cuy	3		7,1600
Sig.		,730	,112

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

Los resultados de la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0,05, muestran una disparidad importante entre las enmiendas de estiércol de cuy y humus. Se contempla que el estiércol de cuy presenta un valor de pH superior en comparación con el humus. Este descubrimiento determina que el estiércol de cuy tiene una influencia más sustancial en la acidez del suelo en contraste con la enmienda de humus.

4.3.3.2. ANOVA para la variable compactación

Tabla 4-5: Prueba ANOVA para la variable compactación

ANOVA

Compactación

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,000	2	,000	3,033	,123
Dentro de grupos	,000	6	,000		
Total	,000	8			

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

La Tabla 4-5 exhibe un valor p de 0,123 en relación con la variable de compactación, superando el nivel de significancia establecido en 0,05. Este resultado implica la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas con respecto a las enmiendas aplicadas para mejorar la compactación del suelo.

4.3.3.3. Prueba T de Student

La prueba T para muestras independientes compara las medias de dos grupos, en este caso, las enmiendas integradas 1 y 2, aplicadas para mejorar ambas variables de estudio. Este análisis es esencial para evaluar la efectividad relativa de cada enmienda.

Tabla 4-6: Prueba T de Student para pH y compactación

Prueba T para Muestras Independientes

		t	gl	p
pH	T de Student	-0,0494	4	,963
Compactación	T de Student	1,3522	4	,248

Realizado por: Zabala, Pablo, 2024.

Se observa en la Tabla 4-6, que los valores p tanto a la variable de pH como de la compactación son superiores al nivel de significancia de 0,05, lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre las enmiendas integrada 1 e integrada 2. Es decir, los datos indican que las enmiendas mencionadas presentan una eficacia similar en la modificación del pH y compactación del suelo.

4.4. Objetivo 3: Guía técnica para la transferencia de las tecnologías validadas dentro del sistema de riego Coop. Santa Teresita



Escuela
Superior Politécnica
de Chimborazo



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA

GUÍA TÉCNICA PARA LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA



Riobamba - Ecuador
2024

Autor:
Zabala Escobar Pablo Andrés

ÍNDICE

Introducción.....	1
1.1. Contexto.....	1
1.2. Objetivo.....	1
Definiciones.....	2
2.1. pH.....	2
2.2. Compactación.....	3
Evaluación del suelo.....	4
3.1. Medición de pH.....	4
3.2. Medición de compactación.....	6
Selección de enmiendas.....	7
4.1. Enmiendas orgánicas.....	8
4.2. Enmienda química.....	8
4.3. Enmienda mecánica.....	9
4.4. Enmienda integrada.....	9
4.5. Comparación de enmiendas.....	10
Aplicación de enmiendas.....	12
5.1. Dosificación.....	12
5.2. Métodos de aplicación.....	12
Monitoreo y ajuste.....	13
6.1. Seguimiento.....	13
6.2. Ajuste.....	13
6.3. Recomendaciones.....	13
Referencias bibliográficas.....	14

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto

En entornos dedicados al pastoreo, la salud del suelo es un factor determinante para garantizar pastizales robustos y nutritivos. En estas áreas, la interacción entre el pH del suelo y la compactación juega un papel crucial en la calidad del forraje disponible para el ganado. Comprender y abordar estos aspectos se vuelve esencial para optimizar las condiciones del suelo en beneficio del pastoreo sostenible.

1.2. Objetivo

Esta guía técnica tiene como propósito brindar una orientación detallada sobre estrategias efectivas para mejorar el pH y reducir la compactación del suelo en áreas destinadas al pastoreo. Nos enfocaremos en prácticas que utilicen enmiendas orgánicas, químicas, mecánicas e integradas, buscando no solo la mejora de la salud del suelo sino también la optimización de las condiciones del pastizal, contribuyendo así al bienestar general del ecosistema de pastoreo.

¿Qué es el pH del suelo?

Expresa la actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo. Esto te indica si tu suelo es **ÁCIDO**, **NEUTRO** o **ALCALINO**.



¿Por qué es importante conocer el pH del suelo?



- Tiene influencia en el desarrollo de los cultivos.
- Mejora la absorción de nutrientes del suelo

Suelos con pH abajo de 5.5

Presenta toxicidades de aluminio o manganeso.

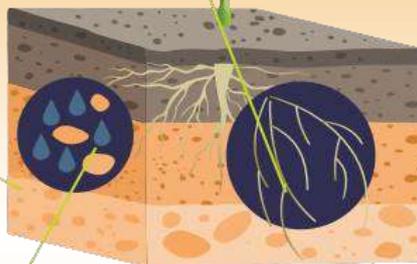


Si hay aluminio, las raíces no se pueden desarrollar de forma correcta.



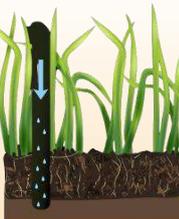
Suelos con pH arriba de 7.5

Problemas de disponibilidad de micronutrientes metálicos.



Suelos con pH arriba de 8.5

Problemas para infiltrar el agua (movimiento de agua en el perfil no será bueno), además de poca disponibilidad de micronutrientes metálicos y fósforo



¿Qué es la compactación del suelo?

Es la compresión de sus partículas, reduciendo la porosidad y aumentando la densidad. Puede ser originada por causas naturales, así como por actividades humanas como el uso de herramientas en la agricultura o el pisoteo del ganado.



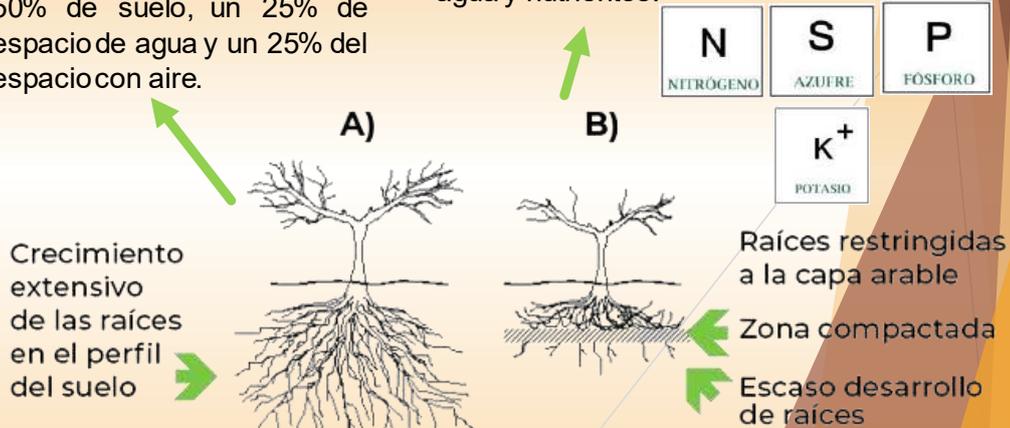
¿Por qué es importante conocer la compactación del suelo?



-Influye en la infiltración del agua, impactando la capacidad del suelo para retenerla y gestionarla adecuadamente

Suelo ideal se compone de un 50% de suelo, un 25% de espacio de agua y un 25% del espacio con aire.

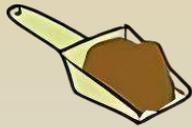
La falta de aireación provoca la acumulación de gases como dióxido de carbono, metano y sulfuros, disminuyendo la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes.



¿Cómo se evalúa el PH?

Método casero

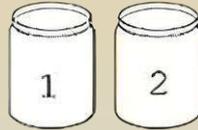
Materiales



Tierra muestra



Agua



Recipientes transparentes



Bicarbonato sódico y vinagre

Procedimiento

Paso 1.

Coloca un poco de suelo en los recipientes y agrega un poco de agua (una porción de agua por una porción de suelo)



Paso 2.

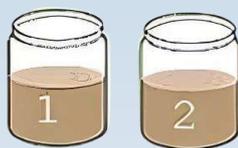
Agitar durante 2 minutos.

Paso 3.

Agrega bicarbonato sódico al recipiente 1 y vinagre al recipiente 2.



Resultados



Neutro

Si la mezcla burbujea, forma burbujas o espuma.



Ácido



Alcalino



¿Cómo se evalúa la compactación?

Método visual

Materiales

1 Palaplana - recta, de 20 cm



Procedimiento

Paso 1.

Extraer un cubo de suelo de 20x20x20 cm con la pala, ten cuidado de no desbaratarlo en el proceso. Asegúrate de limpiar cualquier material vegetal grueso en el área de muestreo. En caso de vegetación, solo corta el follaje, dejando las raíces en el suelo.



Paso 2.

Levanta el cubo de suelo a un metro de altura y déjalo caer sobre un saco o plástico; si quedan terrones grandes, repite el proceso.



Paso 3.

Puedes tomar algunos terrones grandes para evaluar la estructura y consistencia del suelo. O también, usa la pala para sacar una porción de tierra a un lado del agujero que hiciste para tomar la muestra.



5

¿Cómo se evalúa la compactación?

Método visual

Resultados

Coloca un terrón o bloque de suelo junto a la imagen y compara.

Pobre condición



La falta de macroporos indica una estructura compactada con superficie que se quiebra formando caras angulares

Moderada condición



Se detectan algunos macroporos entre los agregados, indicando la presencia de compactación.

Buena condición



La presencia de muchos macroporos entre los agregados indica una buena estructura del suelo

6

¿Qué es una Enmienda agrícola?

Producto o combinación de productos diseñados para corregir condiciones específicas identificadas en el suelo, con el objetivo de mejorar y optimizar su calidad.



¿Por qué es importante adicionar enmiendas al suelo?



Proporcionan nutrientes esenciales para las plantas

Mejoran la textura del suelo, permitiendo una mejor retención de agua y aireación

Permiten ajustar el pH del suelo

Tipo de enmiendas

Orgánicas	Materiales de origen orgánico como estiércol, compost, residuos de cultivos y materiales de desechos de origen animal o vegetal.
Químicas	Sustancias químicas diseñadas para corregir deficiencias específicas.
Mecánicas	Cambios físicos en la estructura del suelo mediante técnicas como labranza, subsolado y arado.
Integradas	Combinan diferentes tipos de enmiendas, aprovechando los beneficios complementarios de cada una.



4.1. Enmiendas Orgánicas

4.1.1. Estiércol de cuy

El estiércol de cuy, una enmienda orgánica rica en nutrientes contribuye significativamente al aumento del pH del suelo. Además, su capacidad para reducir la compactación mejora la estructura del suelo, facilitando el crecimiento de raíces y mejorando la retención de agua.

Enmienda ideal para suelos que presentan acidez.

4.2. Enmienda Química

4.2.1. Cal

La cal, enmienda química, es altamente eficaz en la elevación del pH del suelo. Si bien su contribución a la reducción de compactación es menor en comparación con otras enmiendas, sigue siendo valiosa para el ajuste preciso del equilibrio del suelo.

Enmienda ideal para suelos que presentan acidez.



4.3. Enmienda Mecánica

4.3.1. Labranza mínima

La labranza mínima, aunque tiene un impacto más modesto en el pH, juega un papel esencial en la reducción de la compactación. Esta técnica mecánica mejora la aireación del suelo y permite una mayor penetración de raíces, contribuyendo así al crecimiento saludable de los cultivos.

Te recomiendo combinarlas con enmiendas orgánicas

4.3.2. Aireación por rodillo

El uso de un rodillo aireador se presenta como una opción efectiva para mejorar la aireación y facilitar la infiltración del agua de lluvia en el suelo, al mismo tiempo que posibilita la mejora de las propiedades físicas del suelo con la mínima perturbación.



4.4. Enmienda Integrada

Integrada 1

Estiércol de cuy

Cal

Labranza mínima

Integrada 2

Estiércol de cuy

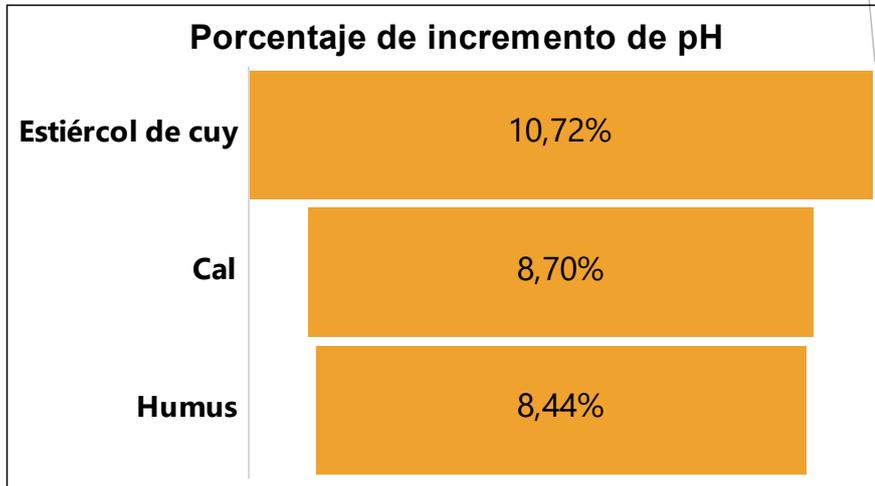
Cal

Aireación por rodillo

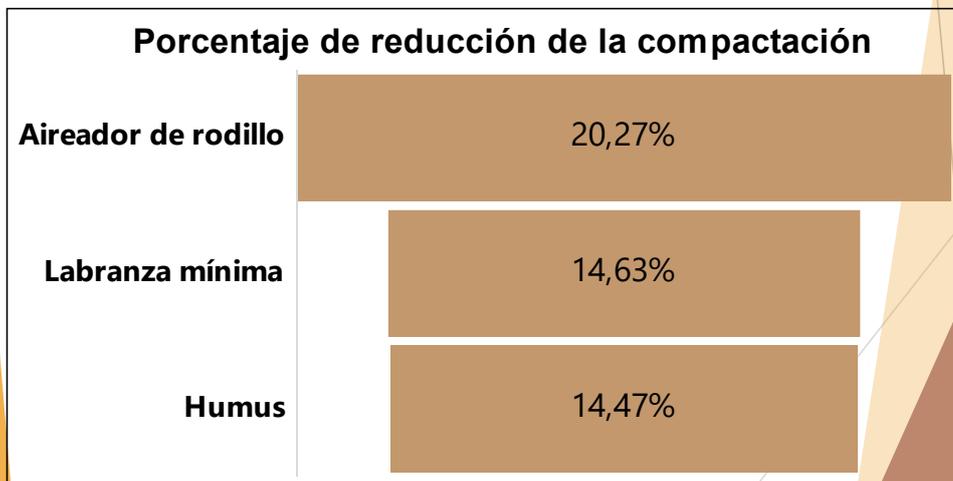
Enmienda ideal para suelos con compactación alta y pH ácido.



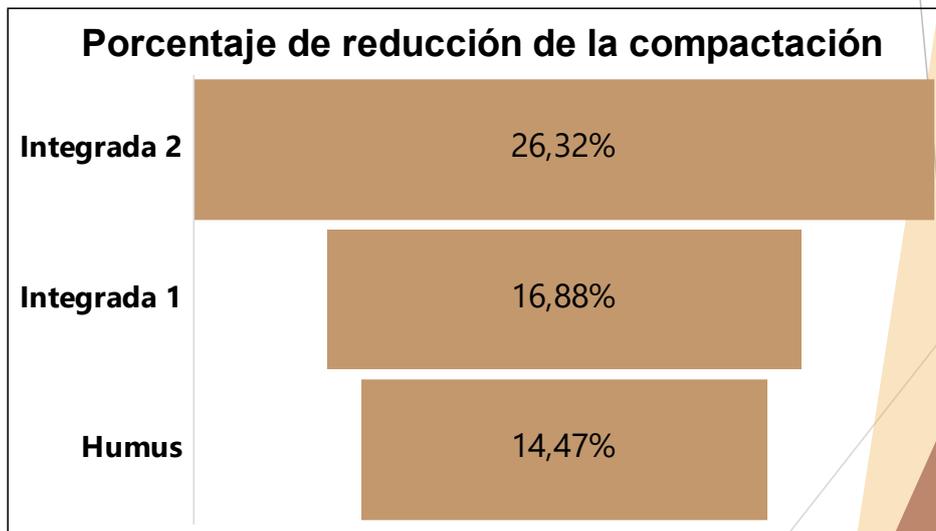
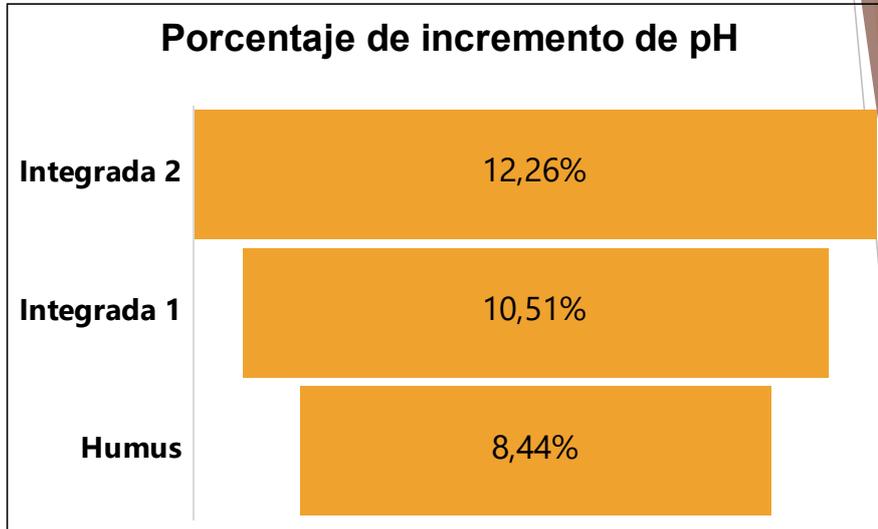
Enmiendas que incrementan el pH



Enmiendas que reducen la compactación



Enmiendas que benefician tanto **pH** como **compactación**



Dosificación

Ten en cuenta que las cantidades estipuladas se aplican en un área de 5x5 m.

Enmienda	Cantidad
Estiércol de cuy	3 costales para suelo ligeramente ácido
Cal	1 Kg x metro ²
Humus	2 costales
Integrada	3 costales de estiércol de cuy y 1 Kg x metro ²



Métodos de Aplicación

1. Preparación del Área



Eliminación de residuos

Retira cuidadosamente cualquier residuo vegetal o material no deseado de la superficie del suelo



Labranza básica

Realiza una labranza básica para aflojar el suelo y crear un lecho receptivo para las enmiendas

2. Aplicación de Enmiendas



Distribución Uniforme

Esparce la enmienda de manera uniforme sobre la superficie del suelo para garantizar una aplicación equitativa



Incorporación al Suelo

Utiliza herramientas agrícolas para incorporar la enmienda a una profundidad recomendada de al menos 10-15 centímetros.

6.1. Seguimiento

Realiza evaluaciones cada 6 meses del pH y la compactación del suelo para obtener una visión integral de los cambios a lo largo del tiempo.

6.2. Ajuste

Realiza ajustes semestrales en la aplicación de enmiendas en respuesta a los cambios observados, permitiendo una adaptación precisa a las necesidades del suelo y de los cultivos.

6.3. Recomendaciones

Para una correcta toma de datos tanto de pH como compactación del suelo, se recomienda el uso de sensores de pH de campo y penetrómetro dinámico respectivamente.



Referencias bibliográficas

FAO. EL pH del suelo [Consulta 22 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ca7162es/ca7162es.pdf>

RODAS, José Enmiendas Agrícolas Agractivocol [En línea] 2023. [Consulta 5 enero 2024]. Disponible en: <https://agroactivocol.com/producto/nutricion-vegetal/enmiendas-y-acondicionadores/cursos-enmiendas-inorganicas-basico/>.

VALDIVIA, R.; et al. Instructivo 2: Evaluación Visual de Suelos [Consulta 22 febrero 2024]. Disponible en: <https://asa.crs.org/wp-content/uploads/2020/05/Instructivo-2-Evaluación-Visual-de-Suelos.pdf>

Zabala, Pablo. Evaluación del uso de medidas de restablecimiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo perturbadas por la actividad ganadera en el área de cobertura del sistema de riego Coop. Santa Teresita. (Trabajo de titulación) (Pregrado) 2024. págs 1-100.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los resultados derivados de la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del suelo en la zona de estudio de la Cooperativa Santa Teresita indican que el 63,38% de las muestras presentan un predominio de suelo con un pH neutro. No obstante, se observa la presencia de muestras con valores ligeramente ácidos y moderadamente ácidos, abarcando conjuntamente el 33,1% del total. Respecto a la compactación del suelo, se ha identificado que el 60,92% de las muestras exhiben niveles moderados. Estos resultados destacan la necesidad de implementar medidas de mitigación, con el fin de asegurar niveles óptimos de estas variables y garantizar a largo plazo la salud y productividad del ecosistema pastoril en el área de estudio.
- La evaluación de diversas enmiendas aplicadas al suelo en el área de estudio del sistema de riego Cooperativa Santa Teresita ha revelado un impacto positivo y significativo en la restauración de las propiedades fisicoquímicas del suelo. En particular, para el ajuste del pH, se evidenció que la enmienda orgánica de estiércol de cuy se presenta como la opción más apropiada, mostrando un notable incremento del 10,72%. En contraste, en lo que respecta a la compactación del suelo, la enmienda mecánica de aireación mediante el uso de un aireador de rodillo demostró ser la más efectiva, logrando una significativa reducción del 20,27%. Cabe destacar que la enmienda integrada 2, compuesta por estiércol de cuy, cal y rodillo aireador, sobresalió como la más eficaz para mejorar ambas variables, evidenciando un aumento del 12,26% en el pH y una reducción del 26,32% en la compactación del suelo. Estos resultados posibilitan la selección de enmiendas apropiadas en función de la variable fisicoquímica del suelo que se busca restaurar.
- La guía técnica realizada representa un progreso notable para el mejoramiento de la calidad del suelo dentro del sistema de riego de Coop. Santa Teresita. La cooperación entre los estudiantes de recursos naturales renovables de la ESPOCH y la comunidad permite el intercambio de saberes, instruyendo así a los miembros del sistema de riego. Este procedimiento permite que se adopten prácticas más eficaces y se optimicen los rendimientos, disminuyendo los riesgos relacionados con la gestión del suelo y generando beneficios tanto para los productores agropecuarios como para la comunidad en general. La exitosa ejecución

de esta guía no solo promueve la eficacia, sostenibilidad y bienestar dentro de Coop. Santa Teresita, sino que igualmente fortalece su compromiso con el mejoramiento constante y el progreso integral de su entorno.

5.2. Recomendaciones

- Llevar a cabo un análisis de otras propiedades fisicoquímicas del suelo, tales como textura, capacidad de retención de agua, conductividad eléctrica y nutrientes esenciales para una comprensión completa de la influencia de las enmiendas estudiadas. Este enfoque posibilitará una gestión precisa y adecuada a las necesidades específicas del suelo en la zona.
- Estudiar la biodiversidad edáfica a nivel macro, meso y micro en la zona, centrándose en su relación con el aspecto productivo. Este análisis permitirá comprender mejor la influencia de la biodiversidad en las propiedades y funciones del suelo, brindando información valiosa para el diseño de estrategias de manejo sostenible y la implementación de enmiendas adecuadas con miras a incrementar la productividad de la zona.
- Establecer un programa de monitoreo semestral para asegurar la constante calidad del suelo. La implementación de monitoreos regulares garantizará la detección temprana de posibles cambios en las propiedades del suelo, permitiendo la aplicación oportuna de medidas correctivas. Esto contribuirá a preservar la salud del suelo, promoviendo así la sostenibilidad de la producción agropecuaria en el área de cobertura del sistema de riego de la Cooperativa Santa Teresita.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ADMON.** *Enmiendas agrícolas: Benefíciate de ellas* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://agrofertitas.co/enmiendas-agricolas-clasificacion-ventajas-y-desventajas/>
2. **AGRONET.** *La importancia de la cal en la agricultura: beneficios para el suelo y las plantas.* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/La-importancia-de-la-cal-en-la-agricultura-beneficios-para-el-suelo-y-las-plantas.aspx#:~:text=%20Mejora%20la%20estructura%20del%20suelo,por%20tanto%2C%20de%20las%20plantas.>
3. **BARRERO, Edison.** Efecto de la relación carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono de cuy (*cavia porcellus*), enriquecido. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Técnica del Ambato, Tungurahua. Ambato-Ecuador. 2017. págs. 1-79. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25395/1/Tesis-157%20%20Ingeniería%20Agronómica%20-CD%20479.pdf>
4. **BONUNDLESS:** *Soil Compactación solutions* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.boundless.com/es-mx/>
5. **BORGMANN.** *Effect of Soil Compaction and Application of Lime and Gypsum on Soil Properties and Yield of Soybean* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2021.1885688?scroll=top&needAccess=true>
6. **BRIETVIEW.** *Is it humus or hummus.* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.brightview.com/resources/article/it-humus-or-hummus>
7. **CABRERA, F.** *Materia Orgánica del Suelo: Papel de las Enmiendas orgánicas, Componentes del suelo; estructuras y funciones en la agricultura y medio ambiente*. Sevilla : s.n., 2007.

8. **CAMACHO, Jesús; et al.** Evaluación de textura del suelo con espectroscopia de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia, *Colombia forestal* vol. 20 , n°1 (2017). págs. 5-18.
9. **CENTA.** *Abonos verdes* [en línea]. 2020. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: https://www.jica.go.jp/Resource/project/elsalvador/0603028/pdf/production/vegetable_11.pdf
10. **CHAVARRÍA, F.** *Edafología 1*. Caldas : Universidad en el Campo, 2011.
11. **CONDE. M.** Efecto del encalado en el comportamiento morfológico del cultivo de cacao (theobroma cacao l.) En etapa de establecimiento en la estación experimental de sapecho. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia. 2023. págs. 1-117. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/32749/T-3145.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
12. **CRESPO. W.** Influencia de la labranza del suelo en el cultivo de maní (*arachis hypogaea*), jujan, guayas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Agraria del Ecuador, Milagro-Ecuador. 2020. págs. 1-65. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MARQUÍNEZ%20CRESPO%20WILLIAM%20FÉLIX.pdf>
13. **CRUZ, Roberto & MACAL, José.** Efecto de dos tipos de cal en el pH del suelo y en la producción de sorgo sureño, Zamorano, Honduras. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Zamorano. Zamora-Honduras. 2018. págs. 1-23. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/e100a12c-9b9e-4a71-9a23-241ac4a526ce/content>
14. **CUENCA, A. et al.** “Efectividad de enmiendas sobre el crecimiento y rendimiento de fréjol común en suelo andisol ácido” *Revista temas agrarios* [en línea], 2020, vol. 1 (2), págs. 1-12. [Consulta: 26 febrero 2024]. ISSN 1654-6570. Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/2236/2738>
15. **DAMIAN, M.** “Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo”. *Arnaldona* [en línea], 2018, vol. 25(1), págs.

141-158. [Consulta: 26 febrero 2024]. ISSN 1654-6570. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v25n1/a09v25n1.pdf>

16. **DÍAZ, Z. & MURGUEITIO, R.** Conservación de los suelos ganaderos: un tema pertinente en tiempos de sequía. [en línea] *Engormix*. 6 de 15 de 2015. [Consulta: 04 enero 2024]. Disponible en: https://www.engormix.com/lecheria/sequia-planteo-ganadero/conservacion-suelos-ganaderos-tema_a32265/.
17. **DURANGO, W.; et al.** *Mitigación de cadmio en el suelo mediante enmiendas orgánicas* [en línea]. Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería. [Consulta: 04 enero 2024]. Disponible en: https://cefaecuador.org/wp-content/uploads/2022/05/Guia_11.pdf
18. **ESRI.** Comprender el análisis de interpolación. *ArcGIS Pro* [en línea] 17 de Junio de 2020. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm>.
19. **ESRI.** ¿Qué es el kriging bayesiano empírico? [en línea] 1 de Agosto de 2019. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-.htm>.
20. **ESRI.** Comprender el análisis de superposición. *ArcGIS Pro* [en línea] s.f. [Consulta: 5 enero 2024]. Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/understanding-overlay-analysis.htm>.
21. **FANG, Y.; et al.** “Additive effects of organic and inorganic amendments can significantly improve structural stability of a sodic dispersive subsoil” *Scielo* [en línea], 2021, vol. 4 (4), págs. 1-9. [Consulta: 26 enero 2024]. ISSN 1547-9854. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001670612100361X>
22. **FAO.** El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. [en línea]. 2022. [Consulta: 2 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i1688s/i1688s.pdf>
23. **FAO.** *Elaboración y uso de Bocashi*. San Salvador : FAO., 2011.

24. **FAO.** La ganadería y el medio ambiente . [en línea] 18 de Agosto de 2022. [Consulta: 25 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/livestock-environment/es>.
25. **FAO.** Agricultura y medio ambiente. [en línea] 2002. [Consulta: 2 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/y3557s/y3557s11.htm#s>.
26. **FAO.** Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [en línea] 2018. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>
27. **FARINANGO. L.** *La Evaluación en el Área de Educación Visual y Plástica en la ESO* [en línea]. Ecuador: Imprenta libros MCBreak, 2019. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5036/jjma08de16.pdf.PDF>
28. **FEDEGAN. G.** *Implicaciones del pisoteo de animales en la productividad* [en línea]. Ecuador: FedeGan, 2020. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.fedegan.org.co/noticias/implicaciones-del-pisoteo-de-animales-en-la-productividad>
29. **FERTILAB.** *La salinidad del suelo y su fertilidad*. S.l.: Fertilab. 2019.
30. **FLORES, Anabel.** Efectividad biológica del humus de lombriz en el cultivo de maíz y chile en el estado de Aguascalientes [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Autónoma de Aguas Calientes, Aguascalientes-México. 2014. págs. 1-113. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/872/395014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
31. **GAD PARROQUIAL SAN JUAN.** *PDOT Parroquia San Juan*. Riobamba : GAD Parroquial, 2021.
32. **GALEANA, M.** “Labranza de conservación y fertilización en el rendimiento de maíz y su efecto en el suelo”. *Redalyc* [en línea], 2019, vol. 1 (2), págs. 1-12. [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1120-2367. Disponible en: : <https://www.redalyc.org/pdf/573/57317407.pdf>

33. **GARCÍA, M.** *La ganadería intensiva en España. Una aproximación económica*. España: Salud Ambiental , 2022.
34. **GARCÍA, MANUEL.** Introducción a la edafología. *Aula fácil* [en línea]. 2015. [Consulta: 2 octubre de 2023]. Disponible: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/introduccion-a-la-edafologia/propiedades-del-suelo-136895>
35. **GERBER, PJ.; et al.** *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Roma : FAO, 2013.
36. **GIL.** *Compactación de suelos agrícolas* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: [GIL%20CANGELICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)
37. **GONZALES, D. et al.** *La Investigación en El Pregrado. Evaluación de Su Calidad A Través de Las Tesis 2019* [en línea]. Ecuador: Publicaciones científicas, 2023. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/625782023/Gonzales-Et-Al-La-Investigacion-en-El-Pregrado-Evaluacion-de-Su-Calidad-a-Traves-de-Las-Tesis-2019>
38. **GROSSO, Javier.** “Caracterización del estado de compactación de un suelo bajo siembra directa utilizando herramientas de geoestadística”. *Ciencias Agronómicas* [en línea], 2019, vol. 1 (2), págs. 1-11. [Consulta: 26 febrero 2024]. ISSN 2301-1057. Disponible en: <https://cienciasagronomicas.unr.edu.ar/index.php/agro/article/view/20/63>
39. **GUANCHA GARCÍA, Arturo.** *Los abonos verdes*. Tenerife : s.n., 2012.
40. **GUTIERREZ, Andrea.** Evaluación del uso potencial del sensor veris ph manager considerando la influencia de la humedad del suelo y de la fracción arcilla en sus lecturas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad De Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá-Colombia. 2017. págs. 1-58. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/941/Tesis%20final%20pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
41. **HARO, José & GÓMEZ, Carlos.** *Mitigación de emisiones provenientes de la ganadería en la región andina*. Lima : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2018.

- 42. HARRIS, L.** La verdad detrás de la ganadería y el cambio climático. *Alltech*. [en línea]. 2021. [Consulta: 14 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.alltech.com/es-mx/blog/la-verdad-detras-de-la-ganaderia-y-el-cambio-climatico>
- 43. HEROGRA.** *La compactación del suelo: qué es, efectos y cómo prevenirla*. [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://herograespeciales.com/la-compactacion-del-suelo-que-es-efectos-y-como-prevenirla-2/>
- 44. HERRERA, Pedro; et al.** *La ganadería extensiva, una actividad esencial en nuestra alimentación*. Valladolid : Cuaderno Estretando 4. Fundación Entretantos, 2018.
- 45. HOFSTEDE.** *Los páramos andinos ¿qué sabemos?*[en línea]. Ecuador: Ministerios del Ambiente, 2020. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>
- 46. HURTADO, M.** Análisis de la cantidad de carbono secuestrado en humedales altoandinos del páramo de Sayaro en el cantón Cayambe. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Central del Ecuador, Pichincha. Ecuador-Colombia. 2022. págs. 1-112. [Consulta: 2015-07-23]. Disponible en: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5e2fa878-2415-46f6-b6ba-221067c59c18/content>
- 47. ILLATOPA, D.** Incorporación de abonos orgánicos en la recuperación de suelos agrícolas degradados en 2017 (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco-Perú. 2009. págs. 1-84.
- 48. INEC.** Ecuador en cifras. [en línea] 12 de Mayo de 2021. [Consulta: 25 octubre 2023]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf
- 49. IPNI.** Compactación de Suelos, su Prevención y Manejo [en línea]. Ecuador: Publicaciones ipni, 2020. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/5645a8b1584def3305257e0e0068db6e/\\$FILE/AA%20-%206%20Junio-2014.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/5645a8b1584def3305257e0e0068db6e/$FILE/AA%20-%206%20Junio-2014.pdf)

50. **ISLAM, I.; et al.** “Effects of different levels of soil moisture and indigenous organic amendments on the yield of boro rice grown under field condition”. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* [en línea], 2020, vol. 29 (1), págs. 87-96. [Consulta: 26 febrero 2024]. ISSN 1657-4120. Disponible en: <https://doi.org/10.3329/dujbs.v29i1.46534>
51. **JACTO.** Preparación del suelo: paso a paso para la siembra. 2023. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://bloglatam.jacto.com/preparacion-terreno/>
52. **JAIME, E.; et al.** *Hacia métodos de análisis de datos espaciales ráster. Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada.* La Habana : s.n., 2011.
53. **JUNGUE, D.; et al.** Pre-print Developing minimum tillage farming systems a case study. USA: Books K&T, 2020, pág. 6.
54. **KELLY.** *What are the Benefits of Minimum Tillage System?* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://kellytillage.com/eu/what-are-the-benefits-of-minimum-tillage-system/>
55. **KOGUT, Petro.** EOS Data Analytics. [En línea] 20 de Julio de 2023. [Consulta: 24 octubre de 2023]. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/degradacion-del-suelo/>.
56. **LEÓN, I.; et al.** *Estudio situacional de la actividad ganadera en la parroquia Ayapamba, Cantón Atahualpa.* s.l. : Revista Sociedad & Tecnología, 2022.
57. **LEÓN, R. et al.** Pastos y forrajes del Ecuador. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Pichincha. Quito-Ecuador. 2018. págs. 1-622. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19019/4/PASTOS%20Y%20FORRAJES%20DEL%20ECUADOR%202021.pdf>
58. **LEMUS, N.** *Metodologías participativas.* S.l.: s.n. 2022. págs. 1-2.
59. **LLAMBI, L.; et al.** *Ecología, hidrología y suelos de páramos* [en línea]. Ecuador: Ediciones impresas, 2012. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56480.pdf>

- 60. LÓPEZ FALCÓN, Roberto.** *Degradación del suelo, Causas, Procesos, Evaluación e Investigación.* Mérida : CIDIAT, 2002.
- 61. LÓPEZ, J.; et al.** *Humus.* Ciudad de México : s.n., 2010.
- 62. LORENTE, A.** *Ganadería y cambio climático: Una influencia recíproca.* Alicante : s.n., 2010.
- 63. LOZANO. L.** *Humus líquido: la clave para un suelo sano y productivo* [blog]. [Consulta: 26 enero 2024]. Disponible en: https://www.nostoc.es/humus-liquido-clave-suelo-sano-productivo/#HUMUS_LIQUIDO_PARA_MEJORAR_LA_SALUD_DEL_SUELO
- 64. LUO. S.** *Abstracts 2013 Fuel and Energy Abstracts* [en línea]. USA: Research F&Books, 2024. [Consulta: 26 enero 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/704975019/Abstracts-2013-Fuel-and-Energy-Abstracts>
- 65. MANTILLA, Gabriel.** *Comparación de metodologías estadísticas para interpolar la precipitación en el Ecuador.* Guayaquil : s.n., 2016.
- 66. MARTÍNEZ, A.** *5 causas de la acidez de suelos y la forma de enmendar* [en línea]. Ecuador: Contexto ganaderos, 2016. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/5-causas-de-la-acidez-de-suelos-y-la-forma-de-enmendar>
- 67. MARTÍNEZ. T.** *Labranza y Compactación.* Ecuador: Imprenta MacBook, pág. 6.
- 68. MARTIRE. S.; et al.** “Compactación por el tráfico de la maquinaria agrícola: su efecto sobre el esfuerzo cortante del suelo y el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mayz* L.)”. *Revista digital UCE* [en línea], 2016, vol. 1 (2), págs. 199-205. [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1154-9650. Disponible en: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/256/247>
- 69. MEDINA, A.** *Evaluación de la Labranza Mecanizada y Enmiendas sobre la Calidad del Suelo, La Dinámica del C Orgánico y la Producción de Pasto Transvala (Digitaria Decumbens Stent.) en San Mateo de Alajuela, Costa Rica (Trabajo titulación) (pregrado).* Universidad de Costa Rica. 2023.

- 70. MEDINA, E.** Efectos de los diferentes manejos agronómicos sobre indicadores bioquímicos y microbiológicos de calidad de suelos de viñedos, san juan, argentina. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado). Universidad Nacional de San Juan, Buenos Aires-Argentina. 2020. págs. 1-65. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/83839/CONICET_Digital_Nro.39130da2-728d-4c8e-bcdc-aab52394acbc_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- 71. MEDINA, Carlos.** *Efectos de la compactación por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos.* Remediaciones S.l.: s.n. 2016.
- 72. MENA, D.** *Páramo* [en línea]. Ecuador: Ministerios del Ambiente, 2020. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/445389563/LEXTN-Mena-ED-144677-PUBCOM-pdf>
- 73. MENDOZA, Melitón.** Efecto de cuatro dosis de abonamiento con mezcla de estiércol de cuy y vacuno sobre el rendimiento de tres eco tipos de papa nativa en el fundo de chihui pampa Huaraz ancash- 2019. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Lima-Perú. 2019. págs. 1-80. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4144/T033_72378226_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 74. MORALES, Santiago.** Uso de tres tipos de estiércol (cuy, vacuno y caprino) en la recuperación de suelos degradados por fertilizantes sintéticos en el cultivo de papa (*solanum tuberosum* l.) en la Comunidad de Atahuayón – Huácar – Ambo 2022. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad de Huanuco, Huanuco-Perú. 2023. págs. 1-124. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14257/4098/Santiago%20Morales%20C%20Sherly%20Gisely.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 75. MORRIS, J.** *Las causas de la compactación del suelo en las tierras de pastoreo* [en línea]. Ecuador: ATTRA Agricultura Sustentable, 2023. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://attra.ncat.org/es/las-causas-de-la-compactacion-del-suelo-en-las-tierras-de-pastoreo/>

- 76. MULA, J.** Como cambiar el pH en el suelo. *Agromática*. [en línea] 19 marzo 2023. Disponible en: <https://www.agromatic.es/como-cambiar-el-ph-del-suelo/>
- 77. MURILLO, L.; et al.** “La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola”. *Stylylib* [en línea], 2020, vol. 1 (2), págs. 1-25. [Consulta: 26 enero 2024]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <https://studylib.es/doc/9366805/dialnet-laimportanciadelasenmiendasorganicasenlaconservac...>
- 78. MURILLO, A.** “Composición de suelos agrícolas” *Dialnet* [en línea], 2018, vol. 32 (1), págs. 1-10. [Consulta: 26 febrero 2024]. ISSN 1011-0605. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6483903>
- 79. MURRAY, R.; et al.** “Composición química de excremento entero, composta y lixiviado de la cama de cuyes (*Cavia porcellus*)”. *Abanico agroforestal* [en línea], 2022. n° 5, págs. 1-7. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2023.1>
- 80. NIX, Jamie.** Como la salud del suelo puede transformar la ganadería. *BiomeMakers* [en línea]. 2023. [Consulta: 18 septiembre 2023]. Disponible en: <https://biomemakers.com/es/blog/como-la-salud-del-suelo-puede-transformar-la-ganaderia>.
- 81. NUTRICONTROL.** *La importancia del control de ph en los cultivos* [en línea]. Ecuador: Libros Nutrementos, 2019. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://nutricontrol.com/es/la-importancia-del-control-de-ph-en-los-cultivos/>
- 82. OMEX.** *Soil compaction and soil nutrients that can help* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://omexcanada.com/blog/soil-compaction-and-soil-nutrients-that-can-help/>
- 83. ONU.** La ganadería produce más gases contaminantes que el transporte. *Organización de las Naciones Unidas* [En línea]. 29 de Noviembre de 2006. [Consulta: 18 septiembre 2023]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2006/11/1092601>
- 84. ORLANDO, K.** *Minimum Tillage* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.kuhn.co.uk/agricultural-methods/minimum-tillage#:~:text=Min-till%20can%20be%20combined,soils%20to%20reduce%20water%20runoff.>

- 85. OSORIO, N.W.** *pH del suelo y disponibilidad de nutrientes*. Medellín : s.n., 2012.
- 86. PÉREZ MORALES, César.** *Estimulación eléctrica para el incremento en la germinación y crecimiento de cucumis sativus en un antrosol empleando electrodos modificados con óxidos de metales de transición*. Querétaro : CIDETEQ, 2020.
- 87. PÉREZ ROSALES, Alejandro.** *Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+)*. s.l. : Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2017.
- 88. PÉREZ, Rosario.** *El lado oscuro de la ganadería*. Ciudad de México : Problemas del desarrollo, 2008.
- 89. PHAM, T G.; et al.** *Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical information system (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam*. s.l. : International Soil and Water Conservation Research, 2018, Vol. 6.
- 90. PHYCO TERRA.** *Soil Compaction Solutions: How Soil Microbes Improve Soil Structure*. [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://phycoterra.com/blog/soil-structure/>
- 91. PORTA, J.; et al.** *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid : Mundi-Prensa, 2003.
- 92. QUESADA, Luis.** ¿Qué es la interpolación espacial de datos? *GeoInnova* [En línea]. 18 de Julio de 2019. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-la-interpolacion-espacial-de-datos/>.
- 93. RODAS, José.** Enmiendas Agrícolas. *Agactivocol* [En línea] 2023. [Consulta: 5 enero 2024]. Disponible en: <https://agroactivocol.com/producto/nutricion-vegetal/enmiendas-y-acondicionadores/cursos-enmiendas-inorganicas-basico/>.
- 94. RODRÍGUEZ, R.** Evolución de la acidez en un ultisol a la aplicación de cal y respuesta en la fase inicial del cultivo del café (*coffea arabica l.*), en pueblo nuevo del cantón Loja. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador. 2019. págs. 1-76. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en:

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22566/1/Rosa%20del%20Cisne%2020Rodriguez%20Sarango..pdf>

95. **RUCKS, L.; et al.** Propiedades Físicas del Suelo . [En línea] 2004. [Consulta: 2 octubre 2023]. Disponible en: <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>.
96. **SALAZAR, J.** *Aprovechamiento de recursos y manejo de suelo ecológico*. Málaga : Antequera, 2016.
97. **SCHWYTER, Anna & VAUGHAN, Karen.** Introducción a la ciencia del suelo y a la formación de suelos. *LibreTexts* [en línea]. 2022. [Consulta: 4 octubre 2023]. Disponible en: [https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Ciencia_del_Suelo/Introducci%C3%B3n_al_Manual_de_Laboratorio_de_Ciencias_del_Suelo_\(Schwyter_y_Vaughan\)/01%3A_Introducci%C3%B3n_a_la_Ciencia_del_Suelo_y_a_la_Formaci%C3%B3n_de_Suelos/1.01%3A_Introducci%C3%B3n](https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Ciencia_del_Suelo/Introducci%C3%B3n_al_Manual_de_Laboratorio_de_Ciencias_del_Suelo_(Schwyter_y_Vaughan)/01%3A_Introducci%C3%B3n_a_la_Ciencia_del_Suelo_y_a_la_Formaci%C3%B3n_de_Suelos/1.01%3A_Introducci%C3%B3n).
98. **SUÁREZ, J.** *Agricultura sin labranza Minimizar la alteracion del suelo para lograr el maximo crecimiento orgánico* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://fastercapital.com/es/contenido/Agricultura-sin-labranza--Minimizar-la-alteracion-del-suelo-para-lograr-el-maximo-crecimiento-organico.html>
99. **SUQUILANDA, Manuel.** Manejo Agroecológico Suelos. [en línea] 2017. [Consulta: 2 octubre 2023]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/373748442/Manejo-Agroecologico-Suelos>.
100. **TORRES, J.** *Compactación: una de las causas más comunes de la degradación del suelo*. Cundinamarca : Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2017.
101. **TORRES, A.** *Para que funcione la cal agrícola, su importancia en la agricultura y dosis de aplicación* [blog]. [Consulta: 26 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/10/25/para-que-funciona-la-cal-agricola-su-importancia-en-la-agricultura-y-dosis-de-aplicacion/>
102. **TORTOSA, Germán.** Definición de compostaje. ¿Qué es el compost? *Compostando Ciencia* . [en línea]. 22 de septiembre de 2008. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2008/09/definicin-de-compostaje-html/>.

103. VARGAS, K. *Labranza Mínima* [en línea]. Ecuador: Agricultura sostenible, 2009. [Consulta: 20 septiembre 2009]. Disponible en: <https://www.tarpurisunchis.org/AgroEcologiaOriginal/pp/Labranza.pdf>

104. VEGA, Magno. Efecto de la materia organica y encalado del suelo en cebada (*hordeum vulgare* L.) Variedad una 96 cultivado en invernadero [En línea]. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Nacional Agraria Molina, Lima-Perú. 2014. págs. 1-75. [Consulta: 2024-02-26]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1502/t006823.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

105. WALL, , D H. *Soil Ecology and Ecosystem Services*. S.l.: s.n. 2012.



ANEXOS

ANEXO A: SOCIALIZACIÓN A LA COMUNIDAD DE LA COOPERATIVA SANTA TERESITA



ANEXO B: RECOLECCIÓN DE DATOS



ANEXO C: IMPLEMENTACIÓN DE ENMIENDAS





ANEXO E: NÚMERO DE MUESTRAS Y VALOR DE LAS VARIABLES RESPECTIVAS

Muestra	pH	Compactación (MPa)
0	5,89	1,092306892
1	6,5	1,729485913
2	6,2	2,002562636
3	6	0,819230169
4	6,2	0,910255744
5	6,1	1,274358041
6	6,4	4,278201994
7	7,1	1,001281318
8	6,8	1,183332467
9	6,8	1,729485913
10	6	4,278201994
11	6	1,820511487
12	6,1	1,547434764
13	6,9	1,365383615
14	6,2	1,638460338
15	6,5	0,910255744
16	6	1,092306892
17	6,05	1,274358041
18	6,9	1,183332467
19	6,87	1,45640919
20	5,9	1,092306892
21	5,9	1,45640919
22	6,62	1,729485913
23	7	1,365383615
24	6,5	1,001281318
25	7	1,274358041
26	6,7	1,183332467
27	5,8	1,001281318
28	6	0,63717902
29	7	1,001281318
30	6,55	1,638460338
31	7	1,274358041
32	6,5	1,365383615
33	6,66	1,183332467
34	6,5	1,365383615
35	6,5	0,728204595
36	6,7	1,274358041
37	6,3	1,092306892
38	6,7	0,910255744
39	6,5	1,183332467
40	6,65	1,183332467
41	6,7	1,547434764

42	6	0,546153446
43	6,9	1,274358041
44	7	1,001281318
45	6,8	1,092306892
46	6,7	1,092306892
47	6	0,819230169
48	6	0,546153446
49	7	0,910255744
50	6,45	0,182051149
51	6,5	0,728204595
52	6,3	0,819230169
53	6,5	0,728204595
54	7	0,728204595
55	7,01	1,274358041
56	5,9	1,183332467
57	6,48	0,63717902
58	6,5	0,819230169
59	6,5	1,274358041
60	6,4	1,274358041
61	7	1,092306892
62	6,6	0,182051149
63	6,2	0,364102297
64	6,8	1,001281318
65	6,6	0,546153446
66	6,5	0,546153446
67	6,4	0,728204595
68	6,6	1,001281318
69	6,6	1,274358041
70	6,5	0,728204595
71	6,6	1,274358041
72	6,6	1,274358041
73	No aplica	No aplica
74	6,5	0,910255744
75	6	0,546153446
76	6	0,910255744
77	6,5	0,546153446
78	6	1,001281318
79	6,1	1,092306892
80	6,1	1,092306892
81	6	1,183332467
82	5,9	1,092306892
83	6,5	1,092306892
84	6,6	0,546153446
85	6,59	0,546153446
86	6,5	0,546153446
87	7	0,910255744

88	6,5	1,001281318
89	6,3	1,365383615
90	6,6	1,274358041
91	6	1,001281318
92	6,5	0,819230169
93	7	0,819230169
94	6,9	0,910255744
95	6,9	1,001281318
96	6,6	1,092306892
97	7	1,365383615
98	6,5	0,819230169
99	6,4	0,819230169
100	5,8	1,001281318
101	6,7	1,183332467
102	6,2	1,092306892
103	7	1,092306892
104	6	1,001281318
105	6,8	1,001281318
106	7	0,910255744
107	6,66	1,638460338
108	6,8	1,365383615
109	7	0,819230169
110	7,3	0,819230169
111	7,2	1,183332467
112	7,1	0,819230169
113	7,3	1,092306892
114	6,9	1,092306892
115	6,5	1,274358041
116	6,8	1,365383615
117	6,8	1,729485913
118	7,1	0,910255744
119	6,7	1,001281318
120	7	1,001281318
121	7	1,001281318
122	6,9	0,819230169
123	7,3	1,001281318
124	6,1	0,910255744
125	6,9	0,910255744
126	7	1,001281318
127	7	1,365383615
128	6,5	0,819230169
129	7	0,546153446
130	7	0,910255744
131	7,1	1,365383615
132	7,6	0,910255744
133	7,4	0,546153446

134	7,1	1,547434764
135	7,5	1,274358041
136	7,2	1,001281318
137	6,9	1,274358041
138	7	1,183332467
139	6,7	1,092306892
140	6,8	0,819230169
141	7,2	1,365383615
142	7,3	1,092306892
143	7	1,001281318
144	6	1,092306892
145	6,9	1,001281318
146	7	1,183332467
147	6,9	1,092306892
148	7,1	1,001281318
149	6,1	0,728204595
150	7	0,910255744
151	7	0,910255744
152	7,2	0,910255744
153	7,3	0,910255744
154	7,4	1,274358041
155	7,3	0,546153446
156	6,4	0,819230169
157	6,3	0,728204595
158	6,8	0,63717902
159	5,4	0,455127872
160	6,7	0,910255744
161	6,8	0,819230169
162	6,4	0,455127872
163	6,9	1,547434764
164	6	1,092306892
165	6	0,455127872
166	7,3	1,092306892
167	6,7	0,819230169
168	6,7	0,819230169
169	6,4	0,910255744
170	6,8	0,819230169
171	6,5	1,092306892
172	6,7	1,092306892
173	6,9	0,819230169
174	7,1	1,45640919
175	7,1	1,001281318
176	6,9	1,183332467
177	6,9	1,092306892
178	6,9	1,365383615
179	6,8	1,183332467

180	7	1,45640919
181	6,6	1,001281318
182	6,1	1,274358041
183	No aplica	No aplica
184	6,9	1,183332467
185	6,1	1,001281318
186	6,9	0,819230169
187	7	1,092306892
188	6	0,546153446
189	6,8	1,911537061
190	6,5	1,729485913
191	6,5	1,001281318
192	6,4	1,092306892
193	5,9	1,001281318
194	6,6	1,183332467
195	7,2	1,274358041
196	6,2	1,183332467
197	6,5	1,183332467
198	6,3	1,001281318
199	6,5	1,274358041
200	6,5	1,911537061
201	6,2	0,728204595
202	5,7	1,092306892
203	6,8	0,819230169
204	6,8	1,092306892
205	6,4	1,183332467
206	6,5	1,001281318
207	6,2	1,183332467
208	6,2	1,729485913
209	5,9	1,274358041
210	5,7	2,09358821
211	No aplica	No aplica
212	6,7	1,001281318
213	6,5	1,092306892
214	6,13	0,910255744
215	6,6	0,546153446
216	6,1	1,092306892
217	6,7	1,001281318
218	6,9	0,910255744
219	6,9	1,001281318
220	6,9	1,45640919
221	6,12	0,910255744
222	6,4	1,092306892
223	6,8	0,910255744
224	6,8	0,63717902
225	6,4	1,183332467

226	5,8	0,728204595
227	6	0,819230169
228	6,8	1,274358041
229	7,2	1,183332467
230	7	0,819230169
231	6,8	1,274358041
232	7	1,547434764
233	6,9	0,910255744
234	7	1,001281318
235	7	1,547434764
236	6,9	0,63717902
237	6,5	1,001281318
238	6,2	1,911537061
239	6,3	1,001281318
240	6,7	1,638460338
241	6,9	1,547434764
242	6,6	0,910255744
243	6,6	0,728204595
244	6,1	0,819230169
245	6,9	1,001281318
246	6,9	1,45640919
247	6,5	0,63717902
248	5,8	1,183332467
249	6,3	1,911537061
250	No aplica	No aplica
251	6,6	0,728204595
252	No aplica	No aplica
253	6,8	1,092306892
254	6,5	0,728204595
255	6,6	0,728204595
256	6	1,274358041
257	6,7	1,547434764
258	6,1	1,911537061
259	6,8	1,001281318
260	6,2	0,728204595
261	6,1	0,728204595
262	6,3	0,910255744
263	6,1	0,63717902
264	6,5	1,729485913
265	6,8	1,365383615
266	6,9	1,183332467
267	6,18	1,001281318
268	6,8	1,092306892
269	6,4	1,001281318
270	6,1	1,092306892
271	5,8	1,365383615

272	6,4	1,274358041
273	6,5	1,001281318
274	No aplica	No aplica
275	No aplica	No aplica
276	6,5	1,092306892
277	5,8	0,910255744
278	6,1	0,819230169
279	6,6	0,910255744
280	6	10,92306892
281	6,7	1,638460338
282	6,4	1,183332467
283	6,2	1,092306892
284	No aplica	No aplica



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 08/ 03/ 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Pablo Andrés Zabala Escobar
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Recursos Naturales Renovables
Título a optar: Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
 Ing. Jorge Daniel Córdova Lliquin, M.Sc. Director del Trabajo de Integración Curricular
 Ing. Vicente Javier Parra León, M.Sc. Asesor del Trabajo de Integración Curricular

