



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL
SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN LECHERA FAMILIAR EN SALCEDO”.**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero agropecuario

Autor:
Medina Vallejo David Josue

Tutor:
Edie Gabriel Molina Cuasapaz.

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Medina Vallejo David Josue, con cédula de ciudadanía No. 1850834662, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: “RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA FAMILIAR EN SALCEDO”, siendo el doctor Mvz. Edie Gabriel Molina Cuasapaz Mtr, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 23 de Febrero del 2026

David Josue Medina Vallejo
C.C: 1850834662
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **MEDINA VALLEJO DAVID JOSUE**, identificado con cédula de ciudadanía **1850834662** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agropecuaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA FAMILIAR EN SALCEDO”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Mvz. Edie Gabriel Molina Cuasapaz Mtr.

Tema: **“RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA FAMILIAR EN SALCEDO”**

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

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

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

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

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

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

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

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

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

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

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

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

David Josue Medina Vallejo
EL CEDENTE

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

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA FAMILIAR EN SALCEDO”, de Medina Vallejo David Josue, de la carrera de Agropecuaria, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 de Febrero del 2026

Mvz. Edie Gabriel Molina Cuasapaz Mtr.
C.C: 1722547278
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Medina Vallejo David Josue, con el título del Proyecto de Investigación: “RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA FAMILIAR EN SALCEDO”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, 23 de Febrero del 2026

Ing. Clever Castillo De La Guerra, M.Sc.
C.C: 0501715494
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

MVZ. Alison Simancas Racines, Mg.
C.C: 0503001000
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Eliana Granja Guerra, PhD.
CC: 1718126301
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Esta investigación de pregrado y el resultado de mi formación, se la debo a muchas personas e instituciones, que no me alcanzaría esta página para detallar sus nombres, cualidades y virtudes, en mi memoria siempre estará el beneficio que recibí de ustedes, más bien le doy gracias a Dios por mi vida y por la suya, por haberlos puesto en mi camino para ayudarme a construir mis éxitos, sin duda son una bendición; y, por todas las cosas buenas que me permitieron sonreír y las malas que indudablemente me ayudaron a crecer.

David Josue Medina Vallejo

DEDICATORIA

A mis ángeles aquí en la tierra que han sido mi soporte, compañía y alegría en los momentos más difíciles de mi vida Jicela y Fabian que han sido el pilar fundamental para lograr mi objetivo, a mis hermanos Alex y Jordan que gracias a su apoyo y consejos me fortalecieron cada día mas a toda mi familia porque ha estado ahí siempre apoyándome, a mis angelitos que están en el cielo que son Andrés Luis Eduardo y Dioselina que siempre me guiaron por un buen camino a Tatiana que en un pequeño tiempo se convirtió en algo muy especial y a todos amigos que han estado ahí en las buenas y las malas.

David Josue Medina Vallejo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA FAMILIAR EN SALCEDO”

Autor:

Medina Vallejo David Josue

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo relacionar las propiedades físicas del suelo con la producción lechera familiar del cantón Salcedo. La principal dificultad que se muestra en la zona es la baja producción lechera debido a la escasez de forrajes de calidad los cuales están siendo producidos por suelos con problemas de compactación. En la investigación se consideró a seis productores, se evaluó las siguientes propiedades físicas del suelo textura, densidad aparente, infiltración de agua, porosidad y biomasa. La metodología aplicada fue un enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo y correlacionar. Para la observación de la textura se trabajó con el método del triángulo textural USDA, para la densidad aparente se utilizó el método del hoyo del volumen conocido, la infiltración con el procedimiento de la lata y la porosidad se utilizó el método de la esponja. La biomasa se llevó a cabo por un muestreo de manera directa y secado del material vegetal que se obtuvo. Luego de haber realizado las pruebas se obtuvo como resultados que los suelos de la zona presenta en un total del 100% una textura franco arenoso, en cambio la infiltración presenta una media de (28.21 min) esta variación se debe a que los productores tienen diferentes formas de uso y manejo del suelo. También se identificó que la producción de biomasa forrajera es muy limitada con una media de (2404.85 kg/ha) debido probablemente a que el suelo se encuentra con problemas de compactación, esto debido al limitado espacio generando así un sobrepastoreo. También se evidenció una relación que impacta de manera directa entre la disposición física del suelo, la disponibilidad que tenemos de forraje y la producción total lechera de la zona. Llegando así a la conclusión de que el manejo inadecuado del suelo tiene una influencia de manera negativa en la producción forrajera causando así una producción lechera baja, por lo tanto se recomienda la implementación de un manejo sostenible de pastoreo que permita generar forrajes que satisfagan los requerimientos nutricionales de los bovinos, con el fin de incrementar la rentabilidad de los sistemas de producción lecheros en el cantón Salcedo.

Palabras clave: Propiedades físicas, biomasa, producción lechera, sistemas familiares.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "RELATIONSHIP BETWEEN SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND FORAGE PRODUCTION IN FAMILY DAIRY PRODUCTION SYSTEMS IN SALCEDO

Author: Medina Vallejo David Josue

ABSTRACT

The objective of the research was to relate the physical properties of the soil to family dairy production in the Salcedo canton. The main problem in the area is low milk production due to a shortage of quality food, which is being produced by soils with compaction problems. The research considered six producers and evaluated the following physical properties of the soil: texture, bulk density, water infiltration, porosity, and biomass. The methodology applied was a quantitative approach, with a descriptive and correlative design. The USDA textural triangle method was used to determine texture, the known volume pit method was used for bulk density, the can method was used for infiltration, and the sponge method was used for porosity. Biomass was determined by direct sampling and drying of the plant material obtained. After conducting the tests, the results showed that 100% of the soil in the area have a sandy loam texture, while infiltration has an average of (28.21 min). This variation is because producers have different ways of using and managing the soil. It was also identified that forage biomass production is very limited, with an average of (2404.85 kg/ha), probably due to soil compaction problems caused by limited space, thus leading to overgrazing. A direct relationship was also found between soil physical quality, forage availability, and total milk production in the area. This led to the conclusion that inadequate soil management has a negative influence on forage production, thus causing low milk production. Therefore, the implementation of sustainable grazing management is recommended to generate forage that meets the nutritional requirements of cattle, to increase the profitability of dairy production systems in the Salcedo canton.

KEYWORDS: Physical properties, biomass, milk production, family systems.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
TABLA DE CONTENIDO.....	xi
INDICE DE TABLAS	xiv
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	¡Error! Marcador no definido.
2. JUSTIFICACION	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
4. PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	3
5. OBJETIVOS	4
6. ACTIVAS Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACION A LOS OBJETIVOS	5
7. FUNDAMENTACION CIENTIFICA TECNICA	6
7.1 Producción lechera en el Ecuador.....	6
7.2 Forraje	7
7.3 Suelo	7
7.4 Propiedades físicas del suelo	8
7.5 Textura del suelo.....	8
7.6 Clases de texturas.....	8
7.7 Compactación del suelo y sus indicadores.....	9

7.8 Prueba de cinta.....	10
7.8.1 Fiabilidad de la prueba.....	10
7.9 Densidad del suelo	10
7.9.1 Densidad de las partículas.....	10
7.9.2 Densidad aparente	11
7.10 Método del hoyo de volumen conocido.....	11
7.10.1 Fiabilidad del método	11
7.11 Infiltración de agua	11
7.12 Porosidad.....	12
7.13 Método de la esponja	12
7.13.1 Fiabilidad del método	12
7.14 Biomasa.....	12
7.15 Pasto.....	13
7.16 Relación entre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento del forraje.....	13
7.17 Factores que determinan la producción de biomasa	14
7.18 Influencia del suelo sobre el desarrollo del forraje.....	15
7.19 Interacción entre propiedades físicas y rendimiento forrajero.....	15
7.19.1 Propiedades Físicas del Suelo y su Impacto:	15
7.20 Importancia socioeconómica en Ecuador y Cotopaxi.....	15
7.21 Sobrepastoreo.....	16
8. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.....	17
8.1 Propiedades físicas del suelo	17
8.2 Densidad aparente.....	18
8.3 Infiltración de agua	18
8.4 Porosidad.....	19

8.5 Biomasa.....	19
9. HIPÓTESIS.....	22
9.1 Hipótesis Nula.....	22
9.2 Hipótesis Alternativa	22
10. RESULTADOS.....	22
11. DISCUSION DE RESULTADOS	33
12. CONCLUSIONES	38
13. RECOMENDACIONES.....	39
14. BIBLIOGRAFÍA	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estructura	22
Tabla 2 Estadístico descriptivo general de las propiedades el suelo analizadas.....	22
Tabla 3 Variables principales.....	23
Tabla 4 Comparación entre terrenos de productor 1.....	24
Tabla 5 Comparación entre terrenos de productor 3.....	25
Tabla 6 ANOVA para densidad aparente	26
Tabla 7 Comparación entre los productores	26
Tabla 8 ANOVA para porosidad	27
Tabla 9 Modelo mixto.....	28
Tabla 10 Modelo estadístico	29
Tabla 11 Matriz de correlación general entre variables.....	29
Tabla 12 Varianza explicada por componentes principales.....	30
Tabla 13 Coeficiente de variación (%) por productor y terreno	31

1. INFORMACIÓN GENERAL.

Título

Relación entre las propiedades físicas del suelo y la producción de forrajes en sistemas de producción lechera familiar en salcedo.

Fecha de inicio: 3 de Noviembre 2025

Fecha de finalización: 9 de Enero 2026

Lugar de ejecución.

Parroquia: Mulliquindil

Cantón: Salcedo

Provincia: Cotopaxi

Zona: 3

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad Académica: Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia: Ingeniería Agropecuaria

Nombres de equipo de investigadores

Tutor: Mvz. Edie Gabriel Molina Guasapaz Mg.

Alumno: David JosueMedina Vallejo.

Proyecto de investigación asociado a: Análisis, manejo integral de las propiedades físicas del suelo para fortalecer la productividad lechera de la zona.

Área de Conocimiento: Agronomía y Veterinaria.

Sub Área del conocimiento: Ciencias Agropecuarias.

Línea de investigación: Suelos y producción forrajera en sistemas lecheros.

Sub línea de investigación de la carrera: Manejo sostenible de los recursos agropecuarios.

2. JUSTIFICACION

La producción lechera constituye uno de los pilares sociales y económicos del Ecuador, donde según (Viteri, 2024), el 6.4% de la población total del Ecuador depende directamente e indirectamente de la actividad lechera. En estos tipos de sistemas el forraje representa el alimento más económico para brindar niveles adecuados de producción, y la disponibilidad del mismo está relacionado con la calidad del suelo. Sin embargo las propiedades físicas de los suelos son muy poco estudiadas en el país a pesar de la gran influencia que tiene directamente con la producción de leche.

Según (Astudillo, 2020) nos dice que el 49.3% de la población económicamente activa del cantón está vinculada a actividades agropecuarias y ganaderas lo que nos indica que es un componente muy significativo de la población depende de actividades rurales como la producción de leche para sus ingresos principales y el sustento familiar.

Esta investigación permite comprender la relación directa que existe entre las condiciones físicas del suelo, la dependencia que tiene con la producción de biomasa forrajera y la correlación continua que tiene con la producción de leche, el desarrollo adecuado de especies forrajeras se convierte en un pilar fundamental para los sistemas de producción lechero ya que influye en la ingestión diaria, conversión alimenticia y el estado fisiológico del ganado. Con esta investigación se aportara un conocimiento técnico en cuanto a la relación entre propiedades físicas y producción lechera.

Con esta investigación se beneficiara directamente los productores lecheros de Salcedo, quienes podrán mejorar el desempeño de sus forrajes y así consecuentemente incrementar la producción lechera. De esta manera se promueve el desarrollo sostenible y la conservación de un recurso básico y no renovable como lo es el suelo ayudando también así a las generaciones futuras a encontrar un suelo no compactado y no desgastado.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Las personas que son beneficiarios directos de este proyecto son personas beneficiadas directa o indirectamente. Se tiene como beneficiarios directos se encuentran los productores que están vinculados con nuestro proyecto y al investigador.

BENEFICIARIOS DIRECTOS

Productores inscritos en el proyecto: 32

Investigador: 1

BENEFICIARIOS INDIRECTOS

Estudiantes de la carrera de ingeniería Agropecuaria.

Pobladores del cantón Salcedo.

4. PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

En la provincia de Cotopaxi específicamente en el cantón de Salcedo una de las importantes actividades financieras a nivel local es la producción de leche la cual según (Astudillo, 2020) representa el 49.3% de la economía principal del cantón. Por lo que la eficiencia productiva de estos sistemas depende de manera directa al rendimiento y la calidad de los forrajes ya que estos factores son primordiales.

La área de Salcedo está atendida por dos tipos de superficie, un suelo poco desarrollado esto significa un suelo poco usado que cuenta con 444.35 ha, que representa el 9.25%, y un suelo muy fértil con 4360.34 ha con un porcentaje del 90.75%. La composición de la textura es la siguiente una estructura fina con 1569.42 ha, que simboliza el 32.66%, disposición media 2790.92 ha, con un porcentaje del 58.09%, y prudentemente gruesa 444.35 ha, con un porcentaje del 9.25%, estos datos nos presentan suelos adecuados para una buena producción de forrajes pero debido a descuidos los suelos se encuentran en malas condiciones (Vaca, 2023).

En los sistemas lecheros familiares, el manejo y la conservación del suelo suele presentar diversos desafíos los cuales son el uso continuo de superficies reducidas de pastoreo lo que causa una compactación en el suelo afectando así a la producción de forrajes futura y la ausencia de la

rotación adecuada de los cultivos lo que causa que el suelo solo gaste ciertos nutrientes reduciendo así el nivel de producción.

Los problemas que principalmente afectan al cantón de Salcedo es la degradación del suelo esto se debe a la compactación derivada del sobrepastoreo causando también así una pérdida de fertilidad ya que tiene una baja incorporación de materia orgánica debido a la falta de rotación de cultivos, otro problema también es la limitación de producción forrajera ya que debido al agotamiento del suelo y eventos climáticos externos causa una disminución del rendimiento en forrajes.

Debido a estos problemas presentados y al desconocimiento de la importancia del suelo y la influencia directa que tiene en la producción de leche, los productores tienen una muy baja productividad lo que se ve reflejado especialmente en la economía del cantón, también al momento de entregar el producto se ve reflejado en la cantidad de leche obtenida ya que es baja por la falta de alimento.

5. OBJETIVOS

Objetivo general:

Analizar la relación entre las propiedades físicas del suelo y la producción de forrajes en sistemas de producción lechera familiar en salcedo.

Objetivos específicos:

- Caracterizar las propiedades físicas del suelo (textura, densidad aparente, infiltración) en los sistemas de producción lechero familiar.
- Caracterizar la producción de biomasa de forrajes en los sistemas de producción lechero familiar.
- Correlacionar los datos suelo-forraje-producción en los sistemas de producción lechero familiar.

6. ACTIVAS Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACION A LOS OBJETIVOS

OBJETIVO	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS
ESPECIFICO 1			
Caracterizar las propiedades físicas del suelo (textura, densidad aparente, infiltración) en los sistemas de producción lechero familiar.	Toma de muestras de suelo. Cálculo de los datos aplicando diferentes fórmulas esto en densidad aparente. Toma de tiempo en que el suelo absorbe el agua	Método del triángulo textural USDA. Método del hoyo del volumen conocido. Método de la lata tres por hectárea.	Se espera obtener la textura del suelo, densidad aparente y la infiltración.

OBJETIVO	ACTIVIDADES	METODOLOGIA	RESULTADOS
ESPECIFICO 2			
Caracterizar la producción de biomasa de forrajes en los sistemas de producción lechero familiar.	Toma de muestras de forraje. Secado del forraje tomado esto se debe dejar por 3 días bajo la luz del sol. Cálculo de la biomasa.	-Biomasa	Se caracterizara la cantidad de producción de biomasa forrajera en la zona.

OBJETIVO	ACTIVIDADES	METODOLOGIA	RESULTADOS
ESPECIFICO 3			
Correlacionar los datos suelo-forraje-producción en los sistemas de producción lechero familiar.	Evaluar el efecto combinado de múltiples factores físicos los que son el suelo, la biomasa del forraje, la producción de leche.	Análisis estadístico	Relacionar suelo-forraje-producción lechera.

7. FUNDAMENTACION CIENTIFICA TECNICA

7.1 Producción lechera en el Ecuador

La leche constituye un alimento de alto valor nutricional debido a su aporte significativo de vitaminas liposolubles e hidrosolubles, entre ellas A, B12 y D, así como minerales esenciales como calcio, fósforo, potasio, magnesio, selenio, yodo y zinc. Desde el punto de vista productivo, el sector lácteo centra su actividad en la obtención de leche cruda y en su posterior transformación en derivados tales como queso, yogur y mantequilla (Ionita, 2022).

En el contexto ecuatoriano, la producción diaria de leche cruda alcanza aproximadamente 6,15 millones de litros, según reportes oficiales (INEC, 2020). Esta actividad constituye un pilar socioeconómico relevante, ya que genera ingresos para cerca de 1,2 millones de personas vinculadas directa e indirectamente a la cadena productiva (Ionita, 2022).

7.2 Forraje

El forraje destinado a la alimentación animal comprende tejidos vegetales cuya composición estructural se caracteriza por un alto contenido de polisacáridos estructurales, principalmente celulosa y hemicelulosa. Estos compuestos pueden ser degradados por los herbívoros gracias a la acción de la microbiota presente en su sistema digestivo, especialmente en el rumen. Generalmente, el forraje está constituido por hojas y tallos, y en ciertos casos por raíces, destacándose por su considerable volumen. Las fracciones verdes suelen asociarse con mayor contenido de fibra; no obstante, a medida que la planta madura, se incrementa la lignificación de los tejidos, reduciendo su digestibilidad debido al aumento de lignina estructural no degradable (Ceva, 2021).

Desde el punto de vista botánico y nutricional, las especies forrajeras se agrupan principalmente en gramíneas y leguminosas. Las gramíneas se caracterizan por presentar elevados niveles de fibra y una adecuada concentración energética, aunque su contenido proteico suele ser limitado. En contraste, las leguminosas aportan mayores concentraciones de proteína, pero con menor proporción de fibra estructural y energía disponible. Por esta razón, en la formulación de dietas para bovinos es recomendable la inclusión equilibrada de ambos grupos, empleándose comúnmente paja de cereales y heno de alfalfa como fuentes representativas. Asimismo, en sistemas de praderas cultivadas, la combinación de gramíneas y leguminosas resulta estratégica, ya que estas últimas contribuyen a la fijación biológica de nitrógeno, favoreciendo la fertilidad del suelo y el crecimiento de las gramíneas (Ceva, 2021).

7.3 Suelo

El suelo corresponde al horizonte superficial de la corteza terrestre donde se desarrolla el sistema radicular de las plantas y desde el cual estas obtienen agua y nutrientes esenciales para su crecimiento y adecuado estado fisiológico. Está constituido por la interacción de partículas minerales derivadas de la meteorización de la roca madre, materia orgánica en distintos grados de descomposición, agua, aire y una amplia diversidad de organismos vivos que participan activamente en los procesos biogeoquímicos (Osorio, 2022).

7.4 Propiedades físicas del suelo

Las características físicas del suelo desempeñan un papel determinante en su aptitud para los distintos usos productivos a los que es sometido. Estas propiedades condicionan aspectos fundamentales como la resistencia mecánica, la capacidad de soporte, la penetración del sistema radicular y la circulación de aire dentro del perfil. Asimismo, influyen directamente en la dinámica del agua, incluyendo su infiltración, drenaje y almacenamiento, así como en la estabilidad estructural, plasticidad y disponibilidad de nutrientes para las plantas. El conocimiento de estos atributos resulta indispensable para quienes gestionan recursos edáficos, ya que permiten comprender cómo el estado físico del suelo incide en el crecimiento y desarrollo vegetal. De igual manera, facilitan la evaluación del impacto que las prácticas antrópicas pueden generar sobre su estructura y funcionamiento. La intervención humana, mediante actividades agrícolas o pecuarias, puede alterar significativamente estas condiciones, afectando la productividad y sostenibilidad del sistema (García, 2022).

7.5 Textura del suelo

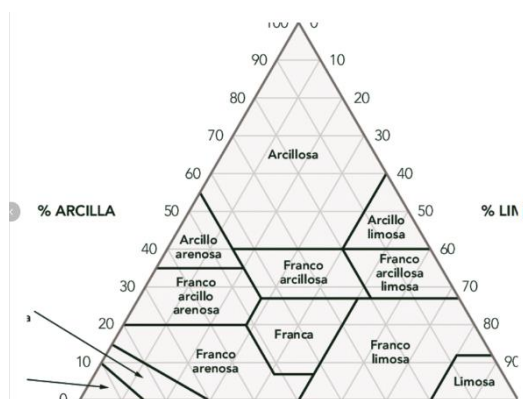
La textura del suelo constituye una de sus propiedades físicas más relevantes, ya que describe la proporción relativa de las fracciones granulométricas que lo componen, específicamente arena, limo y arcilla, correspondientes a partículas con un diámetro inferior a 2 mm. Esta característica condiciona múltiples procesos edáficos al estar directamente relacionada con el tamaño de las partículas minerales presentes en la fase sólida. Desde una perspectiva funcional, la textura puede entenderse como el conjunto de comportamientos físicos derivados de la distribución y dimensión de sus partículas, lo que influye en la retención de agua, la aireación, la permeabilidad y la capacidad de intercambio de nutrientes. Debido a su origen ligado al material parental y a los procesos de formación del suelo, se considera una propiedad relativamente estable a lo largo del tiempo (Corbella, 2023).

7.6 Clases de texturas

En condiciones naturales, los suelos no están constituidos por una única fracción granulométrica, sino por la combinación de arena, limo y arcilla en proporciones variables. La relación cuantitativa entre estas fracciones determina la clase textural, la cual permite clasificar el suelo según su comportamiento físico. Estas clases se agrupan en categorías que derivan de las

denominaciones texturales básicas. Un suelo se considera predominantemente arenoso cuando la fracción arena supera el 85 %, lo que le confiere alta permeabilidad y baja retención de agua. Por el contrario, se clasifica como arcilloso cuando el contenido de arcilla es superior al 40 % y la proporción de arena no excede el 45 %, condición que favorece mayor cohesión y capacidad de retención hídrica. En el caso de los suelos francos, estos presentan una distribución más equilibrada de partículas gruesas y finas, generalmente con menos del 52 % de arena y entre 7 % y 27 % de arcilla, lo que les otorga propiedades intermedias en términos de drenaje, aireación y disponibilidad de agua (Corbella, 2023).

Figura 1. Composición y límites de las doce clases texturales



Fuente: USDA. (n.d.). *Soil Texture Triangle*. Natural Resources Conservation Service.

7.7 Compactación del suelo y sus indicadores

La densidad aparente como indicador de la compactación es mayor a medida que aumenta la carga animal, puesto que un suelo sometido a una determinada presión, ocasiona una reducción en su volumen y como consecuencia trae un aumento en su densidad aparente. En el SSP comparado con la PAS, se manejan ambos de manera extensiva, y no se realiza un manejo del pastoreo adecuado, como la rotación de potreros, tendiendo ambos a problemas de compactación por lo tanto alcanzaron el nivel crítico de densidad aparente de 1.31 y 1,23 g/cm³. La compactación ocasionada por el pisoteo del animal depende principalmente de la clase de suelo, del contenido de humedad, carga animal y de la especie forrajera, siendo generalmente localizada en áreas de mayor movimiento como búsqueda de agua o alimento (Alejandra, 2020).

7.8 Prueba de cinta

La prueba de cinta (en inglés, *ribbon test*) es un método manual de campo usado para estimar la textura del suelo. Consiste en tomar una muestra húmeda, formar una bola (*bolus*) con las manos y presionarla entre los dedos para crear una cinta. La longitud de esta cinta y la sensación al tacto permiten estimar el contenido relativo de arcilla, limo y arena (Giddings, 2022).

7.8.1 Fiabilidad de la prueba

La precisión de este método depende en gran medida de la experiencia del operador. Según un estudio comparativo entre expertos y principiantes, los profesionales del suelo lograron una exactitud del 50 % en la identificación de la textura, mientras que los novatos apenas alcanzaron el 40 % (Giddings, 2022).

Los errores más comunes ocurren al estimar la longitud de la cinta, más que al evaluar la rugosidad. Las clases texturales como *silty loam* son más difíciles de identificar correctamente. Además, no hay control estándar de la humedad, lo que introduce una alta variabilidad en los resultados (Giddings, 2022).

7.9 Densidad del suelo

La densidad del suelo constituye una propiedad física esencial que expresa la relación existente entre la masa y el volumen de un cuerpo edáfico. Este parámetro permite evaluar el grado de compactación y la disposición de las partículas sólidas dentro del perfil del suelo, influyendo directamente en procesos como la porosidad, la infiltración y el crecimiento radicular. (Corbella, 2023).

7.9.1 Densidad de las partículas

La densidad de partículas (DP), también denominada peso específico real (PER), corresponde a la relación entre la masa de la fracción sólida del suelo y el volumen que esta ocupa, excluyendo completamente los espacios porosos. Este parámetro refleja exclusivamente las características de los componentes minerales y orgánicos presentes en la matriz sólida. Generalmente se expresa en unidades de g/cm^3 o t/m^3 (Corbella, 2023).

7.9.2 Densidad aparente

La Densidad Aparente (DA) o Peso Específico Aparente (PEA) es la relación entre la masa del suelo seco y el volumen total del mismo, incluyendo el espacio poroso. Sus unidades de medida son las mismas de la DP. Es una característica del suelo que reviste importancia para el agrónomo pues, a través de ella, se puede calcular el espacio poroso total, transformar la humedad gravimétrica en volumétrica, conocer el peso de la capa arable, para calcular láminas de riego, etc. Entre los factores que alteran la Densidad Aparente de un suelo, se encuentra la textura, la estructura, la compactación, la materia orgánica, la actividad biológica y la composición mineralógica del suelo (Corbella, 2023).

7.10 Método del hoyo de volumen conocido

El método del hoyo de volumen conocido (también llamado *sand-cone method* o método de cono de arena) se utiliza para calcular la densidad aparente del suelo directamente en campo. Este procedimiento consiste en excavar un hoyo de forma controlada, recolectar el suelo extraído, secarlo al horno para obtener su peso seco, y medir el volumen del hoyo usando arena calibrada o dispositivos de membrana inflable (Chirinos, 2022).

7.10.1 Fiabilidad del método

Este método es altamente confiable si se realiza correctamente. Comparado con métodos como el cilindro volumétrico o el clod (técnica del terrón encerado), el hoyo de volumen conocido ofrece resultados similares a los obtenidos en laboratorio (Chirinos, 2022).

La variación en los resultados suele ser inferior al 5 % si se utilizan arenas calibradas, instrumentos certificados y técnicas apropiadas. Además, se ha demostrado que es un método eficaz para suelos con textura media a fina, especialmente en contextos agrícolas y de construcción (Chirinos, 2022).

7.11 Infiltración de agua

La infiltración del agua en el suelo constituye un proceso fundamental para el funcionamiento del sistema edáfico, ya que permite el establecimiento y mantenimiento de sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa. El agua conforma la fase líquida y resulta indispensable para la

dinámica biológica y química del suelo; en su ausencia, este se reduciría a una matriz mineral acompañada de aire, sin actividad biológica significativa (Corbella, 2023).

7.12 Porosidad

La porosidad es una de las propiedades físicas que describe la proporción y distribución de los espacios vacíos que se presentan en el suelo, los poros son los que constituyen el medio donde se realiza diferentes procesos físicos y biológicos. Esta característica influye directamente en el almacenamiento de agua. (Corbella, 2023).

7.13 Método de la esponja

El esponjamiento del suelo es el aumento del volumen del suelo una vez que ha sido removido de su posición original. Este cambio ocurre porque, al ser excavado, el suelo pierde su compactación natural y se mezcla con aire, aumentando su volumen. Este fenómeno es importante en construcción y agricultura porque afecta los cálculos de volumen y transporte de material. El método consiste en comparar el volumen del suelo en banco (compacto, sin excavar) con el volumen del suelo excavado (suelto) (Fernández, 2021).

7.13.1 Fiabilidad del método

Este método es fiable siempre que se midan con precisión los volúmenes antes y después de la excavación. No obstante, puede haber errores si:

- Se altera la humedad del suelo.
- El suelo es muy pedregoso o suelto.
- No se mide correctamente el volumen excavado (Fernández, 2021).

7.14 Biomasa

La biomasa se cuenta a la elemento orgánico de origen animal o vegetal que puede ser traída como origen de energía, tanto directa como indirectamente. Incluye residuos como estiércol, paja, restos de cosechas, y otros subproductos de la actividad ganadera. Esta biomasa puede ser aprovechada para generar calor, electricidad, o incluso biocombustibles, ofreciendo una alternativa renovable a los combustibles fósiles (Corbella, 2023).

7.15 Pasto

Los pastizales principalmente se originan en donde se realiza producción agrícola en esta se presenta limitaciones asociados con factores hídricos los cuales presentan baja fertilidad del suelo, estas deficiencias presentes favorecen el predominio de sistema basado en vegetación herbácea que se adapta muy bien a condiciones ambientales que varían (Gutiérrez, 2020).

7.16 Relación entre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento del forraje

Las condiciones físicas de la superficie como la textura, densidad aparente, porosidad, estructura y capacidad de infiltración desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y rendimiento de los cultivos forrajeros. Estas propiedades determinan el movimiento del agua y del aire en el perfil del suelo, así como la capacidad de las raíces para desarrollarse, absorber nutrientes y sostener la producción de biomasa. En los sistemas de producción lechera familiar, donde el forraje representa la base alimenticia del ganado, estas condiciones edáficas cobran particular importancia (Zambrano, 2024).

La distribución porcentual de arena, limo y arcilla determina la textura del suelo, propiedad que condiciona su comportamiento físico e hidráulico. Esta característica incide de manera directa en la capacidad de almacenamiento de agua, el intercambio gaseoso dentro del perfil y la resistencia mecánica que enfrentan las raíces durante su desarrollo. En contraste, los suelos con textura fina (arcillosa) tienden a presentar baja infiltración y alta compactación, lo cual limita el acceso del agua a las raíces y puede provocar encharcamientos, afectando negativamente el desarrollo del pasto. Por otro lado, suelos arenosos o de textura gruesa presentan una infiltración muy alta, pero retienen poca agua útil, lo que exige un manejo hídrico intensivo para evitar el estrés hídrico en las plantas (FAO, 2016).

La densidad aparente es otra propiedad crítica. Valores altos (superiores a 1.4 g/cm^3) indican compactación, lo que reduce la porosidad total y restringe el crecimiento de las raíces, la aireación y la infiltración del agua. Por el contrario, una baja densidad aparente mejora la penetración radicular y el almacenamiento de agua en el perfil del suelo. A esta propiedad se suma la porosidad total, que debe superar el 40 % para asegurar un balance adecuado entre aire y agua en el suelo. Suelos con buena porosidad permiten un crecimiento más profundo de las raíces, lo

que se traduce en mayor resistencia a sequías y mejor absorción de nutrientes esenciales (FAO, 2016).

La infiltración del agua, es decir, la velocidad con la que el agua de lluvia o riego entra en el suelo, es clave para evitar escorrentía y erosión. Una infiltración adecuada permite el aprovechamiento del recurso hídrico, mientras que valores bajos, típicos en suelos compactados o con costras superficiales, generan pérdidas de agua por escurrimiento superficial y disminuyen la eficiencia del riego. Además, la baja infiltración limita el desarrollo de raíces profundas y puede provocar deficiencias nutricionales y fisiológicas en el forraje (FAO, 2016).

7.17 Factores que determinan la producción de biomasa

La elaboración de biomasa forrajera está determinada por la interacción entre diversos factores edáficos, climáticos y biológicos que regulan el crecimiento de las plantas en un sistema productivo. Entre ellos, las propiedades físicas del suelo conteniendo textura, estructura, densidad aparente, porosidad y retención de agua constituyen la base sobre la cual la planta establece su sistema radicular y accede a agua y nutrientes. A esto se suma la disponibilidad de elementos esenciales, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio, que intervienen en procesos metabólicos determinantes como la fotosíntesis, la producción de tejido vegetal y el rebrote. Las condiciones climáticas, como temperatura, radiación solar y distribución de lluvias, actúan como moduladores directos de la actividad fisiológica de los forrajes, pudiendo favorecer su crecimiento o, en escenarios adversos, reducir significativamente la acumulación de materia seca (Elizondo, 2016).

Complementariamente, factores asociados al manejo del cultivo o pastizal influyen decisivamente en la productividad. La carga animal, el tiempo de ocupación y descanso de las praderas, y la altura de pastoreo determinan la capacidad del forraje para regenerarse y mantener reservas fisiológicas. La elección adecuada de la especie forrajera también condiciona el rendimiento, puesto que cada planta posee características genéticas que definen su capacidad de adaptación a suelos, climas y niveles de intervención productiva. Finalmente, la presencia de malezas, plagas o enfermedades ejerce presión competitiva sobre el cultivo, restando nutrientes, suelo disponible y potencial fotosintético. La combinación de todos estos factores explica las variaciones observadas en la producción de biomasa, reafirmando que el rendimiento forrajero es el resultado de un sistema complejo que requiere manejo integral y sostenible (Elizondo, 2016).

7.18 Influencia del suelo sobre el desarrollo del forraje

La influencia del suelo en el desarrollo del forraje es crucial, ya los factores físicos (textura, aireación), químicos (nutrientes, pH) y hídricos (agua) determinan la cantidad y calidad del forraje, afectando el desarrollo radicular y la fotosíntesis; suelos sanos con buen equilibrio hídrico y nutrientes proveen forraje nutritivo para el ganado, mientras que suelos degradados o con problemas de salinidad/alcalinidad limitan el crecimiento y la nutrición animal, impactando la producción ganadera (Pérez, 2012).

7.19 Interacción entre propiedades físicas y rendimiento forrajero

La interacción entre propiedades físicas y rendimiento forrajero es crucial: las propiedades del suelo (textura, estructura, pH, retención de agua) y del tallo de la planta (diámetro, densidad, fuerza de corte) afectan directamente la disponibilidad de nutrientes, el incremento y la disposición del forraje, impactando la eficiencia de cosecha, el valor nutricional y la producción total, siendo clave un manejo adecuado del suelo y la selección de genotipos para optimizar el rendimiento y la calidad animal (Lopez, 2023).

7.19.1 Propiedades Físicas del Suelo y su Impacto:

Textura y Estructura: Suelos con buena estructura (buena aireación y retención de humedad) mejoran la impregnación de alimentos y el progreso radicular, aumentando la eficiencia de la fertilización.

pH y Toxicidad: Suelos muy ácidos (pH bajo) pueden causar toxicidad por aluminio y deficiencias de Calcio y Fósforo, afectando el crecimiento y requiriendo encalado para optimizar la medio de nutrientes.

7.20 Importancia socioeconómica en Ecuador y Cotopaxi

La investigación desarrolla un análisis socioeconómico del sector lácteo en las provincias que conforman la Zona 3 del Ecuador: Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo y Pastaza. El propósito central consistió en evaluar la incidencia de diversas variables económicas y productivas en el comportamiento del sector dentro de cada territorio. Entre los indicadores considerados se incluyeron el precio de la leche cruda, el volumen total de producción, el Índice de Precios al Consumidor (IPC), el costo de la canasta familiar, la cantidad de vacas en ordeño y el número de

bovinos destinados a producción lechera. Estos factores fueron analizados con el fin de determinar su relación con el desempeño económico y productivo del sector (Aimara, 2025).

7.21 Sobrepastoreo

La intensidad del pastoreo constituye un factor determinante en la modificación de las propiedades físicas del suelo, especialmente en lo referente a su contenido y dinámica de humedad, elementos esenciales para la productividad agropecuaria y la estabilidad ecológica. Cuando la carga animal excede la capacidad de soporte del terreno, el pisoteo continuo provoca compactación, alterando la estructura y reduciendo el volumen de macro poros. La disminución de la porosidad afecta directamente la infiltración del agua, limitando su ingreso al perfil edáfico y favoreciendo el aumento de la escorrentía superficial. Como consecuencia, se reduce la disponibilidad hídrica para las plantas y se incrementa la vulnerabilidad del suelo frente a procesos erosivos. Diversas investigaciones evidencian que los sistemas con manejo inadecuado pueden presentar reducciones significativas en la tasa de infiltración en comparación con esquemas de pastoreo rotacional, donde la presión animal se distribuye de manera más equilibrada y se permite la recuperación del suelo (García, 2025).

8. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

Se realizará visitas mensuales a cada uno de los predios de los productores familiares vinculados al programa UTCgen en el cantón Salcedo. En estas visitas se realizará análisis in situ de las propiedades físicas del suelo, biomasa vegetal y producción de leche.

8.1 Propiedades físicas del suelo

1. Textura del Suelo

Método:

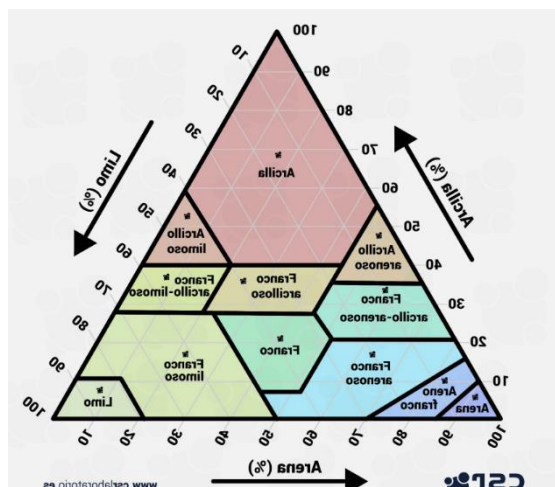
Materiales: Pala, recipiente con agua, limones, bicarbonato, vaso de precipitación.

Pasos:

1. Toma un vaso de precipitación de 600 ml de capacidad y llena con muestra de tierra hasta 300 ml.
2. Coloca 300 ml de agua (H₂O).
3. Coloca 25 ml de ácido cítrico y mezclamos.
4. Agrega 5 g de hidrogenocarbonato de sodio (NaHCO₃) y mezclamos.
5. Déjalo reposar 2 horas para poder observar.

INTERPRETACION

Una vez pasado el tiempo de reposo el total del suelo llega a equivaler el 100%, hay que observar guiándonos en las medidas en ml del vaso de precipitación, por ejemplo si el total del suelo es de 400 ml y la cantidad de arena es de 100 ml el porcentaje de arena representa al 25% de arena, de 100 a 350 ml representa al limo que equivale al 63% y el restante que es de 350 a 400 ml representa a arcilla en un 12%, una obtenido estos datos nos guiamos en el triángulo estructuras de United States Department of Agriculture (USDA) y obtenemos que textura tiene nuestro suelo.



Fuente: USDA. (n.d.). *Soil Texture Triangle*. Natural Resources Conservation Service.

8.2 Densidad aparente

Método: "Del hoyo de volumen conocido"

Materiales: Cuchara, regla, bolsa plástica, balanza (puede ser de cocina).

Pasos:

1. Excava un hoyo (10x10x10 cm = 1000 cm³) y guarda TODO el suelo extraído en una bolsa.
2. Seca el suelo al sol por 2 días y pésalo (ej. 1300 g).
3. Calcula:

Interpretación:

- **>1.6 g/cm³:** Muy compactado (raíces no crecen bien).
- **1.2–1.4 g/cm³:** Ideal para pastos.

8.3 Infiltración de agua

Método: "Del vaso o lata", tres por hectárea.

Materiales: Lata de conserva (sin tapa y sin fondo), agua, cronómetro (celular).

Pasos:

1. Clava la lata 5 cm en el suelo
2. Vierte 500 ml de agua y toma el tiempo.

Interpretación:

- Suelos con infiltración lenta requieren drenaje o cultivos tolerantes a encharcamiento.

8.4 Porosidad**Método: "De la esponja"**

Materiales: Muestra de suelo, recipiente con agua.

Pasos:

1. Toma un terrón seco de suelo 100 gramos y sumérgelo en agua por 1 minuto.
2. Sácalo y observa:

Se contará las burbujas

8.5 Biomasa**Pasos:**

1. **Selecciona un área representativa** del potrero (evita bordes y zonas con sombra/agua).
Seis muestras al azar por hectárea
2. **Marca un cuadrante de 0,50 m²** (0,50m × 0,50m) usando la cuerda.
3. **Corta todo el forraje** dentro del cuadrante **a ras de suelo**.
4. **Pesa el forraje fresco** (en kg) y registra:
 - **Peso húmedo total:** Ejemplo: 2.5 kg/m².
 - **Si es posible, seca una submuestra al sol** (3 días) para estimar materia seca (MS).

Cálculo:

- **Biomasa (kg MS/m²)** = Peso fresco × % MS.
- **Producción por hectárea** = Biomasa × 10,000.

Interpretación de Resultados

1. Diseño del estudio

- **Tipo de investigación:** Cuantitativa, correlacional y explicativa.
- **Enfoque:** Mecanicista-empírico adaptado al contexto agropecuario.
- **Unidad de análisis:** Parcelas productoras de leche con pasturas establecidas.

2. Selección de zonas de estudio

- Comunidades representativas del cantón Salcedo: Mulliquindil.

3. Caracterización de las propiedades físicas del suelo

- **Textura:** Método del hidrómetro.
- **Densidad aparente:** Método del cilindro.
- **Infiltración:** Método del infiltrómetro de tensión.
- **Temperatura y humedad:** Sensores digitales en campo.
- **Profundidad efectiva:** Medición directa con barreno.

4. Evaluación de la producción de forraje

- **Biomasa aérea:** Corte en cuadrantes de 0,50 m².
- **Frecuencia de corte:** Cada hectárea se debe tomar 6 muestra de forraje seleccionadas al azar.
- **Especies predominantes:** Ryegrass, trébol, kikuyo.
- **Contenido de materia seca:** Secado en estufa a 65 °C.

5. Análisis estadístico

- **Estadística descriptiva:** se representará mediante gráficos y tablas las medidas de tendencia central y variabilidad de cada uno de los factores cuantitativos.

- **Correlación de Pearson:** Para valorar la correspondencia entre variables cuantitativas físicas del suelo y producción de forraje.
- **Análisis de Aparatos Principales:** Se realizará este análisis para comprimir la dimensionalidad de los datos y encontrar patrones ocultos entre las variables físicas del suelo, la biomasa y la producción de leche.

Diseño Factorial: Diseño factorial completa se consideran múltiples factores de manera simultánea, tanto cuantitativos como cualitativos, para analizar sus efectos principales y las interacciones entre ellos.

Modelo estadístico: ANOVA factorial (Análisis de Varianza) para determinar significancia de efectos principales e interacciones.

El análisis estadístico se realizará con el software R (versión 4.3.1; R Core Team, 2023), utilizando los paquetes.

9. HIPÓTESIS

9.1 Hipótesis Nula

Las propiedades físicas del suelo no ejercerán una influencia estadísticamente significativa sobre los diferentes parámetros productivos del forraje que se cultiva y que es utilizado como alimento para el ganado bovino lechero.

9.2 Hipótesis Alternativa

Las propiedades físicas del suelo influirán de manera directa en los parámetros de producción del forraje cultivado y utilizado como alimento para el ganado bovino lechero en el cantón.

10. RESULTADOS

Se analizaron 24 muestras de suelo provenientes de 6 productores diferentes, distribuidos en 2 tipos de terreno. El diseño maestro presentó una estructura jerárquica con diferentes niveles de observación (Tabla 1).

Tabla 1 Estructura

Nivel	Factor	Numero de niveles	Observaciones
1	Productores	6	Colaboradores
2	Terrenos	2	Tipos de suelo
3	Muestras	24	Replicas por combinación

Fuente: (Medina D, 2026).

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Tabla 2 Estadístico descriptivo general de las propiedades el suelo analizadas

Variable	n	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variación (%)
Densidad aparente (g/cm ³)	24	1.14	0.08	0.08	1.26	7.0

Infiltración de agua	de	24	28.21	4.54	21.00	39.00	16.1
Porosidad (%)		24	10.83	2.85	5.00	17.00	26.3
Biomasa		24	0.06	0.06	0.20	0.40	24.0
Biomasa hectárea	por	24	2404.85	582.17	1528.90	3660.00	24.2

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

La tabla 2 nos muestra el análisis correspondiente donde obtenemos como resultado que la porosidad presentó la mayor variabilidad relativa con un (CV= 26.3 %) lo que nos indica que entre los lugares que fueron analizados existe una alta variabilidad por diferentes técnicas de manejo del suelo, al igual que la biomasa con una variabilidad relativa de (CV= 24 %) nos dice que existe una alta diferencia entre la cantidad de biomasa que se produce ya que depende del terreno y de la forma que lo mantienen, en cambio la infiltración de agua con una variabilidad de (CV= 16.1%) no existe una variabilidad muy notable esto se debe a que todos los terrenos de esa zona tienen la misma textura de suelo y por último la densidad aparente con un coeficiente de (CV= 7.0%) nos dice que no existe una variación muy prolongada ya que todos estos datos tomados entraban en el rango de densidad aparente ideal de ese tipo de suelo.

Diferencia entre los terrenos analizados

Tabla 3 Variables principales

Productor	Numero de muestras	Media Densidad (1.3g/cm³)	Media Infiltración (min)	Media Porosidad (ml)	Mediana Biomasa (g)
1	6	1.19	24.8	13.0	2373.3
2	3	1.04	27.0	10.0	2604.3
3	6	1.11	31.2	9.5	2484.6
4	3	1.23	27.0	13.3	2066.4
5	3	1.15	28.3	10.0	2512.2

6	3	1.07	31.3	7.7	2340.8
---	---	------	------	-----	--------

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

La tabla 3 nos muestra que el productor 4 presenta una mayor densidad de entre todos en cambio el productor 2 presenta la densidad más baja, pero no hay que inquietarse ya que todos los resultados entran en el rango ideal de densidad aparente. En la infiltración el productor 3 y 6 tienen los niveles más altos de tiempo de penetración del agua en la tierra esto aparentemente se debe por la compactación del suelo ya que tienen a sus animales demasiado tiempo en un solo lugar. En la porosidad podemos observar que el productor 6 tiene el nivel más bajo de nuestra tabla esto se debe a que la estructura del tierra es franco arenoso y los suelos arenosos tienen las partículas pequeñas lo que evita que deje espacios de aire que luego son llenados con agua. En la biomasa producida tenemos que todos los productores no tienen una diferencia significativa en lo que es cantidad de biomasa producida.

Diferencia entre terrenos de un mismo propietario

Tabla 4 Comparación entre terrenos de productor 1

Variable medida	Terreno 1	Terreno 2	Diferencia
Densidad aparente	1.21	1.18	0.03
Infiltración del agua	23.67	26.00	-2.33
Porosidad	15.33	10.67	4.67
Biomasa	2183.33	2563.33	-380.00

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

La tabla 4 muestra los análisis obtenidos dejando como resultado que en la densidad aparente no existe una variación muy amplia por lo que los dos entran en el rango de una densidad aparente ideal, en la infiltración del agua se observa que el terreno 2 tiene un mayor tiempo de

demora de absorción de agua en la tierra esto se debe a que más tiempo pasan los animales en ese terreno, en la porosidad observamos que al igual que en el anterior análisis el terreno uno tiene una menor porosidad que al igual se debe a que el ganado bovino se mantiene la mayoría del tiempo en ese terreno, en cambio en la biomasa se observa una diferencia no tan significativa pero el terreno dos tiene un poco más de producción de biomasa esto se puede dar ya que lo cuidan con diferentes parámetros que al terreno 1 ya que ahí pasan la mayoría de tiempo.

Tabla 5 Comparación entre terrenos de productor 3

Variable medida	Terreno 1	Terreno 2	Diferencia
Densidad aparente	1,10	1.13	-0.3
Infiltración del agua	34,33	28.00	6.33
Porosidad	9,00	10.67	1.67
Biomasa	2835,90	2132.57	703.33

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

La tabla 5 muestra el análisis realizado donde obtenemos como resultados que en la densidad aparente no existe una diferencia significativa entre ambos terrenos y entran en el rango de una densidad aparente normal, en la infiltración del agua observamos que el terreno 1 existe mayor tiempo de demora en el suelo al absorber el agua esto se debe a que existe mayor cantidad de compactación producida por el paso del ganado, en la porosidad podemos observar que no existe una diferencia tan marcada es mínima pero esta diferencia es producida porque en el terreno 1 existe más paso de ganado que en el terreno 2, en la producción de biomasa observamos que existe una pequeña diferencia pero esto se debe a que existe mayor cuidado a ese terreno.

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA DE DOS FACTORES)

Densidad aparente

Tabla 6 ANOVA para densidad aparente

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Valor F	p-valor
Productor	0.0847	5.141	*0.0053*
Terreno	0.000004	0.001	0.9724
Productor * Terreno	0.0032	0.962	0.3414

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

La tabla 6 muestra el análisis correspondiente donde obtenemos como resultado que existe una diferencia significativa (< 0.05) en la densidad aparente entre los productores esto significa que la técnica que utiliza cada productor para manejar su suelo influye de manera directa en la compactación del suelo.

En el caso del terreno y la combinación de productor * terreno se observa como resultado una diferencia no significativa (> 0.05) lo que nos dice que aunque los terrenos se encuentren en diferentes ubicaciones los productores no tienen resultados muy desiguales entre ellos.

Prueba post-hoc para densidad aparente

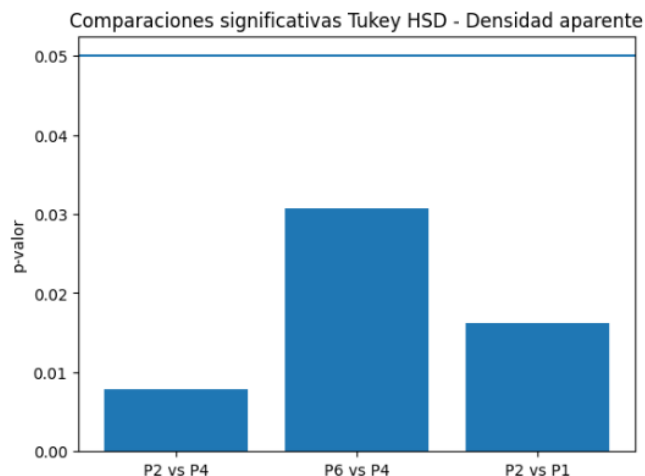
Luego de haber realizado el análisis entre los productores que tienen mayor diferencia significativa obtuvimos las siguientes comparaciones:

Tabla 7 Comparación entre los productores

Productor 2 * Productor 4	Diferencia significativa	P= 0.0079
Productor 6 * Productor 4	Diferencia significativa	P= 0.0307
Productor 2 * Productor 1	Diferencia significativa	P= 0.0162

Fuente: (Medina D, 2026).

Figura 1. Comparaciones post hoc Tukey HSD para la densidad aparente entre productores.



Interpretación

La figura 1 muestra como resultados que entre el productor 2 con el productor 4 existe una diferencia significativa claramente distinta por lo que es la más marcada entre todas las comparaciones realizadas, en la segunda comparación que es del productor 6 con el productor 4 tenemos una diferencia significativa no muy marcada esto se puede dar ya que tienen un manejo del suelo poco distinto y comparten ciertas técnicas, en la tercera comparación del productor 2 con el productor 1 existe una diferencia notable pero no muy marcada entre los dos productores.

Porosidad

Tabla 8 ANOVA para porosidad

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Valor F	p-valor
Productor	87.17	4.404	*0.0103*
Terreno	6.75	1.705	0.2101
Productor*Terreno	30.08	7.600	*0.0140*

Fuente(Medina D, 2026).

Interpretación

La tabla 8 nos muestra que en la porosidad del suelo se observa diferencias significativas entre los productores ($p = 0.0103$), lo deja como evidencia la influencia que tiene el manejo diferente de los forrajes sobre la estructura y ventilación del suelo. En el factor terreno no muestra una diferencia significativa ($p = 0.2101$). En cambio en la interacción realizada entre productor*terreno fue significativa ($p = 0.0140$) llegando a la conclusión que la porosidad depende tanto del manejo que tienen los productores como del sitio específico en donde se encuentra el terreno y que el desempeño entre los productores no son uniformes debido a sus terrenos.

MODELOS DE EFECTOS MIXTOS

Modelo para densidad aparente

Tabla 9 Modelo mixto

Modelo	Densidad-Terreno + (1 Productor)
Efecto fijo de terreno	No significativo ($p = 0.08698$)
Varianza del efecto aleatorio (productor)	0.003864

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

En la tabla 9 observamos que el modelo mixto reveló que en el efecto fijo terreno obtuvo un resultado de ($p = 0.08698$), lo que nos dice que no tiene una influencia significativa sobre la densidad aparente. Al contrario de la varianza asociada al efecto aleatorio del productor con un resultado de (0.003864) le indica que este factor estudiado explica una proporción significativa de la variabilidad observada, esto nos dice que las diferencias en prácticas de manejo y control implementadas de diferente manera por los productores impacta de forma significativa a la densidad aparente del suelo mientras que las características propias del terreno no contribuyen de manera relevante.

Modelo para biomasa por hectárea

Tabla 10 Modelo estadístico

Modelo	Biomasa/ha-Terreno + (1 Productor)
Efecto fijo de terreno	No significativo (p= 0.7891)
Varianza del efecto aleatorio (productor)	0

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

En la tabla 10 observamos que la biomasa por hectárea no cambia de manera significativa entre los terrenos esto se debe a que en los lugares donde se tomó las muestras se presentó valores similares de biomasa, así mismo el efecto aleatorio del productor es prácticamente nulo lo que nos indica que ningún productor a implementado un manejo que le brinde mejores resultados todos obtienen resultados similares ya que la biomasa se mantiene relativamente constante entre los productores y terrenos.

Análisis de correlaciones

Tabla 11 Matriz de correlación general entre variables

Variabilidad 1	Variabilidad 2	Coefficiente (r)	Interpretación
Infiltración	Porosidad	0.684	*Correlación positiva fuerte*
Densidad aparente	Porosidad	-0.779	*Correlación negativa fuerte*
Biomasa	Biomasa/ha	0.880	*Correlación positiva muy fuerte*
Densidad	Infiltración	-0.424	*Correlación negativa moderna*

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

La tabla 11 nos muestra las correlaciones que existen con patrones claros entre las propiedades del suelo, la relación negativa moderada que existe entre densidad aparente e infiltración concuerda totalmente con la literatura de los libros ya que la compactación reduce la entrada de agua al suelo. La correlación muy fuerte que existe entre biomasa y biomasa/ha validan las consistencias de las mediciones de la productividad. La asociación entre porosidad con densidad e infiltración nos puede indicar de manera dinámica estructuras complejas que podrían estar influenciadas por factores que no entran en nuestro estudio los cuales podrían ser manejo o estabilidad estructural.

Análisis de componentes principales (PCA)

Tabla 12 Varianza explicada por componentes principales

Componente	Terreno 1	Terreno 2
PC1	62.01%	63.67%
PC2	23.85%	23.05%
Cumulativa (PC1+PC2)	85.86%	86.72%

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

La tabla 12 nos dice que ambos terrenos presentan similitud entre su estructura variable también que no existe una diferencia marcada entre ambos terrenos, lo que significa que tan solo con dos componentes tomados al azar podemos entender casi un 87 % de toda la información de los dos terrenos entonces obtenemos información solo con PC1 y PC2 y no perdemos datos significativos de nuestro estudio.

Análisis de confiabilidad

Tabla 13 Coeficiente de variación (%) por productor y terreno

Productor	Terreno	CV densidad	CV infiltración	CV porosidad	CV Biomasa
1	1	2.02	10.6	9.96	14.4
1	2	3.93	20.4	23.6	33.4
3	1	1.48	14.7	11.1	7.66
3	2	7.33	14.3	14.3	30.9
6	1	7.81	11.2	39.8	31.5

Fuente: (Medina D, 2026).

Interpretación

La tabla 13 nos da como resultado que la densidad es el factor de estudio más confiable debido a que no tiene una variación casi no notoria y coincide con la literatura, en cambio la porosidad e infiltración tienen una variación muy significativa y esto se debe a las diferentes formas de manejo de suelo que depende únicamente de los productores, la biomasa tiene una variación normal y esto se debe a que los forrajes independientemente de los diferentes cuidados de los productores se mantienen en un crecimiento estándar.

El productor 3 en su terreno 1 es el que nos presenta los datos más confiables y consistentes dándonos como resultado que tiene un suelo uniforme, en cambio el productor 6 en su terreno 1 muestra los datos con mayor dispersión o variabilidad ya que depende mucho del manejo y control que se realiza en ese terreno.

Luego de haber analizado todos los datos que obtuvimos tenemos como resultado que en el cantón de Salcedo se presenta diversos problemas similares en los terrenos los cuales son la compactación del suelo, una producción estándar de biomasa y la falta de rotación de cultivos lo que afecta al suelo directamente. Este último desgasta solo a los componentes principales del suelo los cuales son N P K, todos estos problemas que se dan afectan de manera directa en la producción de leche ya que los animales están consumiendo biomasa de una calidad un poco baja causando así que el rendimiento de la leche no sea tan alto lo que afecta de manera grave a la economía del

sector, no es culpa del ganado bovino ya que los productores no explotan de manera adecuada este tipo de producción por la falta de conocimientos en la influencia directa que tiene el suelo con la producción de leche.

11. DISCUSION DE RESULTADOS

Tras analizar la Tabla 2, se observa que la porosidad del suelo presenta la mayor variabilidad en comparación con las otras propiedades medidas, lo cual concuerda con hallazgos recientes de la literatura científica. Esta variabilidad es atribuible principalmente a las diferentes técnicas de manejo agrícola aplicadas en cada terreno, lo que impacta directamente la estructura y funcionamiento del suelo. En este sentido, (Kousar, 2025) señala que la porosidad es altamente sensible a factores como la estructura del suelo, el manejo agrícola, el contenido de materia orgánica y las prácticas de labranza, lo que explica las diferencias observadas entre sitios muestreados.

Estudios actuales han demostrado que las prácticas agrícolas modifican drásticamente la porosidad, con efectos directos sobre funciones hidrológicas esenciales, como la infiltración y la conservación de agua, los investigadores han evidenciado que la incorporación de materia orgánica mejora la colocación del dimensión de las aberturas y aumenta la porosidad total, lo que favorece tanto el volumen de acumulación de agua como sus características de retención y movimiento en el perfil del suelo (Afifatul, 2024).

Asimismo, una meta-análisis global reciente indica que el uso de labores de cubierta domina la densidad aparente del suelo y aumenta la porosidad total, además de mejorar la infiltración del agua en comparación con suelos sin cubierta vegetal. Este tipo de prácticas pueden explicar variaciones significativas entre parcelas bajo diferentes sistemas de manejo (Afifatul, 2024).

Los resultados también concuerdan con estudios que relacionan la porosidad con la colocación de tamaños de aberturas y su conectividad, la cual determina cómo el agua y el aire se mueve dentro del suelo. Investigaciones recientes utilizando tomografía computarizada han mostrado que sistemas de manejo como agricultura integrada o prácticas de cultivo específicas alteran la arquitectura del espacio poroso, con implicaciones directas en la capacidad del suelo para conducir y retener agua (Gaspareto, 2024).

Además, esta variabilidad reflejada en nuestros datos puede estar asociada a diferencias en textura y manejo, como lo evidencia un estudio en tierras rojas donde la porosidad y conectividad de poros varió considerablemente entre usos del suelo, afectando la profundidad y eficiencia de la infiltración de agua (Gaspareto, 2024).

La literatura respalda que la porosidad es una propiedad altamente dinámica y dependiente del manejo, lo cual confirma que la variabilidad encontrada en nuestros datos no es un artefacto metodológico, sino una respuesta lógica ante las técnicas agrícolas aplicadas. En consecuencia, nuestros datos reflejan adecuadamente la realidad edáfica local y sirven de base para recomendar estrategias de manejo que optimicen la estructura física del suelo para funciones hidráulicas y productivas eficientes.

La biomasa producida en el suelo también exhibe una variabilidad notable entre los sitios estudiados, lo que refleja la influencia combinada de la heterogeneidad de la flora y las experiencias de manejo agronómico aplicadas. Según (Rubio, 2025), la variabilidad de la biomasa del suelo es un reflejo tanto de la diversidad de la vegetación como de la gestión agronómica incluyendo rotaciones de cultivos, entradas de residuos vegetales y estrategias de fertilización lo cual se alinea con la evidencia científica actual. Estudios recientes han demostrado que las entradas de biomasa aérea y las prácticas de manejo agrícola explican gran parte de las variaciones en los indicadores de salud física y biológica del suelo, ya que la acumulación de biomasa orgánica estimula la acción biológica y la formación de agregados del tierra, con implicaciones directas para la aptitud del suelo y su fertilidad.

Según literatura científica apoya esta relación estrecha entre manejo y biomasa microbiana; por ejemplo, una síntesis internacional sobre prácticas agrícolas encontró que la biomasa microbiana, aumenta significativamente con la fertilización orgánica, la reducción de laboreo y la diversificación de cultivos, mientras que prácticas intensivas convencionales tiene efectos menos positivo o incluso negativo sobre este indicador clave de salud del suelo. Esto sugiere que la variabilidad observada en nuestros datos no es aleatoria, sino que refleja las condiciones subyacentes del manejo agronómico local y la disponibilidad de sustratos orgánicos para la comunidad microbiana del suelo (Dunn, 2025).

Además, estudios globales sobre sistemas de rotación de cultivos han demostrado que la diversidad rotacional e inclusión leguminosa o cultivo de cobertura puede incrementar la biomasa microbiana y la diversidad bacteriana del suelo, al proporcionar distintos tipos de residuos vegetales y exudados de raíces que sirven de alimento para microorganismos del suelo. Estas prácticas llevan a un incremento sostenido en la biomasa microbiana del carbono y nitrógeno del

suelo, lo que a su vez mejora los procesos de período de sustentos y la organización de la superficie (Dunn, 2025).

Por tanto, la alta variabilidad observada en nuestros datos de biomasa edáfica acompaña y respalda los resultados reportados en la literatura científica actual, indicando que la falta de rotación de cultivos y la heterogeneidad en los aportes de residuos orgánicos están reduciendo o desequilibrando la biomasa del suelo en algunos sitios. Estos efectos pueden conllevar a un desgaste de componentes esenciales del suelo, como los microorganismos beneficiosos, y micronutrientes (NPK) afectando su función ecológica y su capacidad para sostener procesos productivos eficientes y sostenibles.

En cuanto al comportamiento de infiltración de agua en el suelo, los resultados obtenidos muestran una variación mínima entre los sitios evaluados, lo cual resulta coherente con la naturaleza relativamente homogénea de las texturas del suelo en las parcelas estudiadas. Tal como sostiene (Yosef, 2025), la infiltración está fuertemente controlada por factores intrínsecos del suelo como textura, estructura y porosidad, siendo la textura una de las propiedades más determinantes debido a que regula el tránsito del agua a través de la matriz del suelo. En sistemas con texturas similares, los rangos de infiltración tienden a mantenerse estrechos, debido a que las fracciones granulométricas (arena, limo y arcilla) presentan comportamientos hidráulicos comparables.

Estudios recientes confirman este patrón. Investigaciones realizadas en suelos agrícolas bajo con condiciones físicas semejantes reportan valores bajos de coeficiente de variación (CV) en los parámetros hidráulicos, incluido la infiltración, cuando no existen cambios marcados en textura ni en estructura del suelo. Esto sugiere que una menor variabilidad textural suaviza las diferencias espaciales en conductividad hidráulica, reduciendo la dispersión de valores entre sitios aparentemente similares. Asimismo, experimentos comparativos en regiones de agricultura intensiva demostraron que, aun cuando la porosidad pueda variar ligeramente entre áreas cultivadas, la textura tiene un papel compensatorio que mantiene la infiltración en rangos relativamente constantes (Abid, 2021).

Por otra parte, síntesis recientes sobre propiedades hidrológicas del suelo destacan que la interacción entre porosidad funcional y tamaño de partículas determina la magnitud de la infiltración y su variabilidad. En suelos con dominancia de partición textural estable, como aquellos con proporciones similares de arena fina y limo, la infiltración tiende a comportarse de

manera uniforme, salvo que existan diferencias relevantes en manejo o grado de compactación. Esto concuerda con los resultados observados en nuestro estudio, donde el manejo no ha generado diferencias suficientes para modificar significativamente la estructura o disposición de los poros (Abid, 2021).

Por lo tanto, la variabilidad baja registrada en la infiltración se encuentra plenamente alineada con la literatura reciente, ya que existe una relación directa y ampliamente documentada entre la estructura del suelo y velocidad de infiltración, donde los suelos con características granulométricas homogéneas presentan respuestas hidráulicas similares. Estos hallazgos refuerzan la interpretación de que la infiltración observada está más condicionada por la base física común del suelo que por variaciones de manejo superficial, lo que sugiere un comportamiento hidrológico predecible dentro del área de estudio.

El análisis realizado para la densidad aparente muestra que este parámetro no presenta variabilidad significativa entre los sitios evaluados, lo cual sugiere condiciones físicas de suelo relativamente uniformes. Según (Bashir, 2025), la densidad aparente se encuentra estrechamente vinculada con factores como el adjunto de materia orgánica y el nivel de compactación de la tierra; por ello, cuando estos componentes no presentan contrastes marcados entre terrenos, la variación es mínima. Esta explicación coincide con lo observado en nuestros resultados, donde los suelos parecen mantener características similares en textura y manejo.

Estudios recientes también señalan que la densidad aparente es indicador sensible de compactación derivada del uso agrícola y tránsito de maquinaria; sin embargo, cuando el manejo es similar entre parcelas, dicha compactación no genera diferencias significativas. A esto se añade que los suelos del área presentan texturas semejantes, lo que limita la variabilidad física, ya que las texturas controlan la distribución de poros y la estructuración del suelo, factores críticos para entender el comportamiento de la densidad aparente (Ballabio, 2024).

Otro aspecto relevante es que la densidad aparente promedio obtenida (1.14 g/cm^3) se encuentra dentro del rango considerado adecuado para suelos de textura franco-arenoso, lo cual coincide con los valores referenciales propuestos por (Usca, 2021) y respaldados en guías edáficas recientes como la norma ISO 11272. Estos rangos sugieren que densidades inferiores a 1.40 g/cm^3 son funcionales para el desarrollo radicular y aire en suelos agrícolas de granulometría fina.

La consistencia en los valores encontrados implica que no existe presencia notable de degradación física, compactación excesiva o pérdida estructural atribuible al manejo agrícola. Además, investigaciones en contextos similares indican que cuando la materia orgánica está relativamente equilibrada entre sitios, la densidad aparente permanece estable, debido a que la materia orgánica favorece la formación de agregados y reduce la compactación (Usca, 2021).

Por tanto, la baja variabilidad registrada en la densidad aparente refuerza la conclusión de que las condiciones edáficas del área se mantienen estables y dentro de rangos funcionales para la productividad agrícola, lo cual se alinea con la tendencia científica contemporánea que asocia valores uniformes con sistemas de manejo semejantes y ausencia de disturbios físicos significativos.

12. CONCLUSIONES

- El estudio permitió caracterizar las propiedades físicas claves del suelo, donde se logró identificar una textura franco arenoso relativa mente parecida en todos los sitios. Esta uniformidad obtenida explica con claridad la variabilidad baja de la densidad aparente cuya media es 1.14 g/cm^3 , media considerada adecuada ya que se encuentra dentro del rango para este tipo del suelo. En cambio la infiltración mostro una mayor variabilidad la cual fue 28.21 mm/h esta variabilidad apunta a diferentes prácticas.
- Los resultados de caracterización de biomasa fresca producida es (0.06 kg por unidad de muestreo o por m^2), lo que corresponde a una producción total estimada de 600 Kg/Ha , asimismo se determinó la materia seca la cual alcanzo un valor de (0.04 kg por unidad de muestreo o por m^2) lo que equivale a 400 Kg/Ha . Estos valores reflejan la producción de biomasa fresca y materia seca.
- Análisis de correlación evidencia una relación directa entre las condiciones del suelo y la producción lechera bovina, dado a que estos dos procesos están conectados de forma continua por la productividad de forraje, las correlaciones más importantes que se lograron identificar son infiltración con porosidad y biomasa con biomasa/ Ha, estas dependen una de otra para poder tener condiciones óptimas y así una buena producción forrajera.

13. RECOMENDACIONES

- Se sugiere a los productores realizar diferentes tipos de manejos y conservación de la calidad física del suelo esto lo pueden lograr evitando el sobrepastoreo en un mismo lugar específico, especialmente en las épocas de lluvia ya que es ahí cuando el suelo se compacta con una mayor dureza y causa problemas en la producción de forrajes.
- Se aconseja realizar una rotación de potreros para así lograr un suelo mucho más equilibrado en sus componentes principales también hay que permitir un descanso a los terrenos favoreciendo así la recuperación del suelo para que se pueda mejorar la producción de biomasa.
- Se recomienda a los agricultores promover cultivos o especies con una raíz más profunda para que así pueda ayudar abrir canales naturales y justamente lograr una mayor infiltración de agua, también que se realice diferentes métodos de fertilización basado en el análisis del suelo según las demandas presentadas los nutrientes más desgastados son NPK entonces agregar fertilizantes que contengan principalmente estos nutrientes.
- Es necesario reacondicionar la carga animal según el espacio y la disponibilidad real del forraje para así poder evitar el deterioro del suelo y la pérdida de la biomasa que está recién brotando ya que si la pisan esta se muere perdiendo la nueva producción.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Abid, A. (2021). *Jurnal*. Obtenido de Modelo de infiltracion del suelo:
https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JTP/article/view/6402?utm_source
- Afifatul, K. (06 de Diciembre de 2024). *Revistas Arcc*. Obtenido de Revista de investigacion agricola : https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-agricultural-research/AF-842?utm_source
- Aimara, T. d. (Julio de 2025). *DATEH*. Obtenido de Analisis socioeconomico del sector lacteo:
https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/dateh/article/view/1195?utm_source
- Alejandra, L. H. (12 de Marzo de 2020). *Textura del suelo*. Obtenido de Uso de la tierra y su influencia en la compactacion del suelo: <file:///C:/Users/david/Downloads/462-Texto%20del%20art%C3%ADculo-3113-1-10-20210913.pdf>
- Astudillo, E. G. (Agosto de 2020). *Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7b4a7ea5-046f-40f5-9e37-38767c45a08d/content>
- Ballabio, C. (15 de Abril de 2024). *Sciencedirect*. Obtenido de ELSEVIER:
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880924000252?utm_source
- Bashir, O. (23 de Junio de 2025). *SPRINGER NATURE*. Obtenido de Sistemas terretres y medio ambiente : https://link.springer.com/article/10.1007/s41748-025-00663-6?utm_source
- Ceva, E. (23 de Mayo de 2021). *CEVA*. Obtenido de Salud animal :
<https://ruminants.ceva.pro/es/forraje-para-ganado>
- Chirinos, V. H. (2022). *Universidad Nacional del Centro de Peru*. Obtenido de Metodo volumetrico: <https://es.scribd.com/document/234535503/metodo-volumetrico>
- Corbella, D. (2023). *Universidad Nacional de Tucuman*. Obtenido de Catedra de Edafologia:
<file:///C:/Users/DELL/Downloads/Fisica%20del%20Suelo.pdf>
- Dunn, L. (01 de Mayo de 2025). *ScienceDirect*. Obtenido de ELSEVIER:
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880925000453?utm_source

- Elizondo, J. A. (16 de Marzo de 2016). *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de Produccion de biomasa y calidad nutricional: <https://www.redalyc.org/journal/437/43750618001/html/>
- FAO. (2016). *Guidelines for Soil Description (4ª ed.)*. Obtenido de Aspectos físicos de la productividad de los cultivos: <https://www.fao.org/4/v9926e/v9926e04.htm>
- Fernández, M. (Julio de 2021). *Lopez MV*. Obtenido de Porosidad del suelo: https://digital.csic.es/bitstream/10261/136762/1/LopezMV_CapLibZNS15_2015.pdf
- García, J. E. (30 de Junio de 2025). *Polo del conocimiento*. Obtenido de Efectos del sobrepastoreo: <file:///C:/Users/david/Downloads/9850-52453-1-PB.pdf>
- García, R. (2022). *Universidad de la Republica*. Obtenido de Facultad de Agronomía: <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Gaspareto, J. V. (23 de Mayo de 2024). *Preprints.org*. Obtenido de Analisis del impacto de la produccion de cultivos: https://www.preprints.org/manuscript/202405.1501?utm_source
- Giddings, J. A. (Enero de 2022). *ResearchGate*. Obtenido de Determinación de la textura del suelo mediante la técnica de cintas: https://www.researchgate.net/publication/282981263_Determining_soil_texture_using_the_ribboning_technique
- Gutiérrez, F. (2020). *Siembra y produccion de pasturas*. Obtenido de Siembra y produccion de pasturas: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19019/4/PASTOS%20Y%20FORRAJES%20DEL%20ECUADOR%202021.pdf>
- Ionita, E. (13 de 06 de 2022). *Veterinara Digital*. Obtenido de <https://www.veterinariadigital.com/articulos/la-produccion-de-leche-en-ecuador/>
- Komelj, J. (19 de Abril de 2024). *UCLM*. Obtenido de Software libre: <https://www.uclm.es/global/promotores/organos%20de%20gobierno/vicerrectorado%20de%20transformacion%20y%20estrategia%20digital/consejos-tic/cerosyunos109#:~:text=R%20es%20un%20lenguaje%20de,bioinform%C3%A1tica%2C%20ciencias%20sociales%20y%20m%C3%A1s>.

- Kousar, R. (4 de Junio de 2025). *scientific reports*. Obtenido de Variabilidad espacial del suelo : https://www.nature.com/articles/s41598-025-03695-0?utm_source
- Lopez, J. D. (2023). *Tierra Latinoamericana*. Obtenido de El suelo y rendimiento forrajero: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311103014.pdf>
- Lowery, B. (2023). *Fertilab*. Obtenido de Compactacion del suelo : <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/153-Compactacion-del-suelo.pdf>
- Osorio, Á. (Mayo de 2022). *Suelos caracterizacion e importancia* . La Plata : Puerto madero. Obtenido de <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-140934-L2022-031.pdf>
- Pérez, E. M. (24 de Julio de 2012). *FEDEGAN*. Obtenido de Suelos, Pastos y Forrajes: <https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/efde25cf-22b6-44e5-aec2-f28119f8d021/content>
- Rubio, V. (2025 de Febrero de 2025). *ELSEVIER*. Obtenido de Agricultura, ecosistemas y medio ambiente: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880924004341?utm_source
- Usca, G. (1 de Marzo de 2021). *Universidad estatal de Santa Elena*. Obtenido de Salud del suelo : <https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/930b50af-ad8e-42af-a428-2a415e95b2ec/content>
- Vaca, J. S. (2023). *GAD PARROQUIAL DE MULLIQUINDIL* . Canton Salcedo: Centro santa Ana. Obtenido de <https://mulliquindil.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2020/05/PDOT-MULLIQUINDIL-2019-20231.pdf>
- Viteri, L. (31 de Julio de 2024). *Observatorio lacteo* . Obtenido de Producción de leche en Ecuador: <https://observatoriolacteo.ec/entre-2022-y-2023-el-consumo-de-lacteos-en-ecuador-cayo-un-12/>
- Yosef, B. A. (14 de Octubre de 2025). *SPRINGER NATURE*. Obtenido de Variabilidad espacial de las características del suelo : https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-025-12530-8?utm_source

Zambrano, G. (2024). *Revista de ciencias agricolas*. Obtenido de Ciencias Agrícolas:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-01352014000200009