UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“RELACIÓN DE LA SALUD EDAFICA DEL SUELO EVALUADA MEDIANTE CROMATOGRAFÍA Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS LECHERO FAMILIAR EN EL CANTÓN LATACUNGA”

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Autora:

Camacho Changoluisa Eivy Margarita

Tutor:

Molina Cuasapaz Edie Gabriel

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Camacho Changoluisa Eivy Margarita, con cédula de ciudadanía No. 1753649167, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **"RELACIÓN DE LA SALUD EDAFICA DEL SUELO EVALUADA MEDIANTE CROMATOGRAFÍA Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS LECHERO FAMILIAR EN EL CANTÓN LATACUNGA"**, siendo el Médico Veterinario Mg. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, 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, 05 de agosto del 2026

Eivy Margarita Camacho Changoluisa
C.C: 1753649167
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 **CAMACHO CHANGOLUISA EIVY MARGARITA**, identificada con cédula de ciudadanía **1753649167** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Agropecuaria, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"RELACIÓN DE LA SALUD EDAFICA DEL SUELO EVALUADA MEDIANTE CROMATOGRAFÍA Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS LECHERO FAMILIAR EN EL CANTÓN LATACUNGA"**, 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: Octubre 2022 – Marzo 2023

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2026

Tutor: MV. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mg.

Tema: **"RELACIÓN DE LA SALUD EDAFICA DEL SUELO EVALUADA MEDIANTE CROMATOGRAFÍA Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS LECHERO FAMILIAR EN EL CANTÓN LATACUNGA"**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 04 días del mes de agosto del 2026.

Eivy Margarita Camacho Changoluisa	Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CEDENTE	**LA CESIONARIA**

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

"RELACIÓN DE LA SALUD EDAFICA DEL SUELO EVALUADA MEDIANTE CROMATOGRAFÍA Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS LECHERO FAMILIAR EN EL CANTÓN LATACUNGA", de Camacho Changoluisa Eivy Margarita, 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, 5 de agosto del 2026

MV. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mg.
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, la postulante: Camacho Changoluisa Eivy Margarita, con el título del Proyecto de Investigación: **"RELACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO EVALUADA MEDIANTE CROMATOGRAFÍA Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS LECHERO FAMILIAR EN EL CANTÓN LATACUNGA",** 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, 04 de agosto del 2026

Mvz. Alison Cristina Simancas Racines, Mg.
C.C: 0501545271
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Juan Carlos Tapia Molina, Mg.
C.C: 0503480154
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Clever Gilberto Castillo de la Guerra, MSc.
CC: 0501715494
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por brindarme vida, salud, fortaleza y sabiduría durante todo mi proceso académico, permitiéndome culminar una etapa muy importante en mi vida.

A mis padres, hermanos y sobrinos quienes han sido mi apoyo incondicional, gracias por su amor, esfuerzo de todos los días y la confianza que pusieron en mí y en cada paso que he dado.

A mi querido tutor Mvz. Edie Gabriel Molina Cuasapaz por compartir sus conocimientos, experiencia y orientación profesional durante el desarrollo de este proyecto de investigación. Todo lo que me enseño contribuyo significativamente a mi formación académica.

A mi única amiga, gracias por acompañarme desde el inicio, por cada consejo, cada palabra de ánimo y cada momento compartido durante este camino, su amistad fue apoyo muy sincero.

A la Universidad Técnica De Cotopaxi por ser mi segundo hogar, el que me abrió las puertas y me permitió formarme como una profesional. Gracias por cada enseñanza y oportunidad brindada durante mi formación universitaria.

Eivy Margarita Camacho Changoluisa

DEDICATORIA

Este triunfo se lo dedico a Dios y a mis padres Zoila Changoluisa y Segundo Camacho este logro también les pertenece a ellos porque detrás de cada paso estuvo su trabajo silencioso, sus desvelos y el inmenso amor con el que me guiaron para hoy estar donde estoy.

A mi ángel allá en el cielo Kevin Changoluisa quien, aunque no esté físicamente conmigo, sé que me acompaño en cada paso de este camino. Este logro también lleva su recuerdo, su amor y la fuerza que siempre dejo en mi corazón.

Eivy Margarita Camacho Changoluisa

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "RELACIÓN DE LA SALUD EDAFICA DEL SUELO EVALUADA MEDIANTE CROMATOGRAFÍA Y LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS LECHERO FAMILIAR EN EL CANTÓN LATACUNGA".

Autora:
Camacho Changoluisa Eivy Margarita

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito determinar la relación entre la salud del suelo, evaluada mediante cromatografía circular de Pfeiffer, y la sostenibilidad de los sistemas de producción lechera familiar del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, dada la importancia que reviste la conservación del recurso edáfico para la seguridad alimentaria y la economía rural de la región. El estudio se planteó como objetivos caracterizar la salud edáfica de los potreros, correlacionarla con la biomasa forrajera disponible y relacionarla con indicadores de sostenibilidad económica de los predios. Se sustentó teóricamente en los conceptos de salud y fertilidad del suelo, indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad edáfica, y en los fundamentos de la cromatografía de Pfeiffer como herramienta cualitativa de diagnóstico. Metodológicamente, la investigación fue de enfoque cuantitativo, no experimental y de corte transversal, con un muestreo censal que incluyó a 21 productores y 46 potreros de las parroquias de Mulaló, José Guango Bajo y Aláquez, en quienes se evaluó la salud del suelo mediante cromatografía de papel, la biomasa forrajera mediante corte y pesaje con cuadrante, y la producción lechera mediante registro mensual, procesándose los datos con pruebas estadísticas no paramétricas en el programa R. Se concluyó que la mayoría de los potreros presentó una condición edáfica deteriorada o deficiente, que existió una relación positiva y significativa entre la salud del suelo y la producción de materia seca forrajera, y que, con la evidencia disponible, no se estableció una relación estadísticamente significativa entre la salud del suelo y la productividad lechera por hectárea. Se recomendó promover prácticas de manejo que favorezcan la recuperación del suelo, dar seguimiento diferenciado a los predios con mayor variabilidad interna y ampliar la muestra en futuras investigaciones para confirmar la relación entre la salud edáfica y la sostenibilidad económica de los sistemas lecheros familiares.

Palabras clave: salud edáfica, cromatografía de Pfeiffer, biomasa forrajera, sistemas lecheros familiares, sostenibilidad económica.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "RELATIONSHIP BETWEEN SOIL HEALLTH ASSESSED THROUGH CHROMATOGRAPHY AND THE SUSTAINABILITY OF FAMILY DAIRY PRODUCTION SYSTEMS IN THE CANTON OF LATACUNGA"

Author:
Camacho Changoluisa Eivy Margarita

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the relationship between soil health, assessed through Pfeiffer circular chromatography, and the sustainability of family dairy production systems in the canton of Latacunga, Cotopaxi Province, considering the importance of conserving soil resources for food security and the rural economy of the region. The objectives of the study were to characterize the soil health of pastures, correlate it with the available forage biomass, and relate it to indicators of the economic sustainability of dairy farms. The theoretical framework was based on the concepts of soil health and fertility, physical, chemical, and biological indicators of soil quality, and the principles of Pfeiffer chromatography as a qualitative diagnostic tool.

Methodologically, the research followed a quantitative, non-experimental, and cross-sectional approach, using census sampling that included 21 producers and 46 pastures located in the parishes of Mulaló, José Guango Bajo, and Aláquez. Soil health was evaluated using paper chromatography, forage biomass was assessed through quadrat cutting and weighing, and milk production was measured using monthly production records. The data were analyzed using nonparametric statistical tests in the R software program.

The results showed that most pastures exhibited degraded or poor soil conditions and that there was a positive and significant relationship between soil health and forage dry matter production. However, based on the available evidence, no statistically significant relationship was established between soil health and milk productivity per hectare. It is recommended to promote management practices that support soil recovery, conduct differentiated monitoring of farms with greater internal variability, and increase the sample size in future research to confirm the relationship between soil health and the economic sustainability of family dairy production systems.

Keywords: soil health, Pfeiffer chromatography, forage biomass, family dairy production systems, economic sustainability.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN vi
AGRADECIMIENTO vii
DEDICATORIA viii
RESUMEN ix
ABSTRACT x
ÍNDICE DE CONTENIDOS xi
ÍNDICE DE TABLAS xv
ÍNDICE DE FIGURAS xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL 1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 2
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN: 2
5. OBJETIVOS: 4
5.1. General 4
5.2. Específicos 4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS 5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA 6
7.1. Suelo y salud edáfica 6
7.1.1. Suelo 6
7.1.2. Funciones del suelo 6
7.1.2.1. Producción de biomasa 6
7.1.2.2. Regulación y almacenamiento de agua 6

7.1.2.3. Reciclaje y almacenamiento de nutrientes 7
7.1.2.4. Hábitat para organismos 7
7.1.2.5. Regulación ambiental 7
7.1.3. Fertilidad del suelo 7
7.1.4. Salud del suelo 7
7.1.5. Textura del suelo 8
7.1.6. Nivel de erosión 8
7.1.6.1. Erosión nula: 8
7.1.6.2. Erosión Moderada: 8
7.1.6.3. Erosión Alta o Fuerte: 9
7.1.6.4. Erosión muy fuerte: 9
7.1.6.5. Erosión Extrema: 9
7.1.7. Nivel de erosión en Latacunga 9
7.1.7.1. Predominancia de niveles de erosión alta a crítica en el Cantón 9
7.1.7.1.1. Erosión Hídrica acelerada: 10
7.2. Indicadores de calidad de suelo 10
7.2.1. Indicadores Físicos 10
7.2.2. Indicadores Químicos 10
7.2.3. Indicadores Biológicos 11
7.3. Cromatografía de Pfeiffer 11
7.3.1. Origen del método 11
7.4. Sostenibilidad en sistemas de producción lechero familiar 15
7.4.1. Sostenibilidad ambiental 15
7.4.2. Sostenibilidad económica 16
7.4.3. Sostenibilidad social 16
7.5. Producción lechera familiar en el cantón Latacunga 16
7.5.1. Importancia económica local 17

7.6. Manejo del suelo y pasturas 18
8. PREGUNTA CIENTIFICA 18
9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL 19
9.1. Lugar de estudio 19
9.1.1. Tipo y diseño de la investigación 20
9.1.2. Población y muestra 20
9.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 20
9.2.1. Evaluación de la salud edáfica: cromatografía circular de Pfeiffer 20
9.2.2. Evaluación de la biomasa forrajera 21
9.2.3. Procesamiento y análisis estadístico de los datos 21
9.3. Metodología de muestreo 22
9.4. Metodología de cromatografía de papel 23
9.5. Metodología de biomasa de forraje 25
9.6. Metodología de producción de leche 25
9.7. Calculo de producción de leche 26
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 27
10.1. Interpretación de cromas 27
Clasificación final: MUY DETERIORADO (nivel 1/5) 40
10.2. Estructura de los datos y unidades de análisis 120
10.2.1. Variables incluidas en el análisis 120
10.2.2. Preparación y verificación de los datos 120
10.2.3. Análisis estadístico por objetivo específico 121
10.2.3.1. Objetivo específico 1 (OE1): Caracterización de la salud edáfica 121
10.2.3.2. Objetivo específico 2 (OE2): Correlación salud edáfica - biomasa forrajera 121
10.2.3.3. Objetivo específico 3 (OE3): Salud edáfica e indicadores económicos ... 122
10.2.4. Software y paquetes estadísticos 122

10.3. RESULTADOS PRINCIPALES 123
10.3.1. OE1: Caracterización de la salud edáfica del suelo 123
10.3.2. OE2: Correlación entre salud edáfica y biomasa forrajera 124
10.3.3. OE3: Salud edáfica e indicadores de sostenibilidad económica 125
10.4. RESULTADOS FINALES 126
10.4.1. Objetivo Específico 1: Caracterización de la salud edáfica 126
10.4.2. Objetivo Específico 2: Correlación entre salud edáfica y biomasa forrajera 129
10.4.3. Objetivo Específico 3: Salud edáfica e indicadores de sostenibilidad económica 132
10.5. DISCUSIÓN 134
10.5.1. Sobre el estado general de la salud edáfica en los sistemas evaluados 134
11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS) 136
12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO 137
13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 137
13.1. CONCLUSIONES 137
13.2. RECOMENDACIONES 138
14. BIBLIOGRAFÍAS 138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Interpretación por color de la Zona Central de un Cromatograma.....13
Tabla 2. Interpretación por color de la Zona Interna.....14
Tabla 3. Interpretación de la Zona Intermedia 14
Tabla 4. Interpretación de la Zona Externa 15
Tabla 5 Interpretación del cromatograma AC-P1 del productor Alex Caicedo 27
Tabla 6. Interpretación del cromatograma AC-P2 del productor Alex Caicedo 29
Tabla 7. Interpretación del cromatograma AC-P3 del productor Alex Caicedo 31
Tabla 8. Interpretación del cromatograma ER-P1 del productor Erika Robayo 33
Tabla 9. Interpretación del cromatograma ER-P2 del productor Erika Robayo 35
Tabla 10. Interpretación del cromatograma ER-P3 del productor Erika Robayo 37
Tabla 11. Interpretación del cromatograma SC-P1 del productor Sonia Cailagua 39
Tabla 12. Interpretación del cromatograma FR-P1 del productor Flor Robayo.....41
Tabla 13. Interpretación del cromatograma FR-P2 del productor Flor Robayo.....43
Tabla 14. Interpretación del cromatograma ML-P1 del productor Mama Lucha 45
Tabla 15. Interpretación del cromatograma ML-P2 del productor Mama Lucha 47
Tabla 16. Interpretación del cromatograma ML-P3 del productor Mama Lucha 49
Tabla 17. Interpretación del cromatograma MCH-P1 del productor Martha chango 51
Tabla 18. Interpretación del cromatograma MCH-P2 del productor Martha chango 53
Tabla 19. Interpretación del cromatograma MCH-P3 del productor Martha chango 55
Tabla 20. Interpretación del cromatograma MC-P1 del productor Ana Mercedes Chasi 57
Tabla 21. Interpretación del cromatograma MC-P2 del productor Ana Mercedes Chasi 59
Tabla 22. Interpretación del cromatograma MC-P3 del productor Ana Mercedes Chasi 61
Tabla 23. Interpretación del cromatograma GCH-P1 del productor Guadalupe Chimborazo .63
Tabla 24. Interpretación del cromatograma JB-P1 del productor Jenny Benalcazar 65
Tabla 25. Interpretación del cromatograma JB-P2 del productor Jenny Benalcazar 67

Tabla 26. Interpretación del cromatograma JB-P3 del productor Jenny Benalcazar 69
Tabla 27. Interpretación del cromatograma CLT-P1 del productor Clemencia Toca.....71
Tabla 28. Interpretación del cromatograma CLT-P2 del productor Clemencia Toca.....73
Tabla 29. Interpretación del cromatograma FM-P1 del productor Fausto Moreno 75
Tabla 30. Interpretación del cromatograma FM-P2 del productor Fausto Moreno 77
Tabla 31. Interpretación del cromatograma MR-P1 del productor Maria Rocha.....79
Tabla 32. Interpretación del cromatograma MR-P2 del productor Maria Rocha.....81
Tabla 33. Interpretación del cromatograma MGT-P1 del productor Miguel Gutierrez 83
Tabla 34. Interpretación del cromatograma MGT-P2 del productor Miguel Gutierrez 85
Tabla 35. Interpretación del cromatograma SA-P1 del productor Segundo Altamirano 87
Tabla 36. Interpretación del cromatograma SA-P2 del productor Segundo Altamirano 89
Tabla 37. Interpretación del cromatograma XH-P1 del productor Ximena Heredia.....91
Tabla 38. Interpretación del cromatograma XH-P2 del productor Ximena Heredia.....93
Tabla 39. Interpretación del cromatograma ET-P1 del productor Eduardo Tapia 95
Tabla 40. Interpretación del cromatograma ET-P2 del productor Eduardo Tapia 97
Tabla 41. Interpretación del cromatograma ECH-P1 del productor Emma Chiluisa.....99
Tabla 42. Interpretación del cromatograma ECH-P2 del productor Emma Chiluisa.....101
Tabla 43. Interpretación del cromatograma MG-P1 del productor Monica Gutierrez.....103
Tabla 44. Interpretación del cromatograma MG-P2 del productor Monica Gutierrez.....105
Tabla 45. Interpretación del cromatograma RV-P1 del productor Rocio Villamarín 107
Tabla 46. Interpretación del cromatograma RV-P2 del productor Rocio Villamarín 109
Tabla 47. Interpretación del cromatograma WZ-P1 del productor Wladimir Zapata 111
Tabla 48. Interpretación del cromatograma WZ-P2 del productor Wladimir Zapata 113
Tabla 49. Interpretación del cromatograma TR-P1 del productor Tereza Mera 115
Tabla 50. Interpretación del cromatograma TR-P2 del productor Tereza Mera 117
Tabla 51. Producción de leche/día Producción de leche/mes.....119

Tabla 52. Variables de estudio, escala de medición y descripción operacional 120

Tabla 53. Distribución de frecuencia de las categorías de salud edáfica por cromatografía circular de Pfeiffer en potreros de sistemas lecheros familiares, cantón Latacunga, Cotopaxi (n = 46 potreros; 21 productores). 123

Tabla 54. Materia seca forrajera (g MS/m²) y número de productores representados por categoría cromatográfica de Pfeiffer. 123

Tabla 55. Coeficientes de correlación de Spearman (ρ) entre el score cromatográfico de Pfeiffer y las variables de biomasa forrajera (n = 46 potreros). 124

Tabla 56. Prueba de Kruskal-Wallis para diferencias en biomasa forrajera entre categorías cromatográficas de Pfeiffer (n = 46 potreros, 4 categorías). 124

Tabla 57. Prueba post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni para materia seca (g MS/m²). Se reportan pares de categorías con diferencias estadísticamente significativas. 125

Tabla 58. Estadísticas descriptivas de los indicadores de producción lechera en los predios estudiados (n = 21 productores). 125

Tabla 59. Correlación de Spearman entre el score cromatográfico promedio del predio y los indicadores de sostenibilidad económica (n = 21 productores). Resultados de carácter exploratorio..... 126

Tabla 60. Costos del proyecto 137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Identificación de las Zonas de un Cromatograma 12

Figura 2. Mapa de Identificación de las Zonas de un Cromatograma 13

Figura 3. Mapa de Parroquias Cantón Latacunga 19

Figura 4. Distribución del número de potreros por categoría de salud edáfica (n = 46 potreros) 127

Figura 5. Porcentaje acumulado de potreros por nivel de categoría cromatográfica. 127

Figura 6. Score cromatográfico promedio y rango de variación (mínimo-máximo) por productor. 128

Figura 7. Mapa de calor de la salud edáfica (score Pfeiffer) por productor y potrero. 129

Figura 8. Relación entre el score cromatográfico de Pfeiffer y la materia seca del forraje (g MS/m²), por categoría de salud edáfica. 130

Figura 9. Biomasa de materia seca (g MS/m²) por categoría de salud edáfica, con resultado de la prueba de Kruskal-Wallis. 130

Figura 10. Peso fresco del forraje (g/m²) por categoría de salud edáfica. 131

Figura 11. Score edáfico promedio y producción total de leche (L/día) por productor. 132

Figura 12. Score edáfico promedio y productividad lechera corregida por superficie (L/día/ha) por productor. 133

Figura 13. Comparación entre producción total de leche (L/día) y productividad corregida por superficie (L/día/ha) frente al score edáfico promedio. 134

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Relación entre la calidad del suelo evaluada mediante cromatografía y la sostenibilidad de los sistemas de producción lechera en el cantón Latacunga.

Fecha de inicio:

Abril 2026

Fecha de finalización:

Agosto 2026

Lugar de ejecución:

Mulalo, Jose Guango Bajo, Alaquez - Latacunga - Cotopaxi.

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

Carrera que auspicia:

Carrera de Agropecuaria.

Equipo de Trabajo:

Estudiante: Camacho Changoluisa Eivy Margarita.

Tutor: Mvz. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mtr.

Coordinador del Proyecto:

Nombre: Mvz. Edie Gabriel Molina Cuasapaz, Mtr.

Teléfono: 0998587787

Correo electrónico: edie.molina7278@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

3109.02

Ciencias Agrarias, Ciencias Veterinarias, Genética.

Línea de investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales.

Sublinea de investigación:

Producción Animal

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La cromatografía de Pfeiffer se usa como herramienta, ya que permite evaluar cualitativamente la calidad del suelo, su materia orgánica y actividad biológica, de forma económica, accesible y adecuada para el contexto rural, tal como lo señalan (Vera, 2025)

Se pretende conocer cómo la condición del suelo influye en la producción de biomasa forrajera en resultados más económicos, ya que (Antoneli, 2025) indican que los suelos sanos generan mayor calidad y cantidad de pastos, lo que se traduce en mejor rendimiento lechero y adecuada rentabilidad.

La información obtenida permitirá establecer un diagnóstico en cuanto a erosión del suelo, lo que facilitará el diseño de prácticas de manejo adaptadas a la regeneración del recurso edáfico, la reducción del uso excesivo de insumos externos y el fortalecimiento de la sostenibilidad ambiental, económica y social en los sistemas familiares de la región (Mabhaudhi et al., 2021)

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Directos: productores vinculados al proyecto DIRGI_CP2021-003.

Implementación del programa de mejoramiento genético sostenible de bovinos de leche de la provincia de Cotopaxi.

Indirectos: Los productores de leche bovina de la provincia de Cotopaxi.

Estudiantes de la carrera de Agropecuaria de la Universidad Técnica De Cotopaxi,

Investigadora principal del proyecto, requisito previo a la obtención del título de ingeniería agropecuaria.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

A nivel mundial la producción lechera enfrenta el reto de mantener su sostenibilidad ante la degradación acelerada de suelos, fenómeno que afecta a más del 33% de las tierras agrícolas, por lo cual esto reduce su capacidad productiva, comprometiendo la seguridad alimentaria y la economía rural (FAO, 2021). Esta degradación no solo se refleja en la pérdida de productividad sino, sobre todo, en el deterioro de la salud edáfica, entendida como la capacidad continua del suelo de funcionar como un sistema vivo que sostiene la producción vegetal y animal, regula el ciclo del agua y mantiene el equilibrio biológico del ecosistema. Cuando esta capacidad se pierde, el suelo deja de cumplir funciones esenciales como el reciclaje

de nutrientes, la retención de humedad y el sostenimiento de la actividad microbiana, lo que compromete directamente la base productiva de los sistemas ganaderos (FAO, 2026).

La ganadería es uno de los sectores más relevantes del sector agropecuario en Ecuador, ya que contribuye con alrededor del 12% DEL Producto Interno Bruto (PIB) agrícola. No obstante, el 60% de los suelos destinados al pastoreo exhiben algún tipo de deterioro, atribuido primordialmente a la gestión inapropiada, al sobrepastoreo y a la ausencia de prácticas de regeneración, factores que restringen el desempeño de los cultivos forrajeros y la producción animal. Estos procesos afectan de manera particular a los indicadores biológicos y físicos que definen la salud edáfica, tales como la actividad microbiana, la porosidad, la estructura y el contenido de materia orgánica, elementos que actúan como señales tempranas de deterioro antes de que la pérdida productiva sea evidente a simple vista (MAG, 2023).

Si bien es una actividad de gran importancia, presenta niveles bajos y poco sostenibles, derivados principalmente por procesos de degradación del suelo mismos que son provocados por prácticas inadecuadas como el sobrepastoreo continuo, la compactación por pisoteo del ganado y la falta de manejo de conservación de suelos (Centeri, 2022) Estos factores provocan la reducción del contenido de materia orgánica, la actividad biológica y la fertilidad natural del suelo, comprometiendo tres pilares fundamentales de la salud edáfica: el equilibrio físico (estructura y compactación), el equilibrio químico (disponibilidad de nutrientes) y equilibrio biológico (actividad microbiana y descomposición de materia orgánica). Esta pérdida afecta directamente en la calidad y cantidad de forraje disponible, generando un ciclo de baja producción que obliga a los productores a depender de insumos externos costosos para mantener a flote la actividad (Orozco, 2022)

Existen limitaciones económicas a la hora de evaluar el suelo en sistemas lecheros a pequeña escala, ya que los análisis de laboratorio pueden llegar a costar entre 35$ y 80$ por muestra, todo esto dependiendo de los parámetros que se estén evaluando. Esto dificulta el control periódico de la calidad del suelo, por lo que herramientas alternativas, como la Cromatografía de Pfeiffer, son una opción accesible para diagnosticar la salud del suelo de forma práctica y menos costosa (INIAP, 2025). La cromatografía de Pfeiffer es considerada como una técnica sencilla, rápida y económica para evaluar la calidad del suelo, ya que hace posible determinar aspectos relacionados en cuanto a materia orgánica, actividad biológica, disponibilidad de minerales a través de la interpretación visual de patrones formados en el papel filtro. La práctica no requiere equipos complejos, mucho menos una infraestructura

especializada, lo que la convierte en una herramienta accesible para pequeños productores (Hernández-Rodríguez, 2021)

5. OBJETIVOS:

5.1. General

Determinar la relación entre la salud edáfica del suelo evaluada mediante cromatografía y la sostenibilidad de sistemas de producción lechera en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

5.2. Específicos

- Caracterizar la salud edáfica del suelo mediante cromatografía de Pfeiffer en sistemas de producción lechero familiar.
- Correlacionar los patrones de salud edáfica del suelo con la biomasa de forraje en sistemas de producción lechero familiar.
- Relacionar la salud edáfica del suelo con los indicadores de sostenibilidad económica de los sistemas de producción lechero familiar

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

Objetivos	Actividades	Método	Resultados
Caracterizar la salud edáfica del suelo mediante cromatografía de Pfeiffer en sistemas de producción lechero familiar en el cantón Latacunga.	- Recolección de muestras de suelo en zonas de pastoreo. - Preparación de muestras para análisis. - Realización de cromatogramas de Pfeiffer. - Interpretación de patrones cromatográficos.	-Método de Cromatografía de Pfeiffer. - Protocolo estandarizado de cromatografía de Pfeiffer. - Análisis cualitativo de cromatogramas (zonas, colores, patrones)	-Salud edáfica del suelo (Excelente, Buena, regular, pobre)
Correlacionar los patrones es de salud edáfica del suelo con la biomasa de forraje en los sistemas de producción lechero familiar.	- Evaluación de la producción de biomasa de pastos.	- Cuadrantes de muestreo para materia verde. -Proceso de deshidratación para materia seca.	- Producción de biomasa kg/h. - Correlación entre la salud edáfica y la biomasa.
Relacionar la salud edáfica del suelo con los indicadores de sostenibilidad económica de los sistemas de producción lechero familiar.	- Medición de producción de leche. -Identificación de costos de producción fijos y variables.	- Pesaje de leche cada ordeño (1 o 2 ordeños diarios), sumando ambos resultados para obtener producción total diaria. - Recopilación de datos económicos del ganado.	- Producción de leche por vaca. -Costos de producción por litro de leche relacionado con la salud edáfica del suelo.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Suelo y salud edáfica

7.1.1. Suelo

Se entiende por suelo una masa natural, dinámica y compleja, formada por partículas minerales, agua, aire, materia orgánica y organismos vivos, que constituye una capa sobre la superficie de la tierra, producto de la interacción continua de diversos factores ambientales. Desde este punto, no solo se lo ve como un recurso fijo, sino que también es visto como un sistema vivo que está en constante evolución y cumple un papel importante en cuanto al funcionamiento de los ecosistemas y es parte de la base fundamental de actividades productivas a nivel mundial (FAO, 2026)

El suelo está confirmado por una capa superficial donde se encuentra la vegetación, también se caracteriza por la organización de capas llamadas horizontes que son originadas por diversos cambios físicos y químicos del regolito ((Thompson & Troeh, 2021).

Desde una perspectiva agrícola y ambiental, el suelo no es elemento inerte, sino es un recurso natural no renovable, cuya formación y restauración requiere de largos periodos de tiempo. El concepto moderno de este recurso no se limita a sus propiedades físicas, sino que también resalta sus importantes funciones ambientales, al ser reconocido como un pilar fundamental de la seguridad alimentaria, al regular el ciclo hidrológico y mitigar el cambio climático mediante la retención de carbono. Por lo tanto, se comprende que el suelo es una estructura compuesta de minerales y materia orgánica indispensable para el diseño y manejo de sistemas agrícolas y ganaderos (IGAC, 2021).

7.1.2. Funciones del suelo

7.1.2.1. Producción de biomasa

El suelo es el medio en el que crecen las raíces de las plantas, proporcionando agua, aire y nutrientes esenciales para su desarrollo. Es fundamental para la producción de alimentos, forrajes, fibras y otros recursos que son imprescindibles para la vida humana y animal (FAO, 2022).

7.1.2.2. Regulación y almacenamiento de agua

El suelo actúa como un reservorio natural que almacena, infiltra y distribuye agua. Gracias a este rol ayuda a disminuir las inundaciones, mantener la humedad disponible para las

plantas y favorecer la regeneración de los acuíferos. Además, participa positivamente en el ciclo hidrológico (Soil Functions, 2025).

7.1.2.3. Reciclaje y almacenamiento de nutrientes

El suelo almacena y convierte nutrientes mediante procesos biológicos y químicos que se dan gracias a los microorganismos que habitan en el mismo. Todo esto asegura la disponibilidad continua de elementos necesarios para las plantas y ayuda a la fertilidad natural del suelo (FAO, 2022).

7.1.2.4. Hábitat para organismos

La tierra es hogar de una amplia variedad de organismos, incluidos hongos, bacterias, insectos, protozoos y gusanos, que participan en procesos biológicos esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (FAO, 2020).

7.1.2.5. Regulación ambiental

El suelo funciona como filtro natural de contaminantes, contribuye a la acumulación de carbono orgánico y participa en la regulación de ciclos biogeoquímicos desempeñando un papel funcional esencial en la mitigación del cambio climático (FAO, 2022).

7.1.3. Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo se relaciona con la textura, estructura, pH, disponibilidad de nutrientes, contenido de materia orgánica y actividad microbiana, factores que afectan directamente el desarrollo y rendimiento de los cultivos (AEFA, 2021).

7.1.4. Salud del suelo

Es un concepto fundamental de la agricultura sostenible, ya que se refiere a la capacidad del suelo para trabajar como ecosistema vivo que soporta plantas, animales y personas, manteniendo su productividad biológica, calidad ambiental y capacidad regenerativa (USDA, 2024). Desde esta perspectiva la fertilidad del suelo va más allá pues no solo se considera como la disponibilidad de nutrientes, sino también la interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas que permiten el buen funcionamiento del ecosistema edáfico (FAO, 2020).

Por otro lado, un manejo agrícola y pecuario inadecuado puede afectar negativamente a la salud del suelo, la compactación del suelo, la erosión, la perdida de materia orgánica y de

biodiversidad edáfica disminuyen la capacidad de los suelos para cumplir con funciones productivas (FAO, 2020).

7.1.5. Textura del suelo

La textura se ha establecido como una de las propiedades físicas más definitorias del recurso físico, ya que afecta directamente a la permeabilidad, retención de agua y a la dinámica biogeoquímica del ecosistema que está en el subsuelo. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020) señala que las partículas que componen el suelo se agrupan en tres elementos principales basándose en su diámetro mineral:

Arena: de 2.0 a 0.05 mm.

Limo: de 0.005 a 0.002 mm.

Arcilla: menor a 0.002 mm.

7.1.6. Nivel de erosión

La erosión del suelo es uno de los procesos más importantes de degradación de los recursos del suelo en todo el mundo, ya que provoca la pérdida de la capa superior del suelo fértil, reduce la productividad agrícola y afecta los servicios eco sistémicos. La erosión puede ser causada por el agua, el viento y la actividad humana, especialmente a través de la deforestación, el pastoreo excesivo o prácticas agrícolas inapropiadas (FAO, 2025).

7.1.6.1. Erosión nula:

El perfil edáfico se conserva en equilibrio dinámico; la pérdida física de las partículas más altas es igual o menor que la tasa de formación natural del suelo (meteorización de la roca madre). El Horizonte A mantiene intacta su estructura granular, preserva la biomasa microbiana y permite la entrada natural de agua de lluvia sin causar escorrentía laminar destructiva (Borrelli, 2022).

7.1.6.2. Erosión Moderada:

Comienza con el adelgazamiento de la capa cultivable. El agua elimina selectivamente las partículas más ligeras y fértiles: materia orgánica cruda, limo y arcilla fina. Debido a la reducción de espesor, las herramientas mecánicas de labranza agrícola comienzan a tocar y remover el Horizonte B generalmente infértil y arcilloso este se mezcla con la capa superficial del suelo, reduciendo la porosidad del suelo y con esto iniciando la compactación (Borrelli, 2022).

7.1.6.3. Erosión Alta o Fuerte:

El Horizonte A, rico en nutrientes, se ve severamente degradado y se reduce a la mitad de su espesor original. El flujo constante de agua deja de ser una lámina uniforme y empieza a concentrarse en líneas de flujo macroscópicas que tallan hendiduras mecánicas conocidas como surcos. A medida que estos se pierden la cohesión estructural del suelo, los fertilizantes químicos u orgánicos aplicados se eliminan antes de interactuar con las raíces, colapsando así los cultivos agrícolas (Borrelli, 2022).

7.1.6.4. Erosión muy fuerte:

El Horizonte A ha sido eliminado casi por completo, revelando directamente las capas densas y compactas del subsuelo. Los pequeños surcos se conectan y se ensanchan bajo la acción de la fuerza hidráulica y se convierten en canales profundos que atraviesan el terreno. El suelo pierde su capacidad de absorber el agua de lluvia y se comporta como una superficie impermeable que satura rápidamente los horizontes subyacentes y genera un alto riesgo de movimientos en masa o deslizamientos de tierra en zonas con pendientes (Borrelli, 2022).

7.1.6.5. Erosión Extrema:

Comienza a desaparecer el perfil agrologico del suelo. Tanto el horizonte orgánico como el transicional han desaparecido por completo. El entorno está dominado por grandes cañones profundos que exponen directamente un lecho de roca estéril conocido como Horizonte R. No hay oportunidad física para la retención de agua o el enraizamiento de las plantas, transformando el ecosistema en una zona desértica (Borrelli, 2022).

7.1.7. Nivel de erosión en Latacunga

El Cantón Latacunga posee una altísima susceptibilidad debido a sus suelos volcánicos jóvenes, relieve accidentado y la fuerte presión antrópica.

7.1.7.1. Predominancia de niveles de erosión alta a crítica en el Cantón

Debido a la subcuenca del Rio Cutuchi, Latacunga forma parte de la cuenca alta de la Sierra ecuatoriana. Según datos geológicos regionales, más del 67% de los terrenos de la Cuenca Andina en la región central son vulnerables a una erosión alta, que supera el umbral de tolerancia establecido por la FAO. Las zonas más afectadas son vertientes y laderas con pendientes pronunciadas sin vegetación natural (Chitalogro & Llamatumbi, 2021).

7.1.7.1.1. Erosión Hídrica acelerada:

En las parroquias rurales de Latacunga ubicadas en zonas escarpadas como: Poalo o zonas altas de Tanicuchi y Múlalo, las prácticas agrícolas inapropiadas como la labranza a favor de pendiente y el sobrepastoreo han provocado un rápido desarrollo en cuanto a la erosión hasta la formación de profundos barrancos. Físicamente el suelo pierde su capa orgánica superficial, transportando químicos agrícolas y sedimentos al sistema hídrico, causando la perdida de flujo de agua de ríos locales como el Cutuchi y Yanayacu (GAD Latacunga, 2021)

7.2. Indicadores de calidad de suelo

Los indicadores de calidad del suelo son los principales parámetros métricos empleados para determinar el estado funcional del recurso suelo, favoreciendo a la identificación de los procesos de degradación o regeneración del suelo dependiendo de los distintos manejos agronómicos (Osuna-Ceja, 2024).

7.2.1. Indicadores Físicos

Estos indicadores reflejan las propiedades estructurales y mecánicas del suelo que regulan el espacio poroso y así como también el transporte de masa y energía mediante la matriz edáfica. Entre estos parámetros, la densidad aparente y la porosidad total son importantes para determinar el grado de agrupamientos de partículas; un aumento desenfrenado de la densidad aparente que indica la pérdida de macro poros que sirven como alerta temprana ante problemas de compactación del suelo provocados por el pisoteo de ganado o el uso d maquinaria pesada (Osuna-Ceja, 2024).

7.2.2. Indicadores Químicos

Estos son parámetros cuantitativos muy importantes para evaluar el valor nutricional, la reactividad iónica y la fertilidad potencial del suelo. Entre estas propiedades, el potencial de hidrógeno(pH) se ha fijado como un indicador líder de la actividad química de la superficie, ya que controla la solubilidad, la especificidad geoquímica y la tasa de asimilación de macro y micronutrientes esenciales en la vegetación. Un desequilibrio extremo de este parámetro, como una fuerte acidificación provocada por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos, suelo liberar formas solubles de elementos como el aluminio, provocando efectos fitotóxicos e inhibimiento del desarrollo radicular (Burke, 2026).

7.2.3. Indicadores Biológicos

Los indicadores biológicos son parámetros más sensibles y dinámicos para evaluar la salud edáfica porque reflejan directamente los efectos de las alteraciones antropogénicas, el uso de la tierra y las prácticas de manejo en comparación con las propiedades fisicoquímicas. La actividad y presencia de la micro biota (bacterias, hongos y arqueas) y la macro fauna actúan como motor biológico del ecosistema subterráneo. La respiración del suelo y el contenido de biomasa se consolidad como indicadores básicos, porque miden directamente la tasa metabólica real de descomposición de la materia orgánica, el flujo de energía y la posterior liberación de nutrientes esenciales en las formas asimilables de la vegetación (NRCS, 2023).

7.3. Cromatografía de Pfeiffer

7.3.1. Origen del método

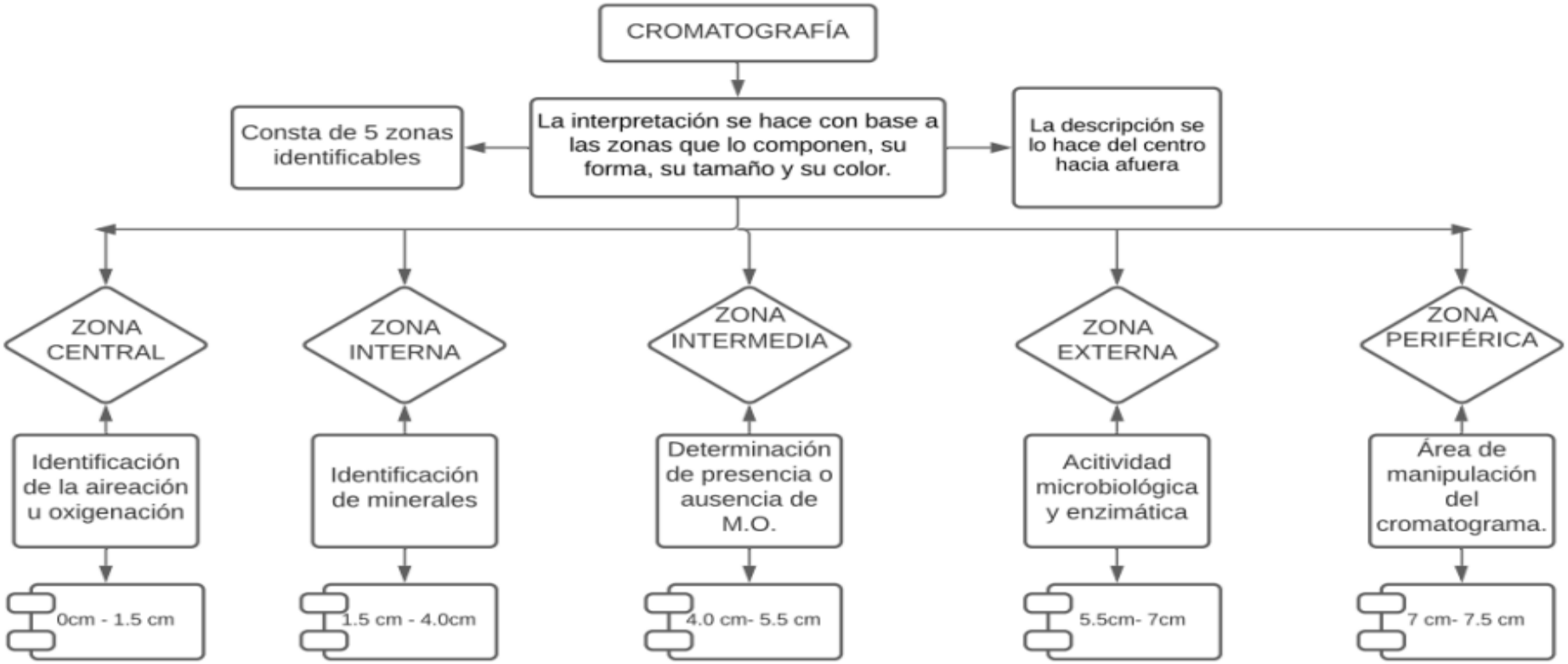
El origen está relacionado directamente a los postulados de la agricultura biodinámica desarrollados por Rudolf Steiner a principios de la década de 1920. Steiner sugirió que la fertilidad del suelo debería medirse no solo por la presencia de elementos químicos aislados (N, P, K) sino como un "organismo vivo" dotado de fuerzas vitales y de organización estructural. La cromatografía surgió de la necesidad de encontrar un método capaz de capturar visualmente estas interacciones vivas, en lugar de alterarlas analíticamente (Domingues et al, 2022).

La científica Lili Koliskp, colaboradora de Steiner, desarrollo la técnica que antes se llamaba **dinamolisis capilar vertical,** donde utilizaba tiras de papel filtro suspendidas sobre soluciones de savia vegetal o extractos de suelo mezclados con sales metálicas foto reactivas. El ascenso capilar del líquido produjo patrones verticales que variaron con las fases de la luna o la descomposición de la muestra. Este principio de interacción entre sustancias orgánicas y sales de plata son las bases fisicoquímicas del método (Domingues et al., 2022).

7.3.2 Interpretación del cromatograma

Figura 1.

Mapa de Identificación de las Zonas de un Cromatograma



Fuente: (Obando, 2021)

Figura 2.

Mapa de Identificación de las Zonas de un Cromatograma

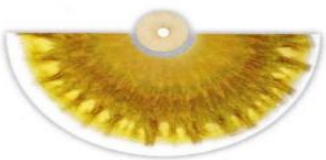


Fuente: (COMSA, 2020)

- **Zona central:** Es la indicadora de las condiciones de desarrollo de la actividad microbiológica (COMSA, 2020)
- **Zona intermediaria:** Indicador de las condiciones de desarrollo mineral (COMSA, 2020)
- **Zona externa o periférica:** Es la zona de las proteínas (enzimas y vitaminas) (COMSA, 2020)

Tabla 1.

Interpretación por color de la Zona Central de un Cromatograma

INTERPRETACIÓN DE LA ZONA CENTRAL O DE ESTRUCTURA DE SUELO			
Permite la interpretación de la estructura y manejo cultural que tiene el suelo.			
NIVEL	**CROMATOGRAMA**	**COLOR**	**INTERPRETACIÓN**
BAJO		Negro Gris Cenizo	Estructura de suelos destruidos por mecanización y excesiva aplicación de fertilizantes químicos
MEDIO		Blanco	Uso de abonos orgánicos no descompuestos, muy ricos en nitrógeno orgánico que han sido adulterados con fertilizantes químicos a base de urea.
ALTO		Crema	Buen manejo de maquinaria agrícola que proporciona buena estructura y manejo de agricultura orgánica.

Fuente: (Obando, 2021)

Tabla 2.

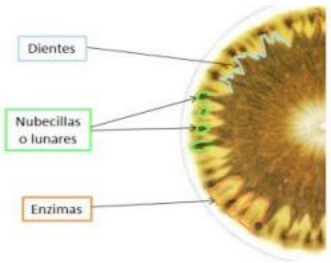
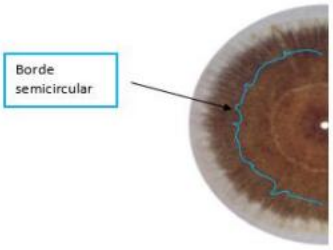
Interpretación por color de la Zona Interna

INTERPRETACIÓN DE LA ZONA INTERNA O ZONA MINERAL			
Relación del desplazamiento y la reacción del nitrato de plata con los minerales, y es donde se encuentran las sustancias más pesadas.			
NIVEL	**CROMATOGRAMA**	**COLOR**	**INTERPRETACIÓN**
BAJO		Negro Gris	Suelo compactado, mineralizado, sin materia orgánica y ausencia de actividad biológica y enzimática.
MEDIO		Degradados de anaranjado	Minerales aislados sin relación con la poca materia orgánica, no hay presencia se actividad enzimática.
ALTO		Cafés claros a oscuros	Suelo con presencia de minerales integrados con la materia orgánica presencia de actividad enzimática y biológica.

Fuente: *(Obando, 2021)*

Tabla 3.

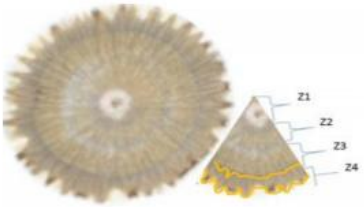
Interpretación de la Zona Intermedia

INTERPRETACIÓN DE LA ZONA INTERMEDIA O ZONA PROTEICA			
Destaca la presencia o la ausencia de la materia orgánica en el suelo analizado			
NIVEL	**CROMATOGRAMA**	**ELEMENTOS**	**INTERPRETACIÓN**
BUENO		Dientes Lunares Enzimas	Alta actividad biológica y perfecta transformación de la materia orgánica en humus estable, formación de nubecillas enzimáticas, suelo sano.
MALO		Borde circular	Ausencia de materia orgánica son suelos totalmente endurecidos, destruidos por la mecanización, no existe cobertura vegetal o por se ha aplicado fertilizantes químicos solubles.

Fuente: (Obando, 2021)

Tabla 4.

Interpretación de la Zona Externa

INTERPRETACIÓN DE LA ZONA EXTERNA O ZONA ENZIMÁTICA Y NUTRICIONAL			
Muestra la relación de la materia orgánica, los minerales y los microorganismos			
NIVEL	**CROMATOGRAMA**	**ELEMENTOS**	**INTERPRETACIÓN**
BAJO		Sin color en forma circular	Suelo acabado, afectado por la rigor de la sobre producción, la mecanización profunda y el uso intensivo de fertilizantes y agroquímicos, afectando la humificación de la materia orgánica
MEDIO		Pequeñas e irregulares agujas que sobresalen	Ligeras radiaciones indicativo de la poca materia orgánica, suelo en proceso de erosión y pérdida de microbiota.
ALTO		Bordes irregulares con nubecillas	Suelo sano, gran actividad microbiológica diversificada y constante en el suelo, buen desarrollo de la formación enzimática y buena descomposición de la materia orgánica.

Fuente: (Obando, 2021)

7.4. Sostenibilidad en sistemas de producción lechero familiar

En los sistemas lecheros familiares, los principales factores son el uso de mano propia y el manejo de costos operativos a gran escala. Sin embargo, su rentabilidad depende de canales de comercialización locales estables o de ventas de subproductos lácteos (queso, yogurt). El costo unitario de la leche producida de pequeños productores se vuelve muy competitiva con las grandes explotaciones precisamente debido al uso intensivo de mano de obra familiar, lo que reduce costos de nómina fijos. Además, la industrialización artesanal sirve para diversificar y estabilizar los ingresos mensuales de la familia (Teneda, 2024).

Diversos estudios muestran que más del 89% de la fuerza laboral empleada es familiar. Así mismo, cerca del 92,8% de los productores que integran estos núcleos, la comercialización de leche y sus derivados representa el 100% de los ingresos totales de su hogar (Domínguez, 2025).

7.4.1. Sostenibilidad ambiental

La sostenibilidad ambiental en la ganadería lechera familiar se refiere a la capacidad de producir leche de manera eficiente, conservando los recursos naturales (suelo, agua,

biodiversidad y aire), reduciendo los impactos ambientales negativos y asegurando que las generaciones futuras puedan continuar operando de manera sostenible (Wattiaux, 2023).

7.4.2. Sostenibilidad económica

En sistemas lecheros familiares está relacionada con la optimización de los recursos internos de la explotación para incrementar el margen de ganancia ante la fluctuación del mercado. La base de su viabilidad económica es el uso intensivo de mano de obra del núcleo familiar, que elimina los costos fijos de los salarios externos y que permite alcanzar un nivel de competitividad similar a las grandes explotaciones ganaderas; además, la rentabilidad se consolida cuando la familia procesa artesanalmente la leche cruda en productos de mercado como queso o yogurt, estabilizando así el flujo de caja mensual del hogar (Teneda, 2024).

7.4.3. Sostenibilidad social

La sostenibilidad social en sistemas lácteos familiares es considerada como un pilar importante que garantiza la viabilidad comunitaria, el cambio intergeneracional y la seguridad alimentaria en las zonas rurales. Este enfoque es esencial porque más del 90% de granjas lecheras en todo el mundo son propiedad familiar, consolidándose como un motor clave en la lucha contra el hambre al aumentar el empleo local y proporcionar nutrientes de alto valor biológico para el consumo doméstico (FAO, 2022).

Igualmente, la adopción de sistemas de ganadería planificada y de bienestar animal son un incentivo directo al arraigo de las familias en el lugar de origen, brindando una alternativa a una vida digna en el desempleo y evita la migración forzada a las grandes urbes (BBVA, 2024).

7.5. Producción lechera familiar en el cantón Latacunga

La interdependencia entre los aspectos económicos, sociales y ambientales de un sistema de producción lechera familiar a pequeña escala es la que determina su sostenibilidad. From a financial perspective, the viability of these small units depends on the efficient utilizations of internal resources of the farm. La utilización intensiva de manos de obra familiar es una ventaja competitiva frente a explotaciones ganaderas de gran tamaño, ya que el no pago de los costos fijos que suponen tener trabajadores. Esta rentabilidad económica se torna estable y sólida cuando el hogar de las familias rurales elabora, de forma artesanal, una parte de la leche cruda y vende subproductos de mayor precio que le permiten diversificar ingresos y asegurar un flujo efectivo mensual constante para el hogar (Teneda, 2024).

A través de estudios que muestran el estado de la sostenibilidad en el cantón Latacunga en Ecuador, revela que al aplicar los principios globales se ven afectadas las brechas estructurales de las pequeñas explotaciones. En parroquias como Múlalo, más de 83% de las familias campesinas poseen pequeñas propiedades de menos de una hectárea. Un análisis exhaustivo de estas áreas revela que la organización es la principal razón de la supervivencia de las zonas rurales. Los productores que forman parte de grupos son más sostenibles porque pueden vender sus productos a precios justos. En cambio, productores que trabajan solos no son sostenibles porque tienen que vender a precios bajos fijados por intermediarios informales, y además existe una gran brecha cultural y social que les dificulta el éxito (Jiménez et al, 2022).

7.5.1. Importancia económica local

La dinámica productiva de la zona se distribuye entre diferentes sectores, donde coexisten y se apoyan mutuamente tres sectores principales: el sector terciario o de servicios, el sector industrial y el sector manufacturero y comercial. A diferencia de la mayoría de los demás cantonés de la provincia de Cotopaxi, donde la mayoría de empleos (42,3%) provienen de la producción agrícola y ganadera básica, Latacunga rompe con esta tendencia debido a su alta concentración de industria y comercio (PEDI, 2025).

El sector lechero es uno de los principales pilares de la economía rural y urbana del Cantón Latacunga. A nivel macroeconómico, la industria láctea en Ecuador aporta alrededor del 4% al Producto Interno Bruto (PIB) del país y emplea aproximadamente 1,2 millones de personas. En este contexto nacional, la provincia de Cotopaxi desempeña un papel fundamental al albergar el 12,83% de la población bovina total del país, lo que la convierte en la tercera provincia con mayor producción de leche, contribuyendo con el 17,57% del suministro total de leche líquida (Quintana, 2024).

Dentro de la estructura interna del cantón Latacunga, el sector lechero se distingue por la existencia de pequeñas fincas y unidades de producción de tamaño medio, en la sierra central, este dinamismo está muy fragmentado, se estima que el 92,01% de los pequeños productores ganaderos locales tienen tierras de hasta una hectárea y cuidan hatos de entre 1 a 10 vacas en etapa de producción activa. Las parroquias rurales del cantón, como Múlalo, Poaló o Belisario Quevedo, sirven como las principales áreas donde se recoge el producto inicial (Franco Crespo et al., 2019).

7.6. Manejo del suelo y pasturas

La gestión del suelo y los pastos en el cantón Latacunga enfrenta serios desafíos debido a la presión de la pequeña ganadería lechera y las pequeñas propiedades, que han acelerado el deterioro físico del suelo. El uso inadecuado de la maquinaria agrícola y el obre pastoreo constante causan una grave compactación mecánica en el suelo volcánico de la zona. Como resultado, se altera la porosidad natural del suelo, lo que retrasa considerablemente la infiltración de agua, restringe el crecimiento de las raíces forrajeras y limita la cantidad de biomasa disponible para el ganado (Medina Vallejo, 2023). Este problema físico se ve agravando por los riesgos químicos y para la salud derivados del uso de agua contaminada; en canal de riego Latacunga, Salcedo, Ambato, fundamental para la agricultura local, presenta trazas de metales pesados y vertidos de residuos que podrían poner en peligro la sostenibilidad a largo plazo de los pastizales (Ordóñez Padilla, 2024).

Ante este escenario, el uso de alternativas sostenibles, como los Sistemas Silvopastoriles (SSP), se ha vuelto muy importante en la región andina. Estudios locales muestran que la combinación de componentes arbóreos como pastizales tradicionales mejora notablemente las propiedades químicas del suelo, aumentando la disponibilidad de materia orgánica, fosforo y calcio. En la zona alrededor de Cotopaxi, especies como el aliso *(Alnus glutinpsa)* y la guaba *(Inga edulis)* han demostrado una alta eficiencia en la fijación de nitrógeno y la acumulación de materia seca para el forraje circundante, superando ampliamente los rendimientos obtenidos en sistemas de monocultivo de pastos en campo abierto (Cañizares, 2020).

Por último, la sostenibilidad del manejo de pastizales en Latacunga está estrechamente ligada a la protección de los ecosistemas de gran altitud. La expansión descontrolada de áreas agrícolas y ganaderas a zonas altas como el páramo ha provocado una pérdida constante de la cubierta vegetal nativa en la Sierra Central del Ecuador. El pisoteo del ganado en estas zonas vulnerables de gran altitud destruye la estructura porosa del suelo, reduciendo su capacidad natural para retener agua, acelerando la erosión eólica e hídrica e incrementando la pérdida de nutrientes esenciales hacia las zonas bajas de los ríos (Levy, 2023).

8. VALIDACION DE PREGUNTA CIENTIFICA

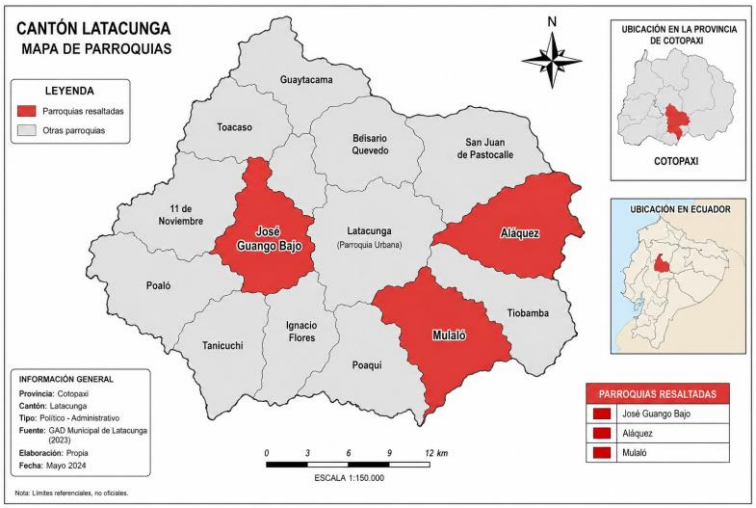
¿De qué manera la calidad del suelo, evaluada mediante la cromatografía circular de Pfeiffer, se relaciona con la sostenibilidad de los sistemas de producción lechera familiar del cantón Latacunga?

9. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1. Lugar de estudio

Figura 3.

Mapa de Parroquias Cantón Latacunga



Fuente: Elaboración Propia

La presente investigación se desarrolló en las parroquias rurales de Múlalo, José Guango Bajo, Alaquez, pertenecientes al cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Estas parroquias se localizan en la zona norte y centro del cantón Latacunga, caracterizándose por una importante actividad agropecuaria basada principalmente en la producción de leche y manejo de pasturas.

La parroquia de Múlalo se encuentra ubicada al norte del cantón Latacunga, limitando al norte del cantón Mejía, al sur con las parroquias Alaquez y José Guango Bajo, al este con la provincia de Napo y al oeste con las parroquias Pastocalle, Tanicuchi y Guaytacama. Posee una superficie aproximada de 50.942,48 ha y un rango altitudinal que va desde 3.000 hasta los 5.897 msnm debido a la presencia del volcán Cotopaxi en su territorio (GAD Parroquial Mulaló, 2024).

Las parroquias Aláquez y José Guango Bajo se encuentran dentro de la zona de influencia agropecuaria del cantón Latacunga. Ambas parroquias presentan condiciones climáticas y edáficas favorables para la producción de pastos y la explotación ganadera, siendo reconocidas por su aporte a la producción lechera de la provincia de Cotopaxi. Además, forman parte del área de influencia del volcán Cotopaxi, por lo que se consideran territorios prioritarios para la gestión de riesgos y la planificación territorial (GAD Parroquial Tanicuchí, 2023).

9.1.1. Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, de tipo no experimental, ya que no se manipularon deliberadamente las variables de estudio; el investigador se limitó a observar y registrar las condiciones existentes en los potreros y predios evaluados (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). El diseño es transversal (o transeccional), pues las variables de salud edáfica, biomasa forrajera y producción lechera fueron medidas en un único momento en el tiempo, sin seguimiento longitudinal de los mismos potreros.

Por su alcance, el estudio combina un componente descriptivo con uno correlacional: primero se caracteriza el estado de la salud edáfica de los potreros evaluados (Objetivo Específico 1); luego se determina el grado de asociación entre la salud edáfica y la biomasa forrajera (Objetivo Específico 2); y finalmente se explora la asociación entre la salud edáfica y los indicadores de sostenibilidad económica del predio (Objetivo Específico 3).

El estudio contempla dos unidades de análisis anidadas: el potrero (unidad primaria, n = 46), sobre la cual se midieron la salud edáfica y la biomasa forrajera; y el productor o predio (n = 21), sobre la cual se registraron la producción de leche y la superficie, variables constantes entre los distintos potreros de una misma finca.

9.1.2. Población y muestra

La población de estudio estuvo conformada por los productores de sistemas lecheros familiares del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Se empleó un muestreo censal (no probabilístico): se incluyó a la totalidad de productores disponibles y accesibles que cumplieron con los criterios de inclusión del estudio, sin un proceso adicional de selección aleatoria.

La muestra final quedó constituida por 21 productores y 46 potreros (entre 1 y 3 potreros evaluados por productor, según la disponibilidad de divisiones dentro de cada predio). Al tratarse de un censo sobre la población accesible, los hallazgos son representativos del grupo de productores evaluado; su extrapolación a otras zonas del cantón o la provincia debe realizarse con cautela.

9.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

9.2.1. Evaluación de la salud edáfica: cromatografía circular de Pfeiffer

La salud edáfica de cada potrero se evaluó mediante la técnica de cromatografía circular de Pfeiffer, un método cualitativo desarrollado por Ehrenfried Pfeiffer que permite visualizar de forma indirecta el estado biológico, la actividad microbiana y el equilibrio general del suelo

a partir de los patrones de difusión que forma una muestra de suelo tratada con nitrato de plata ($AgNO_3$) e hidróxido de sodio (NaOH) sobre papel de filtro circular.

De manera general, el procedimiento comprendió las siguientes etapas: (i) recolección de una muestra de suelo representativa del potrero a una profundidad aproximada de 0-20 cm; (ii) preparación de la solución de suelo con los reactivos correspondientes; (iii) impregnación del papel de filtro circular mediante mecha o jeringa, permitiendo la difusión radial de la muestra; (iv) secado y revelado del cromatograma bajo condiciones controladas de luz; y (v) interpretación visual del cromatograma resultante (color, textura, zonificación y presencia de anomalías), comparándolo con patrones de referencia para asignar una categoría de 1 (muy deteriorado) a 5 (excelente).

En cada potrero se tomaron varias muestras de suelo de forma independiente (submuestras en distintos puntos), con el fin de captar la variabilidad espacial dentro de la misma unidad y obtener una evaluación cromatográfica más representativa de su condición general.

9.2.2. Evaluación de la biomasa forrajera

La biomasa forrajera de cada potrero se determinó mediante el método de corte y pesaje. Se delimitó un área de muestreo mediante un marco (cuadrante) de superficie conocida, dentro del cual se cosechó el forraje a ras de suelo (o a la altura de corte definida). El material cosechado se pesó en fresco en campo (peso fresco, g/m^2) y, posteriormente, se tomó una submuestra secada en estufa a temperatura y tiempo controlados hasta peso constante, para obtener el peso de materia seca (g/m^2). El porcentaje de materia seca se calculó como el cociente entre el peso de materia seca y el peso fresco, multiplicado por 100.

9.2.3. Procesamiento y análisis estadístico de los datos

Los datos fueron traídos del archivo Excel original por medio del paquete readxl (v1.4.x) de R (R Core Team, 2024). La variable de salud edáfica originalmente digitada como texto (por ejemplo: “Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)”) fue convertida a numérica entera (1-5) por extracción de patrón con expresiones regulares. Se realizaron verificaciones de consistencia interna del peso fresco contra la materia seca y del peso fresco y materia seca contra el porcentaje de materia seca; no se detectaron inconsistencias ni faltantes en las variables claves.

Se calcularon distribuciones de frecuencia absoluta y relativa de las categorías cromatográficas a nivel de potrero (n = 46) correspondientes al Objetivo Específico 1. También

se calcularon el valor medio, la desviación estándar, la mediana y el rango intercuartílico del score promedio a nivel de productor (n = 21). Se identificaron los predios que fueron considerados como los de mayor variabilidad intra-finca, definida como un diferencia ≥ 2 puntos entre el score máximo y el score mínimo de sus potreros.

Con la finalidad de estudiar el objetivo específico 2 se utiliza la correlación de rangos de Spearman (ρ). Se utiliza tal correlación dado que la variable predictora (score cromatográfico) es de naturaleza ordinal por lo que queda excluida la correlación de Pearson. Se determinó la relación del score cromatográfico con tres biomasas: materia seca, peso fresco y el porcentaje de materia seca. De forma complementaria, se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para comparar las medianas de biomasa de las cuatro categorías cromatográficas, cuantificando la magnitud del efecto a partir de la eta cuadrada aproximado (η^2) según los umbrales de Cohen. Cuando el Kruskal-Wallis fue significativo ($p < 0,05$), Dunn post-hoc con Bonferroni fue implementado para el par de categorías con diferencia significativa ($p < 0,05$)

La metodología de análisis para el Objetivo Específico 3 se llevó a cabo a nivel de productor (n = 21). Para ello, el score cromatográfico promedio del predio fue utilizado como variable predictora; en tanto, como variable de respuesta se aplicó la productividad lechera corregida por superficie (L/día/ha). Por último, se complementó con la producción total (L/día) como variable secundaria. La asociación se cuantificó mediante correlación de Spearman. Dado el tamaño muestral reducido (potencia estadística aproximada de 40-55 % para efectos medianos, $\rho \approx 0,4$), todos los resultados de este objetivo se declaran de carácter exploratorio.

El umbral de significancia estadística empleado en todas las pruebas fue $\alpha = 0,05$. Los análisis se realizaron íntegramente en el software R, versión 4.4.x (R Core Team, 2024), utilizando los paquetes readxl, dplyr, tidyr y stringr para la manipulación de datos; ggplot2, patchwork y ggrepel para la visualización; rstatix para la prueba de Kruskal-Wallis y el cálculo del tamaño del efecto; y dunn.test para la prueba post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni.

9.3. Metodología de muestreo

Para realizar el muestreo de suelo se revisó el protocolo de muestreo de suelo planteado por (Hernández-Rodríguez, 2021). En donde:

1. Se identificaron las áreas a muestrear, considerando áreas homogéneas que contengan distintos cultivos forrajeros.

2. Dependiendo de la homogeneidad del terreno, se selecciona un muestreo al azar a lo largo de todo el terreno para obtener las submuestras.
3. En cada punto de muestreo, se retiran con cuidado los primeros 2 a 3 cm de cobertura vegetal superficial.
4. Se usó una hoyadora para perforar el suelo a la profundidad deseada y una espátula para obtener la muestra.
5. La profundidad utilizada fue de 20 cm; se recolectaron 10 submuestras en todo el campo eliminando áreas atípicas.
6. Se mezclan vigorosamente en una funda Ziploc para obtener una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg.
7. Para el etiquetado de muestras se generaron códigos con el nombre de cada productor: ER (nombre y apellido del productor), P1 (potrero).

9.4. Metodología de cromatografía de papel

Para realizar las cromatografías de suelo se revisó el protocolo de (Rivera & Pinheiro 2011), donde se menciona que para el análisis cromatográfico existen diferentes actividades:

1. Las muestras se secaron por 3 días sobre hojas de papel boom.
2. Las submuestras, se procede a moler en un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino semejante al talco.
3. Se pesan 5 g de la muestra pulverizada y se identifica, con el código respectivo, el suelo restante que se almacena como contramuestra de seguridad.
4. Se preparó una solución de hidróxido de sodio (NAOH), al 1% en agua destilada para disolver el suelo. En donde por cada muestra de 5g se usó 50 ml de la solución.
5. Se preparó una solución de nitrato de plata (AgNO3) al 0.5%. y se procedió a disolver medio gramo de nitrato de plata en 100 ml de agua destilada.
6. Se preparó el papel filtro de forma circular y con diámetro de 14 cm y perforado en el centro con un palillo de dientes en diámetro aproximado de 2 mm.
7. Se elaboran los pabilos (pequeños trozos de papel filtro enrollado) con papel filtro, de forma cuadrada con medidas de 2 cm por lado.

8. Una vez marcado el centro se mide 4 y 6 cm para saber hasta dónde va a correr la solución de (AgNO3) y seguidamente el (NAOH) con la disolución del suelo.

9. Una vez marcado el papel se hace el corrido del (AgNO3) ubicando la caja Petri pequeña dentro de la grande, agregamos la solución de nitrato de plata y colocamos el papel filtro con su respectivo pabilo, una vez impregnada la solución hasta los 4 cm retiramos con cuidado el pabilo y guardamos en una caja de cartón colocando papel bond y cubriéndolo de ambas caras con papel secante, cerramos muy bien y esperamos que seque aproximadamente entre 4 horas.

10. Una vez listo el papel se mezcla los 5 gr de suelo con los 50ml preparados de la solución de hidróxido de sodio, seguidamente se realizan series de 7 giros a la derecha y 7 a la izquierda hasta completar 49 giros. La muestra se deja en reposo por 15 minutos y volvemos a dar los giros, la muestra se vuelve a dejar en reposo por una hora y nuevamente se dan los giros. Finalmente se deja reposar por 6 horas para completar el tiempo de reacción del (NAOH).

11. Una vez que haya reposado completamente la solución de (NAOH), y el secado del papel filtro se ubica la caja Petri pequeña en la grande, con la ayuda de una jeringa se toma 20 ml de la solución y se ubica en la caja pequeña. Posteriormente se coloca el papel impregnado y se realiza el "corrido final de la muestra", la cual esta se hace de aproximadamente 6 cm.

12. El secado de la cromatografía final se lo realiza retirando el pabilo y cubriéndolo de ambas caras con papel secante. Se realiza su respectiva identificación y se guarda en una caja de cartón hasta que esté bien seco, después de este tiempo se coloca en una ventana para su respectiva revelada.

13. Una vez secos los cromatogramas se debe identificar utilizando el respectivo código de cada muestra, se deben marcar con un lápiz en el espacio del final de la muestra.

14. Finalmente, los resultados de la cromatografía se deben guardar con separadores para que no se decoloren, este protocolo de cromatografía proporcionará la siguiente información:

- Estructura del suelo
- Presencia de minerales
- Presencia de materia orgánica

9.5. Metodología de biomasa de forraje

La medición de la biomasa forrajera se realizó basado el método de corte directo con cuadrante, siguiendo el procedimiento descrito por (Méndez Vinueza, 2021)

1. En cada potrero se identificaron tres zonas donde el pasto crecía de manera uniforme, evitando las orillas y los lugares donde había sombra o charcos de agua.
2. En cada una de estas zonas se lanzó el cuadrante de PVC de 0,50 m × 0,50 m dos veces, lo que dio un total de seis muestras de forraje verde por potrero.
3. Todo el pasto que quedó dentro del cuadrante se cortó a ras del suelo, se recogió y se pesó con una romana, anotando el peso fresco en kilogramos.
4. La totalidad de cada muestra recolectada se extendió se dejó secar al sol durante tres días consecutivos, hasta que el peso ya no presentaba variación, momento en el que se registró el peso seco final.
5. Con los pesos obtenidos se calculó el porcentaje de materia seca de cada muestra utilizando la fórmula para calcular el porcentaje de Materia Seca:

$$\%\, MS = \frac{Peso\ seco(g)}{Peso\ fesco\ (g)} x100$$

6. Finalmente, para conocer la cantidad de forraje disponible por hectárea, se multiplicó el peso seco de cada muestra por el factor 40 y se promedió el resultado de las tres muestras de cada unidad productiva utilizando la fórmula para calcular los kilogramos de Materia Seca por hectárea:

$$Kg\ MSxha = Peso\ seco(g)x40$$

9.6. Metodología de producción de leche

Para llevar el registro de la producción de leche, en cada unidad productiva una vez al mes durante todo el tiempo que duró la evaluación. En cada visita se recogía la leche de cada vaca por separado, usando un recipiente limpio durante el ordeño, y se medía la cantidad de leche producida. Así se iba anotando cuánto producía cada animal y cuántos litros en total salía de la finca ese día (PROAMAZONIA, 2022).

9.7. Calculo de producción de leche

1. Se registró cantidad de promedio leche producida diariamente por cada unidad productiva, expresada en litros por día.

2. La producción mensual se obtuvo multiplicando la producción promedio:

$$\boldsymbol{Produccion\ mensual(Lxmes) = Produccion\ diaria(Lxdia)\ x\ 30}$$

3. El ingreso mensual se estimó considerando un precio de venta de USD 0,40 por litro, utilizando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{Ingreso\ mensual = Produccion\ mensual(L) X\ 40}$$

4. El costo de producción se calculó tomando como referencia un costo de USD 0,22 por litro de leche producido, mediante la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{Costo\ mensual\ (USD) = Produccion\ mensual\ (L) x\ 0,22}$$

5. Finalmente, la ganancia mensual se obtuvo restando el costo mensual de producción al ingreso mensual:

$$\boldsymbol{Ganancia\ mensual = Ingreso\ mensual - Costo\ mensual}$$

(Espinoza-Ortega et al., 2007)

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

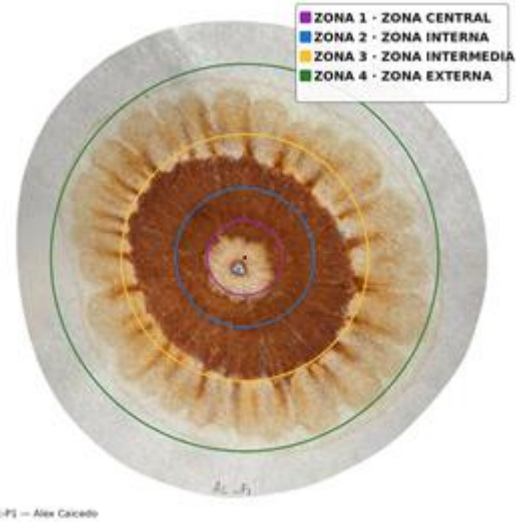
10.1. Interpretación de cromas

Productor: Alex Caicedo

Tabla 5.

Interpretación del cromatograma AC-P1 del productor Alex Caicedo

Código: AC-P1 — Alex Caicedo · Cultivo/Forraje: Alfalfa · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1.20	1	1.70	2.20	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**Pardo negruzco**	**Café ligero**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**Irregular**	**Circular**	**No aplica**
OTROS	**Contenido moderado de materia orgánica** **Actividad microbiana baja** **Suelo compactado – sin aireación**				
	Sin datos				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La cromatografía AC-P1 presenta una adecuada diferenciación entre la zona central, interna, intermedia y externa, con transiciones graduales que evidencian una buena integración entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La zona central de tonalidad crema clara indica una estructura favorable, adecuada aireación y ausencia de compactación significativa. La parte más interna presentó una distribución relativamente homogénea de la fracción mineral, mientras que la parte intermedia mostró un proceso activo de humificación y una buena interacción entre la materia orgánica y los minerales. La presencia de abundantes patrones radiales en la zona externa evidencia una elevada actividad microbiológica y enzimática, favoreciendo la formación de humus estable y el reciclaje de nutrientes.

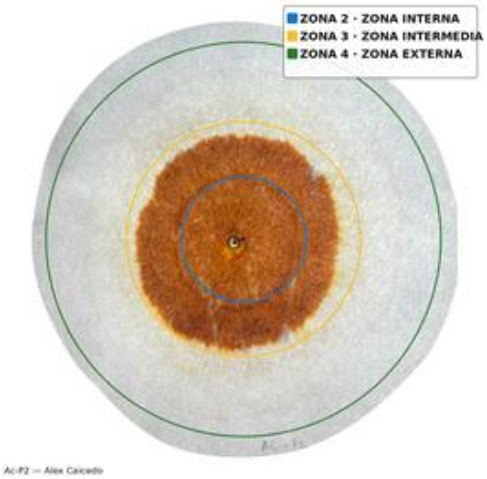
Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

El área donde se realizó el muestreo de suelo se encontraba establecida con un cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Para estimar la producción de biomasa, se efectuó un corte utilizando un cuadrante de área conocida. La biomasa fresca obtenida presentó un peso de 1,20 kg m². Posteriormente, mediante la determinación del contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento equivalente a 202g MS m², valor que fue utilizado para el análisis de la productividad del forraje en relacin con la calidad del suelo.

Tabla 6.

Interpretación del cromatograma AC-P2 del productor Alex Caicedo

Código: AC-P2 — Alex Caicedo · Cultivo/Forraje: Rye grass, trébol, llantén · Parroquia: Mulalo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	No aplica	2.20	1.90	2.80	No aplica
		DESCRIPCIÓN			
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

Se forma un disco compacto de color naranja-rojizo con apenas un punto central pálido y un borde liso, sin ninguna proyección radial hacia afuera. Solo se alcanzan a diferenciar dos zonas una especie de zona central diminuta y un anillo mineral (ZI) en lugar de las cuatro o cinco bandas concéntricas de un suelo saludable; la zona intermedia proteica y la franja enzimática externa (ZE) prácticamente no se desarrollan. La ausencia de canales o picos y el borde parejo son, según la guía, típicos de suelos con manejo más convencional y actividad biológica limitada, lo que ubica esta muestra en el nivel 2 (Deficiente).

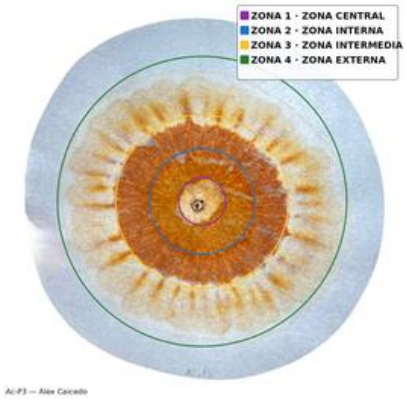
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

El área donde se realizó el muestreo de suelo se encontraba establecida con una asociación forrajera compuesta por ryegrass (*Lolium perenne* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y llantén (*Plantago major* L.). La producción de biomasa se determinó mediante el método del cuadrante, obteniéndose un peso de biomasa fresca de 0,60kg m². Posteriormente, al determinar el contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 109g MS m², valor que fue empleado para evaluar la productividad del forraje en relación con la calidad del suelo.

Tabla 7.

Interpretación del cromatograma AC-P3 del productor Alex Caicedo

Código: AC-P3 — Alex Caicedo · Cultivo/Forraje: Alfalfa · Parroquia: Mulalo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1	1.20	1.40	2.40	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	Café ligero	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Circular	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana media Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La cromatografía AC-P3 muestra una adecuada organización de las zonas cromatográficas, con una zona central bien definida y una transición progresiva hacia las zonas interna, intermedia y externa, reflejando una buena integración funcional del suelo. La zona central indica condiciones favorables de aireación y estructura, mientras que la zona interna evidencia una adecuada distribución de la fracción mineral. La zona intermedia presenta una integración apropiada entre los minerales y la materia orgánica, favoreciendo los procesos de humificación. Los abundantes patrones radiales observados en la zona externa representan una elevada actividad microbiológica y enzimática, asociada con una eficiente transformación de la materia orgánica y un adecuado contenido de nutrientes.

Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

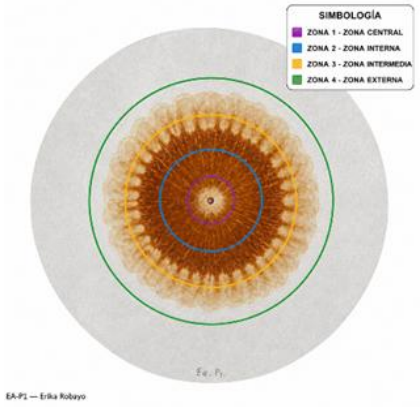
El área donde se realizó el muestreo de suelo se encontraba establecida con un cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.). La producción de biomasa se determinó mediante el método del cuadrante, obteniéndose un peso de biomasa fresca de 1,30 kg m². Posteriormente, al determinar el contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 2708 g MS m², valor que fue empleado para evaluar la productividad del forraje en relación con la calidad del suelo.

Productora: Erika Robayo

Tabla 8.

Interpretación del cromatograma ER-P1 del productor Erika Robayo

Código: ER-P1 — Erika Robayo · Cultivo/Forraje: Alfalfa, rye grass · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.60	0.70	1.90	1.60	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	Café ligero	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Circular	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado - sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La muestra ER-P1 presenta una adecuada diferenciación de las zonas cromatográficas y una integración armónica entre ellas, lo que refleja un equilibrio entre la estructura del suelo, la fracción mineral y la materia orgánica. La zona central evidencia una buena aireación, mientras que las zonas internas e intermedia muestran una adecuada interacción entre los minerales y los procesos de humificación. La zona externa desarrolla numerosos patrones radiales bien definidos, característicos de una elevada actividad microbiológica y enzimática, favoreciendo la estabilización del humus y el contenido de nutrientes.

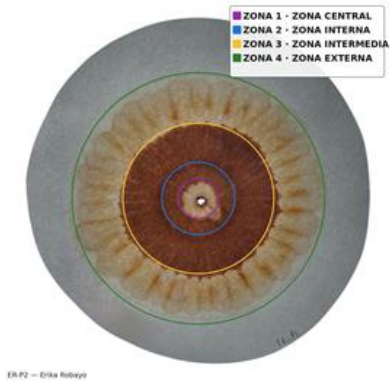
Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

La muestra se realizó sobre una asociación de alfalfa (Medicago sativa L) y ryegrass (Lolium perenne L). La estimación de forraje se realizó mediante el método del cuadrante, que consistió en tomar una muestra para registrar la producción de biomasa fresca; así se registró 1,00kg m^2. Posteriormente, una vez determinado el contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 175 g MS m^2, medida utilizada para caracterizar la producción forrajera de la zona evaluada y su relación con la calidad del suelo.

Tabla 9.

Interpretación del cromatograma ER-P2 del productor Erika Robayo

Código: ER-P2 — Erika Robayo · Cultivo/Forraje: Alfalfa · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.90	0.70	1.70	2.20	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	Café ligero	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Circular	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado - sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La cromatografía ER-P2 presenta una clara diferenciación entre las zonas cromatográficas. Además, presenta una buena separación entre la zona mineral y la zona proteica. A pesar de que hay una inconsistencia entre la zona interna y la zona central, las demás de aislamiento entre sí favorablemente y esto permite un desempeño correcto de los procesos biológicos del suelo. La existencia de patrones radiales bien definidos en la zona externa refleja una alta actividad microbiológica e importante transformación de materia orgánica en formas más estables.

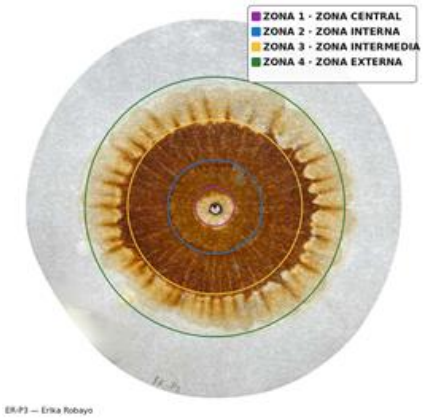
Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

El área donde se lleva a cabo la investigación corresponde a alfalfa (Medicago sativa L.). La cantidad de biomasa se midió usando el método del cuadrante y registrando una producción en forraje fresco de 1,10 kg m². Tras calcular el contenido de materia seca, se logró cosechar 215 g MS m², valor que sirvió en la caracterización de la productividad forrajera de la zona y su vinculación con la calidad del suelo.

Tabla 10.

Interpretación del cromatograma ER-P3 del productor Erika Robayo

Código: ER-P3 — Erika Robayo · Cultivo/Forraje: Alfalfa · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**0.80**	**1.10**	**1.60**	**1.70**	**No aplica**
		DESCRIPCIÓN			
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**Pardo negruzco**	**Café ligero**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**Irregular**	**Circular**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja**	**Contenido moderado de materia orgánica**	**Actividad microbiana baja**	**Suelo compactado - sin aireación**	
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La muestra ER-P3 presenta un color homogéneo, las zonas del mismo están bien integradas y existe un predominio de un suave degradé del color, lo cual revela que el sistema de suelo se muestra funcional. La zona intermedia registra buenas condiciones de aireación, mientras que el área interna, junto a la fracción mineral que inserta en la materia orgánica que se humidifica. La actividad enzimática y microbiológica que muestran los patrones radiales activos en la zona externa es muy elevada, lo cual favorece la formación de humus estable y el reciclado de nutrientes.

Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

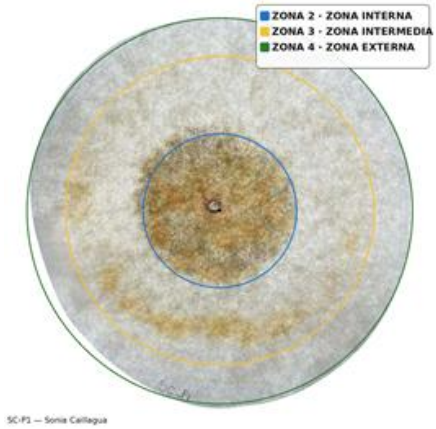
La producción de biomasa fresca se determinó mediante el método del cuadrante, obteniéndose un rendimiento de 1,00 kg m^2. Posteriormente, una vez determinado el contenido de materia seca, se registró una producción de 174 g MS m^2, valor considerado para el análisis de la productividad del cultivo en función de la calidad del suelo.

Productora: Sonia Cailagua

Tabla 11.

Interpretación del cromatograma SC-P1 del productor Sonia Cailagua

Código: SC-P1 — Sonia Cailagua · Cultivo/Forraje: Avena · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**No aplica**	**3**	**3**	**1.50**	**No aplica**
		DESCRIPCIÓN			
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**No diferenciada**	**No diferenciada**	**No desarrollada**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**No presenta caminos ni integración con ninguna zona, su transición de color es brusca y no tienen homogeneidad.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**No definida**	**No definida**	**Sin formación**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja** **Suelo Compactado – sin aireación**				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo pobre, biológicamente degradado.

Cromatografía SC-P1 se caracteriza por escasas diferencias entre zonas cromatográficas, predominancia oscura y carencia de radios, lo que sugiere una baja actividad biológica del suelo. La transición brusca entre las zonas indica una deficiente integración entre la fracción mineral, la materia orgánica y la microbiología, mientras que la falta de una zona externa desarrollada refleja un reducido proceso de humificación y contenido de nutrientes.

Clasificación final: MUY DETERIORADO (nivel 1/5)

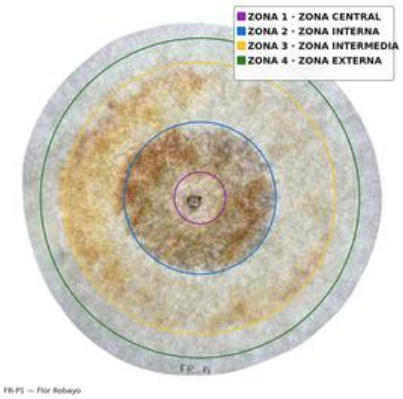
La producción de biomasa fresca fue estimada mediante el método del cuadrante, obteniéndose un rendimiento de 0,50 kg m². Posteriormente, tras la determinación del contenido de materia seca, se registró una producción de 98 g MS m², dato empleado para evaluar la productividad del cultivo y su relación con la calidad del suelo.

Productora: Flor Robayo

Tabla 12.

Interpretación del cromatograma FR-P1 del productor Flor Robayo

Código: FR-P1 — Flor Robayo · Cultivo/Forraje: Avena, vicia · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1.10	2.10	2.50	1	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La muestra FR-P1 tiene un patrón cromatográfico irregular, con una diferenciación parcial de las zonas y poca integración entre ellas. Las zonas central e interna están moderadamente desarrolladas. La baja actividad microbiológica y la escasa transformación de la materia orgánica están evidenciadas por la ausencia de un patrón radial. La escasa continuidad entre estos, sugieren déficits en el proceso de humificación y en el contenido natural de nutrientes.

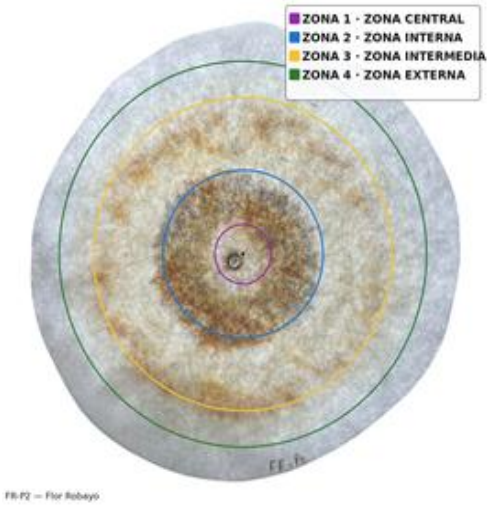
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

Los cultivos han presentado un buen comportamiento y rendimiento en la zona del ensayo en Particular. La producción de biomasa fresca se realizó mediante el método del cuadrante, obteniendo un rendimiento de 0,80 kg m2. Posteriormente, al determinar el contenido de materia seca, se obtuvo una producción de 149 g MS m^2, valor utilizado para el análisis de la productividad del sistema forrajero en relación con la calidad del suelo.

Tabla 13.

Interpretación del cromatograma FR-P2 del productor Flor Robayo

Código: FR-P2 — Flor Robayo · Cultivo/Forraje: Kikuyo, alfalfa · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**1**	**1.80**	**2.40**	**1.20**	**No aplica**
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**No diferenciada**	**No desarrollada**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**No definida**	**Sin formación**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja** **Contenido moderado de materia orgánica** **Actividad microbiana** **Suelo compactado – sin aireación**				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía FR-P2 muestra un comportamiento parecido al que se observó en la réplica anterior, es decir, se presenta cierta integración en las zonas cromatográficas, aunque el desarrollo de la zona externa se muestra escaso. La no aparición de proyecciones radiales es indicador de baja actividad enzimática y/o microbiológica, mientras que el poco continuo pasaje entre zonas se relacionaría con un insuficiente proceso de humificación.

Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

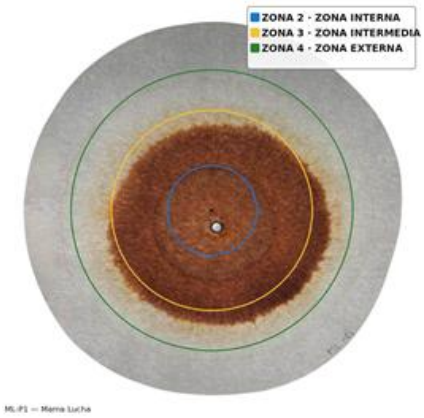
La evaluación de la producción de forraje se realizó mediante el método del cuadrante, obteniéndose una biomasa fresca de 0,80 kg m². Luego del proceso de determinación del contenido de materia seca, se estimó un rendimiento de 123g MS m², información empleada para analizar el comportamiento productivo del sistema forrajero en función de la calidad del suelo.

Productora: Mama Lucha

Tabla 14.

Interpretación del cromatograma ML-P1 del productor Mama Lucha

Código: ML-P1 — Mama Lucha · Cultivo/Forraje: Rye grass, trébol, llantén · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	No aplica	1.80	2.20	1.60	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La muestra ML-P1 del S.O.S. presenta un cromatograma donde las zonas no se diferencian y no presentan el patrón radial, lo que estaría indicando una baja actividad de microorganismos y poca integración de la materia orgánica con la fracción mineral. La transición poco definida entre las zonas caracteriza un proceso de humificación restringido y baja estabilidad del humus.

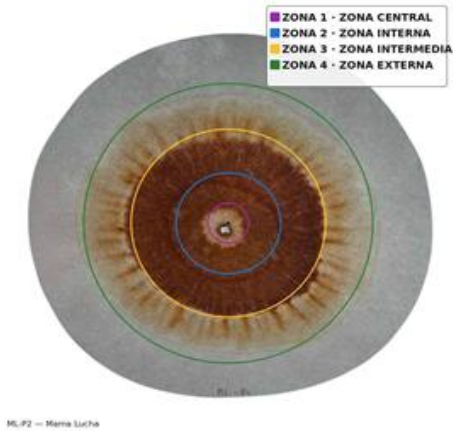
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

La parcela evaluada presentó una cobertura vegetal conformada por ryegrass (*Lolium perenne* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y llantén (*Plantago major* L.). La oferta de biomasa fue determinada mediante el método del cuadrante, alcanzando una producción de 0,78kg m² de forraje fresco. Posteriormente, tras el análisis del contenido de materia seca, se estimó un rendimiento de 150g MS m², valor considerado para la evaluación de la productividad forrajera y su relación con la calidad del suelo.

Tabla 15.

Interpretación del cromatograma ML-P2 del productor Mama Lucha

Código: ML-P2 — Mama Lucha · Cultivo/Forraje: Alfalfa, rye grass · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**0.80**	**1.20**	**1.70**	**1.80**	**No aplica**
		DESCRIPCIÓN			
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**Pardo negruzco**	**Café ligero**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**Irregular**	**Circular**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja** **Contenido moderado de materia orgánica** **Actividad microbiana baja** **Suelo compactado – sin aireación**				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La cromatografía de ML-P2 mostraba buenas diferencias cromatográficas en la que se van integrando progresivamente. Por lo que el suelo se estaba comportando de manera equilibrada. La zona central presenta buenas condiciones de aireación y las zonas internas e intermedia muestran una buena interacción entre minerales y materia orgánica. La zona externa presenta una considerable abundancia de patrones radiales, lo que evidencia una alta actividad de las microalgas y un intenso proceso de humificación, que permite la formación de humus estable y el enriquecimiento de los nutrientes del suelo.

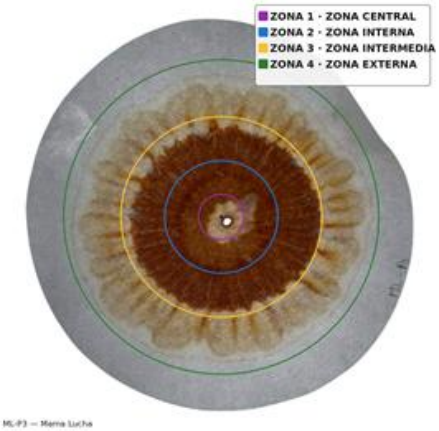
Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

La zona de evaluación presentó una asociación de alfalfa (Medicago sativa L.) y de ryegrass (Lolium perenne L.). La producción de forraje fresco fue estimada empleando el método del cuadrante, registrando 1,00 kg m². Posteriormente, a través de la determinación del contenido de materia seca se estimó una producción de 170 g MS m², lo cual es un parámetro utilizado para evaluar el potencial productivo del sistema forrajero al estar relacionado con la calidad del suelo.

Tabla 16.

Interpretación del cromatograma ML-P3 del productor Mama Lucha

Código: ML-P3 — Mama Lucha · Cultivo/Forraje: Alfalfa · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.90	1.30	1.70	2.20	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	Café ligero	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Circular	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La prueba de la muestra ml-p3 presenta un patrón cromatográfico que en todo el coche es homogéneo, donde se aprecia una clara diferenciación por zonas, y su integración en el conjunto es armoniosa además favorece el equilibrio de los procesos edáficos. La zona central es adecuada para la aireación, pero en las zonas internas e intermedia se presenta un proceso activo de transformación de la materia orgánica. La presencia de nítidos patrones radiales en la zona más externa confirma una importante actividad microbiológica y enzimática, así como un adecuado contenido en nutrientes.

Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

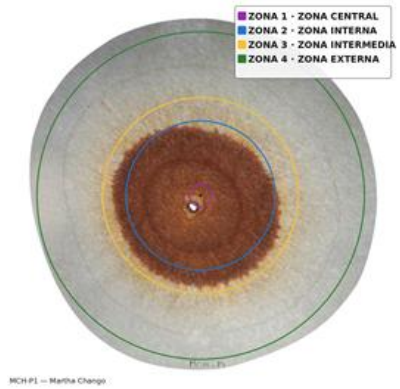
En el punto de muestreo ML–P3, el área evaluada correspondió a un cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.). La cuantificación de la biomasa fresca se realizó mediante el método del cuadrante, obteniéndose una producción de 1,50 kg m². Posteriormente, al determinar el contenido de materia seca, se estimó un rendimiento de 279 g MS m², valor utilizado como indicador de la productividad del cultivo para su posterior relación con la calidad del suelo.

Productora: Martha Chango

Tabla 17.

Interpretación del cromatograma MCH-P1 del productor Martha chango

Código: MCH-P1 — Martha Chango · Cultivo/Forraje: Rye grass, trébol, llantén · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.50	2.70	1	2.80	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía MCH-P1 muestra un escaso grado de diferenciación en las zonas cromatográficas, las cuales se distribuyen de modo concéntrico y no poseen proyecciones radiales. Las secciones del centro presentan una configuración menos que ideal, mientras que se las zonas internas e intermedia, se evidencia una buena integración parcial de la fracción mineral y materia orgánica. La mínima expresión de la zona externa indica poca actividad microbiológica y un proceso de humificación restringido, por lo que presenta bajo contenido de nutrientes.

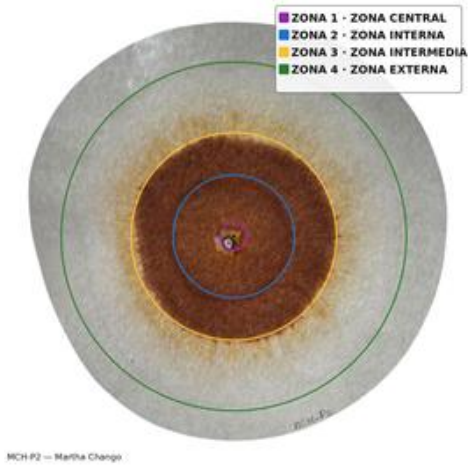
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

La muestra se realizo en una pradera compuesta por ryegrass (Lolium perenne L.), trébol blanco (Trifolium repens L.) y llantén (Plantago major L.). La biomasa fresca se estimó utilizando el método del cuadrante y obtuvo un rendimiento de 0,70 kg m^2. El análisis del contenido de materia seca arrojó una producción de 130 g MS m^2, cifra que se utilizó para la evaluación del comportamiento productivo de la pradera con respecto a la calidad del suelo.

Tabla 18.

Interpretación del cromatograma MCH-P2 del productor Martha chango

Código: MCH-P2 — Martha Chango · Cultivo/Forraje: Rye grass, alfalfa, llantén · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.50	1.70	1.50	2.50	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La Muestra MCH-P2 muestra un comportamiento semejante al de la réplica anterior. Presenta una diferenciación parcial en sus zonas cromatográficas las cuales están poco integradas. La falta de patrones radiales indica que hay una baja actividad de microbiológica, así como el paso poco definido entre las zonas muestra que hay una baja eficiencia en la humificación y en la estabilización de la materia orgánica. Estas características indican que es un suelo de escasa capacidad de reciclaje de nutrientes y de fertilidad biológica Deficiente.

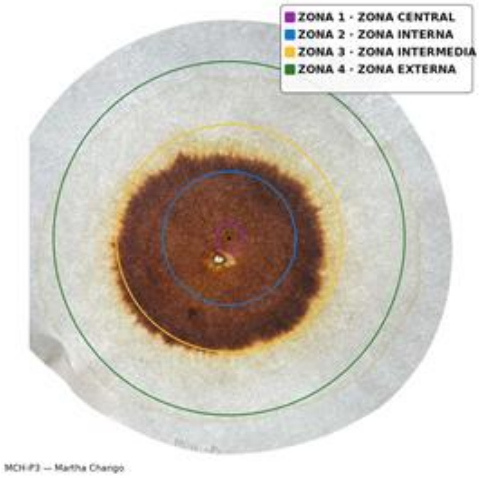
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

El área evaluada fue umbracuyes presenta.Las plantas de porrajes enumbracuyes que se utilizan, están constituidos por ryegrass (Lolium perenne L) y alfalfa (Medicaeagle porrajes). La estimación de la biomasa disponible se realizó por medio del método del cuadrante, con una producción de forraje fresco de0,65kg m^2. Seguidamente, mediante la evaluación del contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 112 g MS m2, valor utilizado como indicador de la capacidad productiva de la asociación forrajera y su relación con las condiciones de calidad de los suelos.

Tabla 19.

Interpretación del cromatograma MCH-P3 del productor Martha chango

Código: MCH-P3 — Martha Chango · Cultivo/Forraje: Rye grass, llantén · Parroquia: Mulaló



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.50	1.80	1.60	2.16	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	No diferenciada	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	No presenta caminos ni integración con ninguna zona, su transición de color es brusca y no tienen homogeneidad.				
FORMACIÓN	Irregular	No definida	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo pobre, biológicamente degradado.

La cromatografía MCH-P3 presenta un patrón escasamente desarrollado de tonalidades oscuras, sin proyecciones radiales y diferenciación cromática muy pobre entre las zonas identificadas. La falta de aireación, posible compactación y baja actividad microbiológica impiden formación de humus estable y reciclaje de nutrientes. La abrupta transición entre las zonas indica una mala integración de los procesos físicos, químicos y biológicos en el suelo. Por lo tanto, la muestra se clasifica como suelo muy deteriorado.

Clasificación final: MUY DETERIORADO (nivel 1/5)

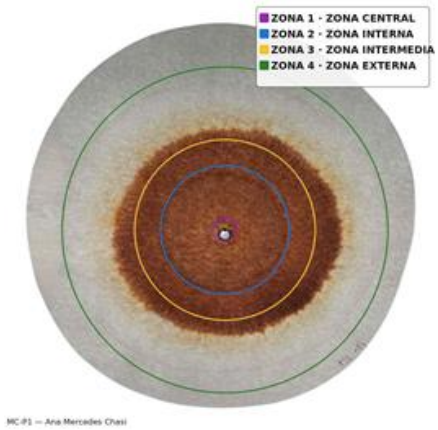
El sitio testado estuvo conformado por una mezcla forrajera de ryegrass (Lolium perenne L.) con llantén (Plantago major L.). La biomasa se determinó con el método del cuadrante bajo condiciones de muestreos por el método de trios, produciendo forraje fresco 0,70 kg m². Una vez determinado el contenido de materia seca se obtuvo un rendimiento de 132 g MS m². Este valor se utilizó para caracterizar la productividad del sistema forrajero y su relación con las condiciones de calidad del suelo.

Productora: Ana Mercedes Chasi

Tabla 20.

Interpretación del cromatograma MC-P1 del productor Ana Mercedes Chasi

Código: MC-P1 — Ana Mercedes Chasi · Cultivo/Forraje: Rye grass · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.50	2	1	2.80	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La MC-P1 mostró un cromatograma con escasa diferenciación de zonas con poca o nula presencia de patrones radiales, lo que muestra escasa actividad biológica y pobre integración de los componentes del suelo. En el acantilado la transición entre zonas es discontinuo lo que sugiere un proceso de humificación restringido, así como una baja estabilidad de la materia orgánica. El tamaño de la expresión de la parte externa determina el contenido natural de nutrientes que contiene además que el manejo no le permite realizar plenamente su funcionalidad biológica. Por lo tanto, la muestra equivale a una fertilidad biológica.

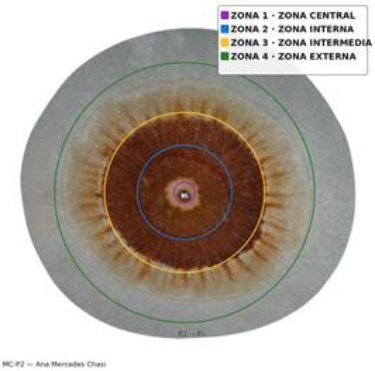
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

Área de evaluación cuya pradera se encuentra establecida con ryegrass (Lolium perenne L.) La estimación de biomasa se realizó a través del método del cuadrante con una obtención de la producción de forraje fresco de 1,00 kg m^2. Posteriormente, luego de la determinación de su contenido de materia seca, se obtuvieron 184 g MS m^2, parámetro que se usa para valorar el rendimiento del cultivo y su comportamiento respecto a la calidad del suelo.

Tabla 21.

Interpretación del cromatograma MC-P2 del productor Ana Mercedes Chasi

Código: MC-P2 — Ana Mercedes Chasi · Cultivo/Forraje: Rye grass, trébol, llantén · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.50	1.70	1.50	2.30	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	Café ligero	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Circular	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La cromatografía MC-P2 muestra una correcta separación entre las zonas de cromatografía e integración gradual evidenciando equilibrio entre fracción mineral, materia orgánica y actividad microbiológica. La zona intermedia muestra buenas condiciones de aereación pero la zona externa presenta desarrollos radiales que denotan alta actividad enzimática y eficaz reciclaje entre nutrientes. La zona presenta armonía que facilita los procesos de humificación y la producción de humus estable.

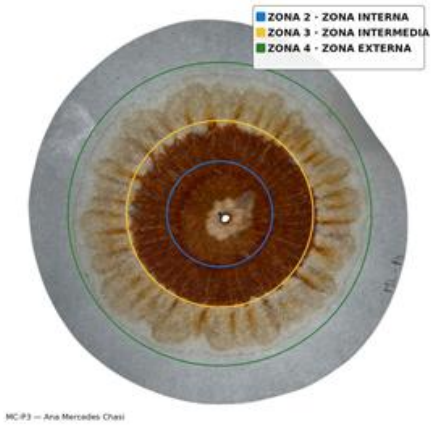
Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

El área analizada presentó una cobertura vegetal conformada por ryegrass (*Lolium perenne* L.), trébol blanco (*Trifolium repens* L.) y llantén (*Plantago major* L.). La evaluación de la biomasa forrajera se realizó mediante el método del cuadrante, determinándose una producción de forraje fresco de 0,60 kg m². Posteriormente, mediante la estimación del contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 109 g MS m², valor considerado para la caracterización del potencial productivo de la pradera y su relación con las condiciones del suelo evaluado.

Tabla 22.

Interpretación del cromatograma MC-P3 del productor Ana Mercedes Chasi

Código: MC-P3 — Ana Mercedes Chasi · Cultivo/Forraje: Rye grass, alfalfa, llantén · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**No aplica**	**2.10**	**1.60**	**2.30**	**No aplica**
		DESCRIPCIÓN			
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**Pardo negruzco**	**Café ligero**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**Irregular**	**Circular**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja** **Contenido moderado de materia orgánica** **Actividad microbiana baja** **Suelo compactado – sin aireación**				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La muestra MC-P3 presenta un color uniforme y bien mezclado, lo que demuestra que las propiedades biológicas del suelo son estables La adecuada diferenciación de las zonas y la presencia de patrones radiales, lo que indica una buena interacción entre minerales, materia orgánica y microorganismos. Facilita la actividad enzimática y disponibilidad de nutrientes. La transición suave entre las zonas muestra la actividad de los procesos de humificación y un desarrollo satisfactorio de humus estable.

Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

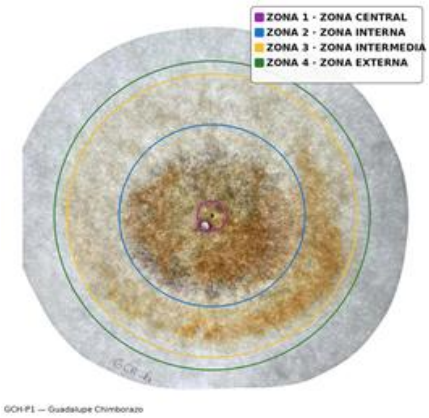
La forrajera que se evaluó consta de una mezcla de ryegrass (Lolium perenne L.), alfalfa (Medicago sativa L.) y llantén (Plantago major L.). Se llevó a cabo la evaluación de disponibilidad de biomasa mediante el método de cuadrante siendo la producción de forraje fresco de 0,75 kg m^2. Se calculó el rendimiento de 145 g MS m^2 y se determinó el contenido de materia seca, el cual se usó para el análisis de la asociación vegetal y sus relaciones con la calidad del suelo.

Productora: Guadalupe Chimborazo

Tabla 23.

Interpretación del cromatograma GCH-P1 del productor Guadalupe Chimborazo

Código: GCH-P1 — Guadalupe Chimborazo · Cultivo/Forraje: Kikuyo, alfalfa · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.60	3	2	0.50	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

El GCH-P1 mostró un patrón irregular, con escasa diferenciación entre las zonas cromatográficas y poco Inter relacionamiento entre la fracción mineral, la materia orgánica y la actividad microbiológica. La falta de patrones radiales y la distribución irregular de tonalidades indica que el proceso de humificación no es eficiente y que además, son poco eficientes en el reciclado de nutrientes. Estas propiedades evidencian un suelo con bajos niveles de actividad biológica y efectos de compactación o manejo convencional. En consecuencia, la muestra se clasifica con fertilidad biológica baja.

Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

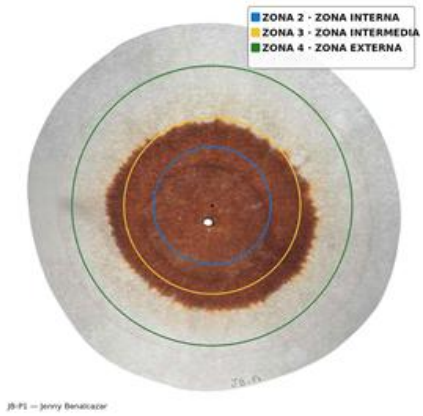
El establecimiento considerado fue una asociación forrajera, kikuyo (Cenchrus clandestinus[sin. Pennisetum clandestinum]) y alfalfa (Medicago sativa L.). Utilizando el método del cuadrante, se determinó la producción de biomasa con un peso de forraje fresco de 1,10 kg m². El rendimiento de 214 g MS m² fue determinado posteriormente a través del análisis del contenido de materia seca; este valor fue considerado como indicador de la productividad del sistema forrajero según la calidad del suelo.

Productora: Jenny Benalcazar

Tabla 24.

Interpretación del cromatograma JB-P1 del productor Jenny Benalcazar

Código: JB-P1 — Jenny Benalcazar · Cultivo/Forraje: Rye grass, trébol, llantén · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	No aplica	2.40	1.20	2.10	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía JB-P1 presenta un desarrollo limitado de las zonas cromatográficas, observándose una zona central y una zona interna poco diferenciadas, mientras que la zona intermedia y la zona externa prácticamente no se desarrollan. La ausencia de patrones radiales indica una baja actividad microbiológica y enzimática, limitando los procesos de humificación y contenido de nutrientes. La escasa integración entre las zonas refleja un suelo con poca interacción entre la fracción mineral y la materia orgánica. Conforme la guía de interpretación estas características corresponden a un suelo de mala fertilidad biológica y que requiere aumentar el aporte en materia orgánica y mejorar el manejo.

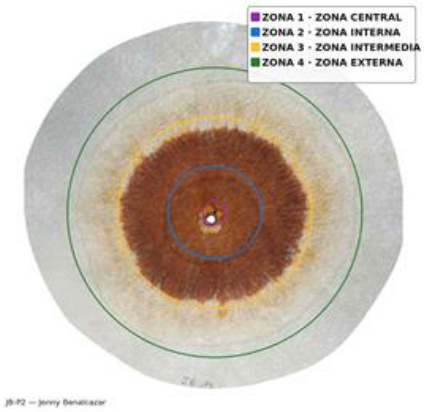
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

La comunidad forrajera del área evaluada está constituida por ryegrass (Lolium perenne L.), trébol blanco (Trifolium repens L.) y llantén (Plantago major L.). La biomasa fue determinada con el método de cuadrantes con una producción de forraje verde fresco de 0.80 Kg m^2. Luego, al calcular el contenido de materia seca, se obtuvieron 152 g MS m^2, ningún de estos productos se utilizó como referencia para la productividad de la pradera y el efecto en la calidad del suelo.

Tabla 25.

Interpretación del cromatograma JB-P2 del productor Jenny Benalcazar

Código: JB-P2 — Jenny Benalcazar · Cultivo/Forraje: Rye grass, alfalfa, llantén · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.50	1.40	2	2	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición parcial, con homogeneidad media entre las zonas diferenciadas.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media (aceptable).

La muestra JB-P2 muestra evidencias de una leve mejoría en relación a la primera réplica. Se observa un inicio de formación de patrones radiales en la zona externa y mejor diferenciación de los cromatográficos. No obstante, la escasez en las proyecciones radiales y su corto desarrollo nos sugieren que la actividad microbiológica todavía es moderada y los procesos de humificación no están completos. La capacidad de recuperación a corto y medio plazo puede favorecer la adopción de sistemas de conservación y manejo orgánico en suelos de fertilidad biológica regular.

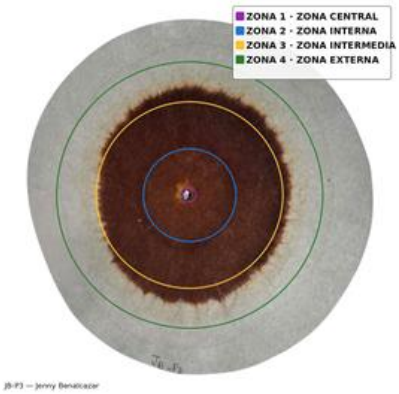
Clasificación final: REGULAR (nivel 3/5)

El lugar que nos presenta la evaluación cuenta con una asociación forrajera de ryegrass (Lolium perenne L.), alfalfa (Medicago sativa L.) y llantén (Plantago major L.). A través del cuadrante se estimó la biomasa que dio como resultado una producción de forraje fresco de 0,60kg m^2. A través de determinar el contenido de materia seca se calculó el rendimiento de 100g MS m^2. Se considera este valor como el indicador de la capacidad productiva de la asociación vegetal, así como la relación de las condiciones de calidad del suelo.

Tabla 26.

Interpretación del cromatograma JB-P3 del productor Jenny Benalcazar

Código: JB-P3 — Jenny Benalcazar · Cultivo/Forraje: Rye grass, llantén · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.30	1.70	2	1.70	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía JB-P3 presenta un escaso criterio de difusión cromatográfica ya que las tonalidades predominantes son el café oscuras, además no presentan apoyos radiales. La ineficacia de estas características en su actividad biológica, así como en su capacidad de conversión de materia orgánica en humus estable. La integración entre las zonas es baja, se limitan las funciones física, química y biológica de los suelos. En conjunto, la muestra corresponde a un suelo con baja fertilidad biológica, que recomienda robustecer el contenido de materia orgánica y la biodiversidad edáfica.

Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

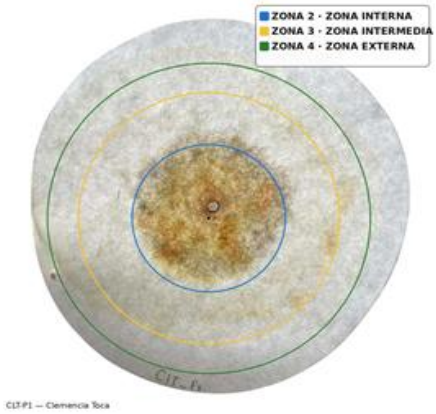
El área que se evaluó estuvo compuesta por una asociación de vegetación de ryegrass (Lolium perenne L.) y llantén (Plantago major L.). La biomasa forrajera fue cuantificada a través del método del cuadrante, el cual arrojó una producción de forraje fresco de 0,80 kg m^2. Debido a la determinación del contenido de materia seca se obtuvo un rendimiento de 145 g MS m 2, valor que se utilizó para caracterizar la producción del sistema forrajero y analizó la relación con la calidad de los suelos.

Productora: Clemencia Toca

Tabla 27.

Interpretación del cromatograma CLT-P1 del productor Clemencia Toca

Código: CLT-P1 — Clemencia Toca · Cultivo/Forraje: Avena · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**No aplica**	**3**	**2.10**	**1.20**	**No aplica**
		DESCRIPCIÓN			
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**No diferenciada**	**No diferenciada**	**No desarrollada**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**No presenta caminos ni integración con ninguna zona, su transición de color es brusca y no tienen homogeneidad.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**No definida**	**No definida**	**Sin formación**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja** **Suelo compactado – sin aireación**				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo pobre, biológicamente degradado.

La muestra CT-P1 presenta una cromatografía con muy escaso desarrollo de las zonas, observándose una estructura irregular, sin diferenciación clara de los anillos cromáticos ni presencia de patrones radiales. Estas características evidencian una actividad microbiológica muy baja y una deficiente integración entre la fracción mineral y la materia orgánica, limitando los procesos de humificación y contenido de nutrientes. La reducida reacción cromática indica un suelo con severas limitaciones biológicas.

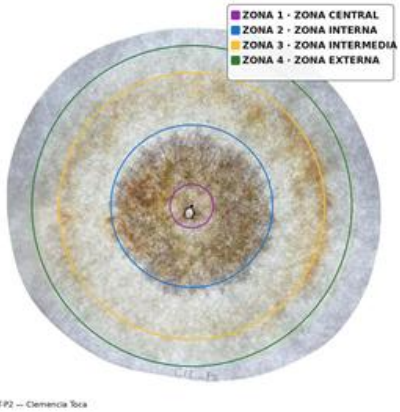
Clasificación final: MUY DETERIORADO (nivel 1/5)

El área evaluada correspondió a un cultivo de avena (*Avena sativa* L.). La estimación de la biomasa vegetal se realizó mediante el método del cuadrante, registrándose una producción de forraje fresco de 0,60 kg m². Posteriormente, mediante la determinación del contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 99g MS m², valor empleado como indicador de la productividad del cultivo y su relación con las características de calidad del suelo.

Tabla 28.

Interpretación del cromatograma CLT-P2 del productor Clemencia Toca

Código: CLT-P2 — Clemencia Toca · Cultivo/Forraje: Alfalfa · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.90	2.40	2.10	1.10	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía CT-P2 evidencia un leve aumento en el desarrollo de las áreas, en comparación con la muestra anterior, pero la integración aún es restringida y no exhibe patrones radiales considerablemente. La transición entre zonas no es muy intensa, lo que implica que los procesos de humificación y la actividad microbiana no son suficientes. Si bien hay una respuesta más alta para el color, el funcionamiento biológico del suelo sigue restringido.

Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

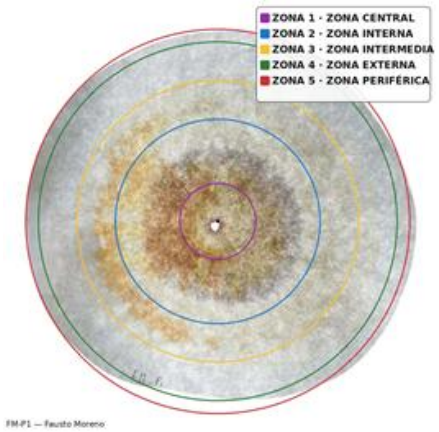
El cultivo evaluado fue alfalfa (Medicago sativa L.). Se estableció la producción de biomasa forrajera a través de la intervención del método del cuadrante, se obtuvo 0,50 kg m^2 de forraje fresco. Más tarde, a través de la determinación de materia seca, se estimó un rendimiento de 98 g MS m^2, que fue el valor que se usó para estimar la productividad del cultivo y la relación que tenía con la calidad del suelo.

Productor: Fausto Moreno

Tabla 29.

Interpretación del cromatograma FM-P1 del productor Fausto Moreno

Código: FM-P1 — Fausto Moreno · Cultivo/Forraje: Avena · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	DESCRIPCIÓN				
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	No diferenciada	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	No presenta caminos ni integración con ninguna zona, su transición de color es brusca y no tienen homogeneidad.				
FORMACIÓN	Irregular	No definida	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo pobre, biológicamente degradado.

La FM-P1 muestra la irregularidad en el TRFT con poca integración entre sus zonas y sin patrón concéntrico. La distancia que existe entre la zona mineral y la orgánica es una indicación de que el suelo no funciona bien y que los diversos componentes del suelo están poco interrelacionados. La ausencia de estos patrones confirma un bajo reciclaje de materia orgánica y en consecuencia, una muy pobre utilidad biológica. Los límites de un suelo muy deteriorado cuyo equilibrio biológico presenta importantes deficiencias.

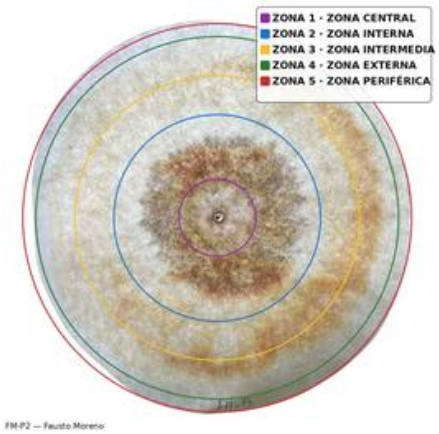
Clasificación final: MUY DETERIORADO (nivel 1/5)

Se determinó que el cultivo evaluado correspondió a avena (Avena sativa L.). La biomasa se midió con el método del cuadrante con producción forrajera fresca 0,90kg m^2. Posteriormente, al determinar el contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 143 g MS m^2, lo que fue considerado como un indicador de productividad del cultivo, utilizado para analizar su relación con las condiciones de calidad del suelo.

Tabla 30.

Interpretación del cromatograma FM-P2 del productor Fausto Moreno

Código: FM-P2 — Fausto Moreno · Cultivo/Forraje: Alfalfa, llantén, trébol · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
	DESCRIPCIÓN				
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía FM-P2 presenta una ligera mejora en la formación de la zona interna; no obstante, las transiciones entre zonas continúan siendo irregulares y la ausencia de proyecciones radiales indica una actividad microbiológica aún limitada. La integración parcial entre la materia orgánica y la fracción mineral evidencia procesos de humificación poco eficientes y un reciclaje restringido de nutrientes. En conjunto, la muestra corresponde a un suelo con fertilidad biológica deficiente, recomendándose implementar prácticas orientadas a recuperar su actividad biológica.

Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

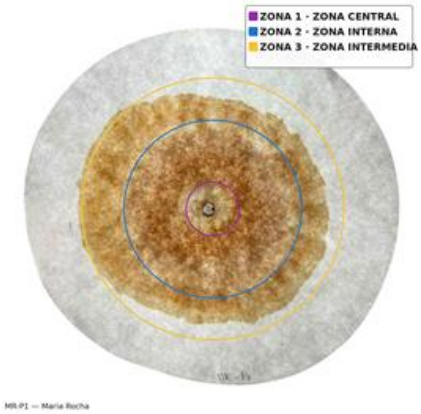
El área evaluada presentó una asociación forrajera compuesta por alfalfa (*Medicago sativa* L.), llantén (*Plantago major* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). La producción de biomasa vegetal se estimó mediante el método del cuadrante, obteniéndose una cantidad de forraje fresco de 1,20 kg m². Posteriormente, mediante la determinación del contenido de materia seca, se calculó un rendimiento de 227 g MS m², valor empleado para caracterizar la productividad de la asociación forrajera y su relación con las condiciones de calidad del suelo.

Productora: Maria Rocha

Tabla 31.

Interpretación del cromatograma MR-P1 del productor Maria Rocha

Código: MR-P1 — Maria Rocha · Cultivo/Forraje: Alfalfa, llantén · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1.10	2.50	1.70	No aplica	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición parcial, con homogeneidad media entre las zonas diferenciadas.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media (aceptable).

La muestra MR-P1 presenta una distribución relativamente homogénea de las zonas cromatográficas, que responden cromáticamente de manera uniforme. Su borde festoneado presenta un aspecto como el ensayo del inicio biológico. A pesar de que la diferenciación no es clara, se observa que hay integración. Esto indica que hay un proceso de humificación no muy potente y que por lo menos hay compatibilidad entre la materia orgánica y la fracción mineral. De acuerdo a los patrones radiales cíclicos anómalos que existen en el suelo, se concluye que el mismo tiene una fertilidad biológica regular, que puede incrementarse con un manejo conservacionista.

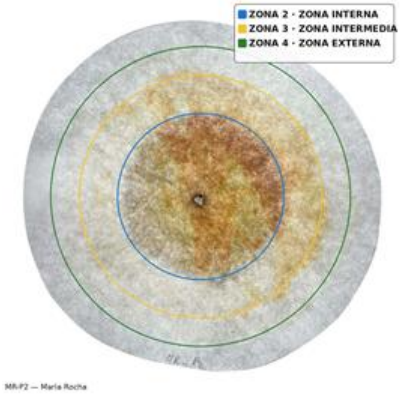
Clasificación final: REGULAR (nivel 3/5)

La zona sometida a evaluación se constituyó por una asociación forrajera de alfalfa (Medicago sativa L.) y llantén (Plantago major L.). La estimación de la biomasa producida se realizó usando el método del cuadrante, que indica una producción de forraje fresco de 1,00 kg m^2. Finalmente, a continuación del cálculo del contenido de materia seca se obtuvo un rendimiento de 189 g MS m^2, valor de referencia que permitió valorar el rendimiento del sistema forrajero y su interrelación con las características de calidad del suelo

Tabla 32.

Interpretación del cromatograma MR-P2 del productor Maria Rocha

Código: MR-P2 — Maria Rocha · Cultivo/Forraje: Avena · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	No aplica	3.50	1.60	1.20	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	No diferenciada	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	No presenta caminos ni integración con ninguna zona, su transición de color es brusca y no tienen homogeneidad.				
FORMACIÓN	Irregular	No definida	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo pobre, biológicamente degradado.

La cromatografía MR-P2 es polivalente, sin embargo, presenta un patrón irregular donde las zonas cromatográficas no se diferencian con claridad y sin formas radiales. La asimetría en la distribución de los colores indica una pobre integración de los componentes físicos, químicos y biológicos, que afecta la humificación y el reciclaje. La escasa respuesta biológica observada, permite clasificara la muestra como un suelo muy deteriorado, y que debe ser objeto de alguna acción de recuperación para que recupere sus funcionalidades edáficas.

Clasificación final: MUY DETERIORADO (nivel 1/5)

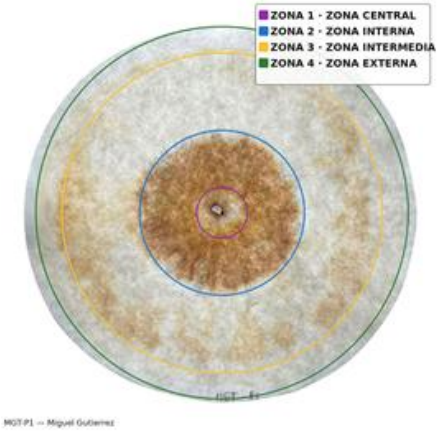
La evaluación se realizó en un cultivo implantado de alfalfa (Medicago sativa L.) Mediante el cuadrante se determinó la producción de biomasa forrajera; el rendimiento del forraje fresco es de 1,00 kg m². A través del contenido de materia seca, se determinó producción fue de 123g ms m2, valor que sirve como indicador de la capacidad productiva del cultivo y su relación con las condiciones de calidad del suelo.

Productor: Miguel Gutierrez

Tabla 33.

Interpretación del cromatograma MGT-P1 del productor Miguel Gutierrez

Código: MGT-P1 — Miguel Gutierrez · Cultivo/Forraje: Alfalfa · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**1**	**2.20**	**3**	**1**	**No aplica**
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**No diferenciada**	**No desarrollada**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**No definida**	**Sin formación**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja** **Contenido moderado de materia orgánica** **Actividad microbiana baja** **Suelo compactado – sin aireación**				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía MG-P1 tiene un desarrollo parcial de sus zonas cromatográficas, donde se puede apreciar una zona central poco definida e integración limitada entre zona interna-intermedia y externa. La existencia de un arco inconcluso y la escasa intensidad del patrón radial indican bajo ejercicio microbiológico y una disminución del reciclado de materia orgánica. La transición poco uniforme entre las distintas zonas sugiere una interacción deficiente entre la fracción mineral y los procesos biológicos del suelo. Según la guía de interpretación de Pfeiffer estas características hacen referencia a un suelo de fertilidad biológica deficiente. Por lo que se recomienda incrementar los aportes de materia orgánica y el manejo a practicar que favorezcan la recuperación de la actividad edáfica.

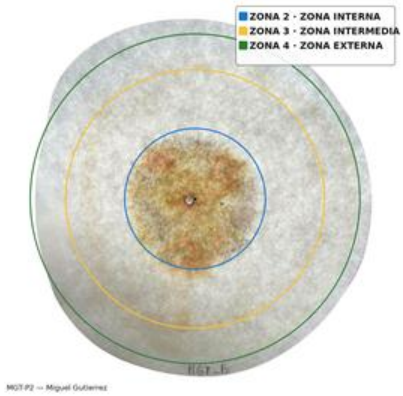
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

El sitio objeto de evaluación se correspondió con un cultivo de alfalfa. La puesta en marcha de la prueba se realizó el día 16 de febrero de 2021. Una vez que se calcu-la el stok. Más adelante, y al determinar contenido de materia seca se estimó 189g MS m^2, este valor se utilizó para caracterizar la producción del cultivo y para analizar su relación con la calidad del suelo..

Tabla 34.

Interpretación del cromatograma MGT-P2 del productor Miguel Gutierrez

Código: MGT-P2 — Miguel Gutierrez · Cultivo/Forraje: Kikuyo, trébol · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	No aplica	3	2.50	1.50	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	No diferenciada	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	No presenta caminos ni integración con ninguna zona, su transición de color es brusca y no tienen homogeneidad.				
FORMACIÓN	Irregular	No definida	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo pobre, biológicamente degradado.

La MG-P2, muestra que ha desarrollado poco el cromatograma. No presenta una gran diferenciación de las zonas y no presenta patrones radiales en la periferia. La gran parte sin reacción y la nula integración de la materia orgánica y la fracción mineral reflejan una actividad microbiológica muy baja y un proceso de humificación deficiente. El reciclaje de nutrientes y la estabilidad biológica del suelo están limitados por ésto. En conjunto, se clasifica como un suelo muy deteriorado, el cual debe ser objeto de recuperación mediante el incremento de cobertura vegetal y uso continuo de enmiendas orgánicas.

Clasificación final: MUY DETERIORADO (nivel 1/5)

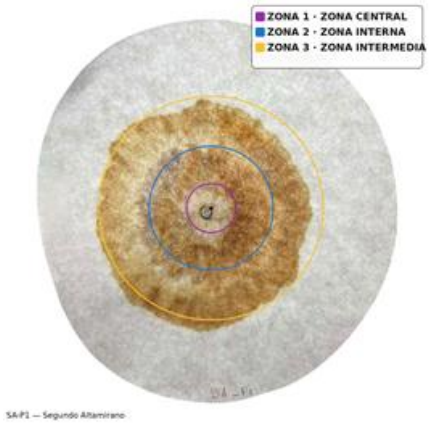
Se verificó que el área revisada estaba cubierta de kikuyo (Cenchrus clandestinus [sin. Pennisetum clandestinum]) y trébol blanco (Trifolium repens L.). La recogida de biomasa se determinó mediante la metodología del cuadrante, obteniéndose un forraje fresco de 1,00 kg m^2. A través de la determinación del contenido de materia seca se logró un rendimiento de 123g MS m2, valor usado para evaluar la productividad de la asociación forrajera y su relación con las condiciones de calidad de suelo.

Productor: Segundo Altamirano

Tabla 35.

Interpretación del cromatograma SA-P1 del productor Segundo Altamirano

Código: SA-P1 — Segundo Altamirano · Cultivo/Forraje: Kikuyo, trébol · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1	1.50	2	No aplica	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición parcial, con homogeneidad media entre las zonas diferenciadas.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media (aceptable).

La cromatografía SA-P1 presenta una separación moderada de las zonas cromatográficas, donde predominan los colores dorados y existe una integración parcial de la zona interna, central y externa. Aunque no se observan patrones radiales completamente desarrollados, la distribución relativamente uniforme de zonas indica un funcionamiento biológico aceptable y cierta disponibilidad de nutrientes. Los procesos de humificación están en pleno desarrollo, pero pueden ser mejorados con manejo conservacionista. La fertilidad del subsuelo es baja, aunque que posee propiedades de conservación.

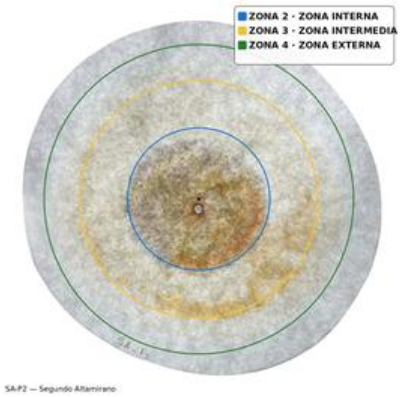
Clasificación final: REGULAR (nivel 3/5)

El área en estudio fue una asociación forrajera de kikuyo (Cenchrus clandestinus [sin. Pennisetum clandestinum]) y trébol blanco (T. repens L.). La estimación de la biomasa vegetal se realizó con el método del cuadrante, con un rendimiento en forraje fresco de 0,80 kg m^2. Después, calculó un rendimiento de 176gMS m^2 como determinación de para este trabajo fue el contenido de materia seca, siendo este un indicador de productividad de la asociación forrajera, así como el establecimiento de su relación con el estado de calidad del suelo.

Tabla 36.

Interpretación del cromatograma SA-P2 del productor Segundo Altamirano

Código: SA-P2 — Segundo Altamirano · Cultivo/Forraje: Avena · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	No aplica	3	2	1.50	No aplica
		DESCRIPCIÓN			
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La muestra SA-P2 presenta una baja integración entre las zonas cromatográficas, una transición irregular y una escasa aparición de estructuras radiales. El preponderante color gris o pardo indica una baja actividad microbiológica y eficiencia en la transformación de la materia orgánica. La interacción entre estas dos sustancias (que, en principio, no deberían ser incompatibles) es precaria, limitándose el reciclaje natural de nutrientes. Consecuentemente, el cromatograma, corresponde a un suelo de escasa fertilidad biológica y se recomienda mejorar el manejo orgánico para la calidad del suelo.

Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

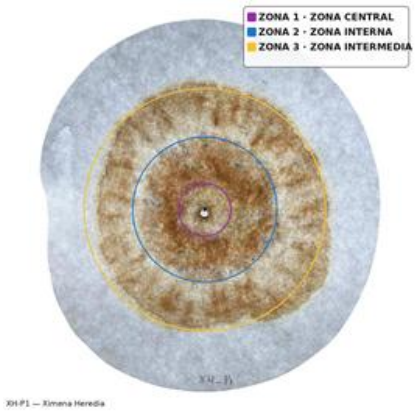
Se propuso un área que se corresponde con un cultivo de avena (Avena sativa L.). La cantidad de forraje fresco que se obtuvo de la biomasa forrajera fue de 1,20 kg m², empleándose para ello el método del cuadrante. Después, al determinar el contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 189 g MS m². Se considera este valor un indicador de productividad del cultivo y se utiliza para mirar su relación con el estado de calidad del suelo.

Productora: Ximena Heredia

Tabla 37.

Interpretación del cromatograma XH-P1 del productor Ximena Heredia

Código: XH-P1 — Ximena Heredia · Cultivo/Forraje: Trébol, pacta, alfalfa · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1.10	1.90	2	No aplica	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición parcial, con homogeneidad media entre las zonas diferenciadas.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media (aceptable).

La cromatografía XH-P1 permite un óptimo nivel de diferenciación entre las distintas zonas cromatográficas. Sin embargo, el patrón radial es corto y poco desarrollado. La buena relación de la fracción mineral con el material orgánico permite un proceso adecuado de humificación y reciclaje de nutrientes que se plasman en la distribución de los tonos cálidos. La correspondencia entre las áreas presenta un equilibrio funcional, aunque aún existen restricciones en la actividad microbiológica. Según la guía de interpretación, la muestra se corresponde con un suelo de fertilidad biológica regular.

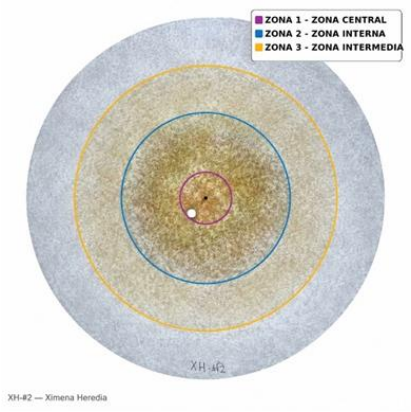
Clasificación final: REGULAR (nivel 3/5)

La trama forrajera de la zona a evaluar fue de trébol blanco (Trifolium repens L.), pasto (Poaceae) y alfalfa (Medicago sativa L.). La estimación de la biomasa vegetal se efectuó usando el método del cuadrante, resultando en la obtención de una producción de forraje fresco de 1,10 kg m². Posteriormente, se calculó un rendimiento de 242 g MS/m², mediante la determinación del contenido de materia seca. Este valor fue usado para caracterizar el potencial productivo de la asociación forrajera, así como su incidencia sobre las condiciones de calidad del suelo.

Tabla 38.

Interpretación del cromatograma XH-P2 del productor Ximena Heredia

Código: XH-P2 — Ximena Heredia · Cultivo/Forraje: Kikuyo, trébol · Parroquia: Jose Guango Bajo



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**0.80**	**2.50**	**2.50**	**No aplica**	**No aplica**
		DESCRIPCIÓN			
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**No diferenciada**	**No desarrollada**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**No definida**	**Sin formación**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja** **Contenido moderado de materia orgánica** **Actividad microbiana baja** **Suelo compactado – sin aireación**				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La muestra XH-P2 presenta una estructura cromatográfica poco discenible, donde predominan colores oscuros y no se observan proyecciones radiales en la zona externa. Estas cualidades indican que hay poca actividad microbiológica que se forma poco humus estable, no tiene edafogénesis en su complejidad. La transición corta entre las zonas muestra limitaciones en los procesos de humificación y disponibilidad de nutrientes. En conjunto, el cromatograma es clasificado como un suelo que tiene una baja fertilidad biológica. Para ello se recomienda mejorar el contenido de materia orgánica y disminuir las prácticas que afectan la biota del suelo.

Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

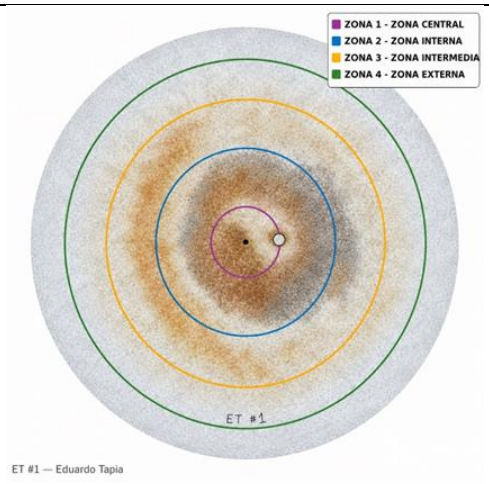
El lugar que se evaluó consistió en un consorcio forrajero de kikuyu y trébol blanco. El kikuyu es (Cenchrus clandestinus [sin. Pennisetum clandestinum]) y el trébol blanco (Trifolium repens L.). El método del cuadrante, indica que la biomasa disponible se determina con m2, lo que implica una producción de forraje fresco igual a 0,60 kg m2. Luego de esto, a través de la determinación de materia seca se obtuvo un rendimiento de 109 g MS m^2, que fue el valor utilizado para evaluar el potencial productivo de la cobertura vegetal y su relación con las condiciones de calidad del suelo.

Productor: Eduardo Tapia

Tabla 39.

Interpretación del cromatograma ET-P1 del productor Eduardo Tapia

Código: ET-P1 — Eduardo Tapia · Cultivo/Forraje: Avena · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1.30	2.10	2.30	1.50	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía ET-P1 sugiere que las zonas cromatográficas muestran poca diferenciación, además manifestar una irregularidad de tonalidades, lo que indica baja integración de la fracción mineral y la materia orgánica. La carencia de desarrollos convexo radiales sugiere poca actividad microbiológica y una humificación no muy eficiente que interfiere con el reciclaje natural de nutrientes. La organización general del cromatograma indica que el suelo presenta restricciones biológicas y estructurales. De acuerdo a la guía de Pfeiffer, este ejemplar es un suelo de baja fertilidad biológica.

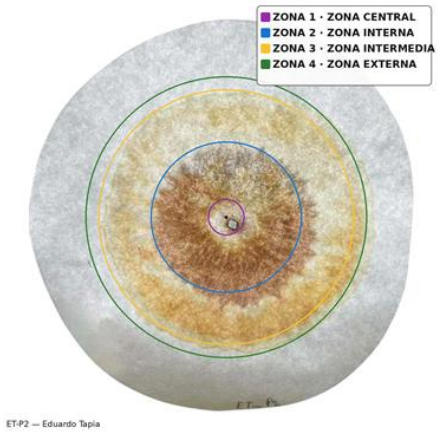
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

La avena (Avena sativa L.) es el cultivo estudiado. La producción de biomasa fue estimada por el método del cuadrante y buscamos una cantidad forrajera fresco de 1,10 kg m^2. A través del análisis de contenido de materia seca se llegó a un rendimiento de 190g MS m^2, valor que se utilizó como referencia para evaluar rendimiento productivo del cultivo y su relación con la calidad del suelo.

Tabla 40.

Interpretación del cromatograma ET-P2 del productor Eduardo Tapia

Código: ET-P2 — Eduardo Tapia · Cultivo/Forraje: Alfalfa · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.70	2.20	2	0.50	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	Café ligero	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Circular	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La muestra ET-P2 muestra bien delimitadas las zonas cromatográficas, así como un patrón radial bien desarrollado, características que revelan gran actividad microbiológica y enzimática. La transición apropiada entre la zona central, interna, intermedia y externa indica una interacción adecuada entre los materiales orgánicos y la fracción mineral, lo que para el proceso de humificación y reciclaje de nutrientes es favorable. Una tierra equilibrada dotada de una fuerte capacidad biológica funcional que ayuda que vivan diversos seres vivos en entre otros nutrientes necesarios para la agricultura. Se entiende que la "bioconstrucción" se refiere a un fenómeno de arquitectura popular de los años 80, pero en realidad hay mucho más que esta simplicidad.

Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

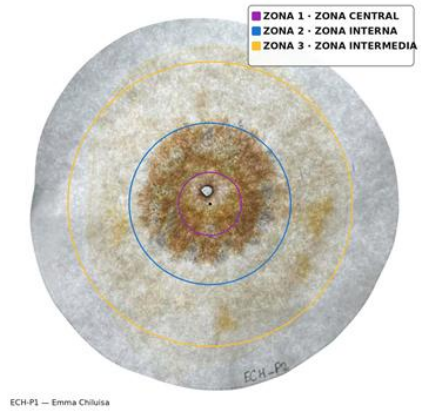
El cultivo de alfalfa (Medicago sativa L.) del sitio evaluado. Mediante el método del cuadrante, se realizó la estimación de la biomasa forrajera que dio como resultado la producción de forraje fresco de 1,30 kg m^2. A continuación, mediante la determinación de la materia seca, se obtuvo un rendimiento de 212g MS m^2, valor considerado para evaluar la productividad del cultivo y su relación con la calidad del suelo.

Productora: Emma Chiluisa

Tabla 41.

Interpretación del cromatograma ECH-P1 del productor Emma Chiluisa

Código: ECH-P1 — Emma Chiluisa · Cultivo/Forraje: Kikuyo, trébol, alfalfa · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1.30	2	2.50	No aplica	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición parcial, con homogeneidad media entre las zonas diferenciadas.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media (aceptable).

Se produce una diferenciación parcial entre zonas cromatográficas con una moderada integración (estabilidad) entre la zona central, interna y externa. La presencia de algunos patrones radiales cortos indica una actividad microbiológica aceptable, aunque aún no lo suficiente como para asegurar una mayor estabilidad del humus y un mejor reciclaje de nutrientes. La relación de la materia orgánica con la fracción mineral refleja un funcionamiento biológico intermedio. Según el manual de interpretación, la muestra se ajusta a un suelo con fertilidad biológica intermedia.

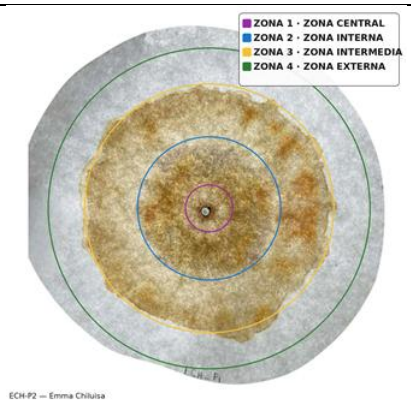
Clasificación final: REGULAR (nivel 3/5)

La zona presentó una asociación forrajera que estuvo constituida por kikuyo (Cenchrus clandestinus [sin. Pennisetum clandestinum]), trébol blanco (Trifolium repens L.) y alfalfa (Medicago sativa L.). La utilización de 0,80 kg m² de forraje fresco se realizó en el método del cuadrante, ocupado en la estimación de la biomasa vegetal. Mediante el análisis del contenido de materia seca se computó un rendimiento de 143 g MS m², valor empleado para evaluar la producción de la asociación forrajera, así como su relación con las características de calidad del suelo.

Tabla 42.

Interpretación del cromatograma ECH-P2 del productor Emma Chiluisa

Código: ECH-P2 — Emma Chiluisa · Cultivo/Forraje: Avena, vicia · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1	2	2.20	1.50	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	No diferenciada	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	No presenta caminos ni integración con ninguna zona, su transición de color es brusca y no tienen homogeneidad.				
FORMACIÓN	Irregular	No definida	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo pobre, biológicamente degradado.

La muestra EC-P2 muestra un cromatograma con escasa diferenciación de zonas, ausencia de patrones radiales y predominancia de grisáceos y oscuros, que evidencian una escasa actividad microbiológica y bajos procesos de humificación. La falta de integración entre los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo restringe el reciclaje de nutrientes y disminuye la estabilidad del sistema edáfico. En conjunto, estas características corresponden a un suelo muy deteriorado, que requiere prácticas de recuperación basadas en el incremento de materia orgánica y un manejo sostenible del suelo.

Clasificación final: MUY DETERIORADO (nivel 1/5)

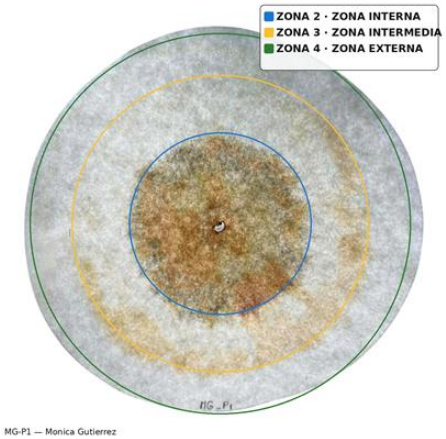
El sitio evaluado presentó una asociación forrajera conformada por avena (*Avena sativa* L.) y vicia (*Vicia sativa* L.). La producción de biomasa se determinó mediante el método del cuadrante, registrándose una cantidad de forraje fresco de 0,60 kg m^{-2}. Posteriormente, mediante la determinación del contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 109g MS m^{-2}, valor empleado como indicador de la productividad de la mezcla forrajera y su relación con las condiciones de calidad del suelo.

Productora: Monica Gutierrez

Tabla 43.

Interpretación del cromatograma MG-P1 del productor Monica Gutierrez

Código: MG-P1 — Monica Gutierrez · Cultivo/Forraje: Rye grass, llantén, trébol · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	No aplica	3.5	2.20	1.60	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición parcial, con homogeneidad media entre las zonas diferenciadas.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media (aceptable).

La cromatografía MG–P1 permite una diferenciación parcial de la zona central, interna, intermedia y externa, lo que revela un suelo de media fertilidad biológica. La zona central es relativamente estable, las zonas internas e intermedia tienen una integración moderada de la fracción mineral y la materia orgánica. La región exterior presenta apenas proyecciones radiales que indican actividad microbiológica aún escasa y humificaciones que han comenzado a desarrollarse. En todo caso, el cromatograma indica que el suelo tiene condiciones aceptables para la producción, aunque requiere más materia orgánica y mayor manejo biológico para un mejor funcionamiento edáfico.

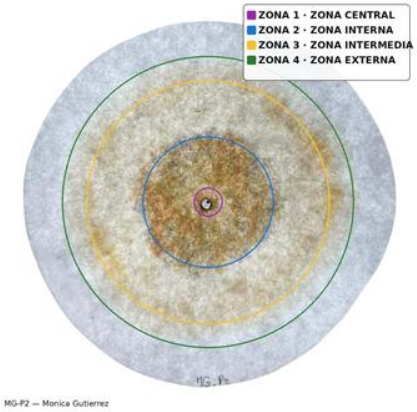
Clasificación final: REGULAR (nivel 3/5)

El sector evaluado tuvo una asociación forrajera con ryegrass (Lolium perenne L.), llantén (Plantago major L.) y trébol blanco (Trifolium repens L.). La estimación de la biomasa se realizó por cuadrantes, la producción de forraje fresco fue de 1,20 kg m². Posteriormente, mediante el contenido de materia seca, se calculó 239 g MS m², valor utilizado para caracterizar la productividad de la asociación y la calidad del suelo.

Tabla 44.

Interpretación del cromatograma MG-P2 del productor Monica Gutierrez

Código: MG-P2 — Monica Gutierrez · Cultivo/Forraje: Alfalfa · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**0.60**	**2.10**	**2.30**	**1**	**No aplica**
		DESCRIPCIÓN			
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**Pardo negruzco**	**Café ligero**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición buena, zonas relacionadas entre sí con integración fluida.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**Irregular**	**Circular**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja** **Contenido moderado de materia orgánica** **Actividad microbiana baja** **Suelo compactado – sin aireación**				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media a buena.

La muestra MG-P2 presenta una buena integración entre las zonas cromatográficas, donde se observa una zona central bien definida y transiciones suaves desde la zona interna hasta la externa. La mejor actividad microbiológica y transformación de la materia orgánica da lugar a un aumento en la formación de humus, así como en el reciclaje de nutrientes. La concordancia de colores y la continuidad de zonas reflejan el equilibrio de los componentes en el suelo, que son: físico, químico y biológico. Conforme a la guía de interpretación, el suelo tiene una buena fertilidad biológica y unas condiciones favorables para su manejo sostenible.

Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)

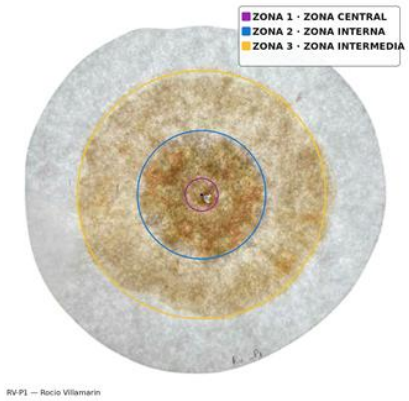
La evaluación se realizó en un lote que contaba con alfalfa (Medicago sativa L). La biomasa forrajera fue cuantificada con el método del cuadrante obteniendo un forraje fresco de 1,40 kg m^2. A través de la determinación del contenido en materia seca se consiguió un rendimiento de 267 g MS m^2, valor que fue utilizado como un indicador de la productividad del cultivo y su relación con las condiciones de calidad del suelo.

Productora: Rocio Villamarín

Tabla 45.

Interpretación del cromatograma RV-P1 del productor Rocio Villamarín

Código: RV-P1 — Rocio Villamarín · Cultivo/Forraje: Avena · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.70	2	2.50	No aplica	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía RV-P1 muestra poca diferenciación entre las zonas cromatográficas, con escasa integración entre la fracción mineral y la materia orgánica y la actividad biológica. La falta de patrones radiales bien marcados en la zona externa muestra una escasa actividad microbiana y una baja eficiencia en los procesos de humificación y reciclaje de nutrientes. Se sugiere que el suelo tiene una actividad biológica restringida debido a la presencia de colores oscuros y de tonalidades difusas. La muestra presenta, en su conjunto, una fertilidad biológica deficiente, por lo que se recomienda practicar recuperación con aumento de materia orgánica.

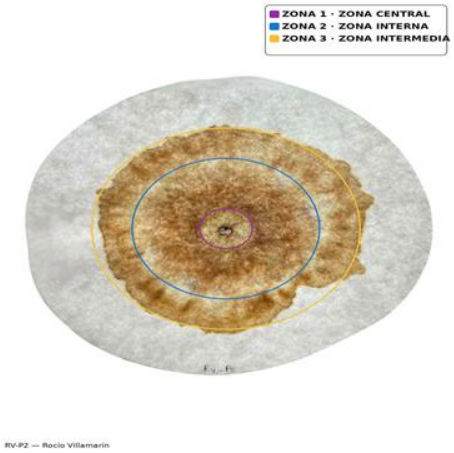
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

La prueba se realizó en un cultivo de avena Avena sativa L. La biomasa forrajera se estimó por el método del cuadrante, arrojando una producción de forraje fresco de 0,90 kg m². Con posterioridad, a partir del contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 235 g de MS m², valor que es considerado para evaluar el comportamiento productivo del cultivo y su relación con la calidad del suelo.

Tabla 46.

Interpretación del cromatograma RV-P2 del productor Rocio Villamarín

Código: RV-P2 — Rocio Villamarín · Cultivo/Forraje: Kikuyo, trébol, pacta · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	1	2.50	1.50	No aplica	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición parcial, con homogeneidad media entre las zonas diferenciadas.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media (aceptable).

La muestra RV-P2 tiene una moderada diferenciación de las zonas cromatográficas, que se integran parcialmente, a saber, la central, interna, intermedia y externa. La presencia de ligeras proyecciones radiales indica que, a pesar de que se ha producido actividad microbiológica, esta es aún insuficiente para lograr un funcionamiento biológico óptimo. La interacción de la materia orgánica con la fracción mineral indica que hay procesos de humificación en marcha y hay una moderada disponibilidad de nutrientes. En términos generales, el cromatograma es un suelo con fertilidad biológica regular, susceptible a mejorar mediante un manejo conservacionista.

Clasificación final: REGULAR (nivel 3/5)

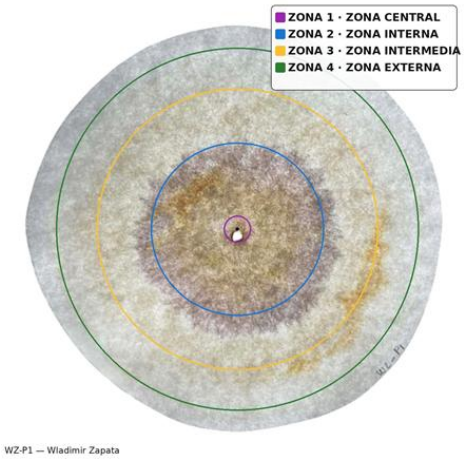
El área en donde se realizó la evaluación se encontró con una cobertura forrajera compuesta por kikuyo (Cenchrus clandestinus [sin. Pennisetum clandestinum]), trébol blanco (T. repens L.) y pasto (Poaceae). La biomasa vegetal fue cuantificada mediante el método del cuadrante, observándose una producción de forraje fresco de 1,00 kg m². A continuación, se determinó el contenido de materia seca, obteniéndose un rendimiento de 188 g MS m², valor que se utilizó para caracterizar la productividad de la asociación forrajera y su relación con las condiciones de calidad del suelo.

Productor: Wladimir Zapata

Tabla 47.

Interpretación del cromatograma WZ-P1 del productor Wladimir Zapata

Código: WZ-P1 — Wladimir Zapata · Cultivo/Forraje: Kukuyo, trébol, alfalfa · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.50	2.70	2	1.50	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	Pardo negruzco	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición parcial, con homogeneidad media entre las zonas diferenciadas.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	Irregular	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media (aceptable).

La cromatografía WZ-P1 muestra que las zonas cromatográficas están bien diferenciadas y que la integración de sus componentes es moderada. La zona central sería relativamente estable y las zonas internas e intermedia tendrían una adecuada interacción entre los minerales y la materia orgánica. La presencia de pequeñas proyecciones radiales indica que su actividad microbiológica es media y que los procesos de transformación orgánica se encuentran en desarrollo. El suelo tiene una fertilidad biológica regular, la cual puede mejorarse mediante cobertura vegetal y aportes orgánicos.

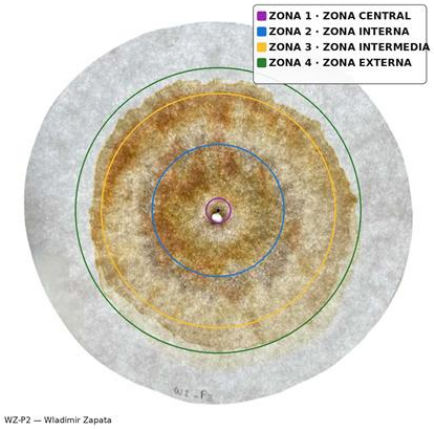
Clasificación final: REGULAR (nivel 3/5)

El sitio que se valoró en la rufina, era una mezcla de kikuyo, trébol blanco y alfalfa. Se utilizó el método de cuadrante para determinar la disponibilidad de biomasa, la cual resultó en una producción de forraje fresco de 1,10 kg m^2. A continuación, a partir de la determinación del contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 168 g MS m^2, valor que sirvió para evaluar la productividad de la asociación vegetal y su relación con las propiedades de calidad del suelo.

Tabla 48.

Interpretación del cromatograma WZ-P2 del productor Wladimir Zapata

Código: WZ-P2 — Wladimir Zapata · Cultivo/Forraje: Rye grass · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**0.50**	**2.10**	**2**	**1**	**No aplica**
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**No diferenciada**	**No desarrollada**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**No definida**	**Sin formación**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja** **Contenido moderado de materia orgánica** **Actividad microbiana baja** **Suelo compactado – sin aireación**				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La muestra WZ-P2 presenta un escaso desarrollo de las zonas cromatográficas, donde se observa poca diferencia entre la zona interna y la intermedia, así como la falta de patrones radiales en la externa. Estas cualidades manifiestan poca actividad microbiológica y escasa capacidad de transformación de la materia orgánica en humus estable. La escasa vinculación entre las regiones interfiere con sus procesos de reciclado de nutrientes y equilibrado del sistema suelo. De acuerdo con la guía de interpretación, el cromatograma indica que el suelo tiene una fertilidad biológica deficiente, recomendándose el uso de manejo regenerativo.

Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

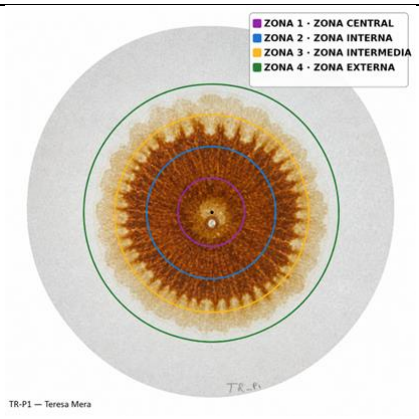
La pradera evaluada fue una establecida con ryegrass (Lolium perenne L.). La estimación de la biomasa forrajera es calculada con el método del cuadrante, obteniéndose un resultado de 1,20 kg m² de forraje fresco. Luego, a través de la determinación de su materia seca, se estima un rendimiento de 245 g MS m², el cual se utiliza como indicador de productividad de la pradera y su relación con la calidad del suelo.

Productora: Teresa Mera

Tabla 49.

Interpretación del cromatograma TR-P1 del productor Tereza Mera

Código: TR-P1 — Teresa Mera · Cultivo/Forraje: Avena · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	0 – 1.5	1.5 – 4.0	4.0 – 5.5	5.5 – 7.0	7 – 7.5
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	0.60	0.70	1.60	1.70	No aplica
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	crema	café claro/oscuro	café oscuro	cremoso	Dorado, cálido
COLORACIÓN DEL CROMA	Café claro	Anaranjado	No diferenciada	No desarrollada	Ausente
INTEGRACIÓN	Transición moderada, con algunas integraciones parciales entre las zonas presentes.				
FORMACIÓN	Irregular	Circular	No definida	Sin formación	No aplica
OTROS	Calidad del suelo baja Contenido moderado de materia orgánica Actividad microbiana baja Suelo compactado – sin aireación				
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica baja (deficiente).

La cromatografía TR-P1 está débilmente diferenciada con zonas cromatográficas poco definidas y con una integración deficiente. La zona central revela una estructura poco estable, específicamente que las zonas internas e intermedia muestran procesos de humificación restringidos. La falta de patrones radiales en la zona externa indica poca actividad de microorganismos y escaso reciclaje de materia orgánica. En conjunto de la muestra es un suelo de baja fertilidad biológica por lo que se debe aumentar el contenido en materia orgánica y favorecer la recuperación de la biota del suelo.

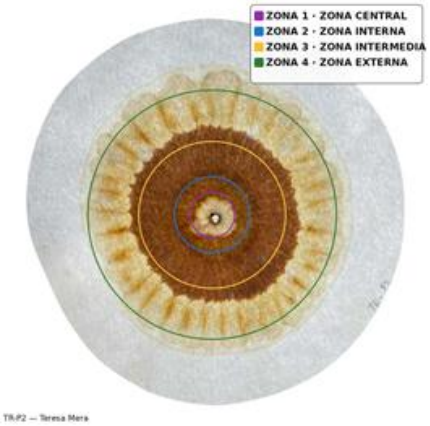
Clasificación final: DEFICIENTE (nivel 2/5)

El análisis se realizó en una plantación de avena común o avena sativa. La biomasa vegetal se determinó por el método del cuadrante, con un forraje fresco igual a 0,80 kg m^2. Luego, al determinar el contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 164 g MS m^2, que se estima como un índice de la capacidad productiva del cultivo y se utiliza para su relación con las condiciones de calidad del suelo.

Tabla 50.

Interpretación del cromatograma TR-P2 del productor Tereza Mera

Código: TR-P2 — Teresa Mera · Cultivo/Forraje: Pasto azul, trébol, llantén · Parroquia: Aláquez



ZONAS	ZONA CENTRAL	ZONA INTERNA	ZONA INTERMEDIA	ZONA EXTERNA	ZONA PERIFÉRICA
RANGOS FAVORABLES	**0 – 1.5**	**1.5 – 4.0**	**4.0 – 5.5**	**5.5 – 7.0**	**7 – 7.5**
RANGOS DEL CROMATOGRAMA	**0.90**	**0.60**	**1.40**	**2**	**No aplica**
			DESCRIPCIÓN		
COLORACIÓN FAVORABLE	**crema**	**café claro/oscuro**	**café oscuro**	**cremoso**	**Dorado, cálido**
COLORACIÓN DEL CROMA	**Café claro**	**Anaranjado**	**Pardo negruzco**	**No desarrollada**	**Ausente**
INTEGRACIÓN	**Transición parcial, con homogeneidad media entre las zonas diferenciadas.**				
FORMACIÓN	**Irregular**	**Circular**	**Irregular**	**Sin formación**	**No aplica**
OTROS	**Calidad del suelo baja**	**Contenido moderado de materia orgánica**	**Actividad microbiana baja**	**Suelo compactado – sin aireación**	
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	**PECUARIO — Pastizales / Forraje (predio lechero)**				

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación general: Suelo con fertilidad biológica media (aceptable).

La muestra TR-P2 presenta una diferenciación moderada entre las zonas cromatográficas y una integración parcial de la fracción mineral con la materia orgánica. La presencia de ligeras proyecciones radiales en la zona externa indica una actividad microbiológica aceptable, aunque aún limitada para sostener procesos intensos de humificación. La continuidad entre las zonas refleja un funcionamiento biológico intermedio y una capacidad moderada de reciclaje de nutrientes. En conjunto, el cromatograma corresponde a un suelo con fertilidad biológica regular y potencial de mejora mediante prácticas de manejo orientadas a incrementar la biodiversidad del suelo.

Clasificación final: REGULAR (nivel 3/5)

El sitio evaluado correspondió a un cultivo de avena (*Avena sativa* L.). La producción de biomasa vegetal fue determinada mediante el método del cuadrante, registrándose una producción de forraje fresco de 0,90 kg m². Posteriormente, mediante la determinación del contenido de materia seca, se obtuvo un rendimiento de 210 g MS m², valor considerado como un indicador de la productividad del cultivo y utilizado para establecer su relación con las condiciones de calidad del suelo.

10.1.2 Producción de leche

Tabla 51.

Producción de leche/día Producción de leche/mes

Propietario	*Producción de leche promedio al día*	*Producción de leche promedio al mes*
Alex Caicedo	50	1500
Erika Robayo	30	900
Sonia Caillagua	10	300
Flor Robayo	55	1650
Mama Lucha	25	750
Martha Chango	65	1950
Ana Mercedes Chasi	45	1350
Guadalupe Chimborazo	10	300
Jenny Benalcazar	80	2400
Clemencia Toca	125	3750
Fausto Moreno	72	2160
Maria Rocha	48	1440
Miguel Gutierrez	220	6600
Segundo Altamirano	85	2550
Ximena Heredia	35	1050
Eduardo Tapia	45	1350
Emma Chiluisa	78	2340
Monica Gutierrez	65	1950
Rocio Villamarin	48	1440
Wladimir Zapata	180	5400
Teresa Mera	68	2040

Fuente: Elaboración Propia

Los 21 productores analizados presentaron producción de leche que varía de 300 a 6600 litros/mes, con un promedio de aproximadamente 2000 litros/mes por productor. Estos resultados evidencian diferencias en la capacidad productiva de cada sistema lechero como consecuencia del manejo forrajero, disponibilidad de forraje y condiciones de fertilidad.

Los productores que tienen menos volúmenes de producción tienen un rendimiento menor a 1000 L/mes, que son sistemas de menor capacidad productiva, donde podría haber problemas de alimentación y disponibilidad forrajera. Los productores que tenían mayores niveles productivos, más de 3000 L/mes, mostraron mejores condiciones productivas dentro de las unidades evaluadas

10.2. Estructura de los datos y unidades de análisis

La base de datos recogida está constituida de 46 observaciones a nivel de potrero de 21 productores de sistemas lecheros familiares del cantón Latacunga, provincia Cotopaxi. Cada potrero se considera unidad muestral primaria para las variables de biomasa forrajera y salud edáfica, en tanto que la producción de leche y la superficie predial son variables registradas a nivel del productor (n = 21) y se mantienen constantes entre los potreros de un mismo predio.

La estructura de datos anidados (potreros dentro de productores) fue considerada en el diseño del análisis: los objetivos específicos 1 y 2 se analizaron a nivel de potrero (n = 46), mientras que el objetivo específico 3 requirió agregar los datos al nivel del productor (n = 21).

10.2.1. Variables incluidas en el análisis

Tabla 52.

Variables de estudio, escala de medición y descripción operacional

Variable	Tipo / Escala	Descripción
Score cromatográfico (score_croma)	Ordinal (1–5)	Puntuación de salud edáfica derivada de la cromatografía circular de Pfeiffer: 1=Muy deteriorado, 2=Deficiente, 3=Regular, 4=Bueno, 5=Excelente
Materia seca (ms_g_m²)	Continua (g/m²)	Masa de materia seca por unidad de superficie de forraje cosechado en el potrero
Peso fresco (pf_g_m²)	Continua (g/m²)	Masa fresca del forraje por unidad de superficie
Porcentaje de MS (%MS)	Continua (%)	(ms_g_m²/ pf_g_m²) × 100. Indicador de calidad nutricional del forraje
Producción de leche total (leche_L_día)	Continua (L/día)	Producción diaria total del predio. Variable nivel productor
Productividad lechera (leche_L_día_ha)	Continua (L/día/ha)	(leche_L_día / superficie_m²) × 10 000. Normaliza la producción por superficie; variable construida para OE3

Fuente: Elaboración Propia

10.2.2. Preparación y verificación de los datos

Los datos fueron importeados desde el archivo Excel original utilizando el paquete readxl (v1.4.x) de R (R Core Team, 2024) La variable de "salud" edáfica fue originalmente guardada como texto (por ejemplo “Clasificación final: BUENO (nivel 4/5)”). Se utilizó el

comando str_extract para tener la puntuación número entera (1–5). Al llevarse a cabo dos revisiones de coherencia interna, se verificó (i) la columna fresh weight en g/m² (kg/m² × 1 000); y (ii) el dry matter %, que debió ser igual a (msg m² / pf_g m²) × 100 con tolerancia de ±1 punto porcentual. Ambas revisiones no dispararon alarmas, corroborando la consistencia interna de las mediciones. No encontré valores perdidos (NA) en ninguna variable clave.

10.2.3. Análisis estadístico por objetivo específico

10.2.3.1. Objetivo específico 1 (OE1): Caracterización de la salud edáfica

Se calcularon distribuciones de frecuencia absoluta y relativa de las categorías cromatográficas a nivel de potrero (n = 46). A nivel de productor (n = 21) se reportaron la media, desviación estándar (DE), mediana y rango intercuartílico (RIC) del score promedio por predio. Se identificaron los predios con alta variabilidad intra-finca, definida como una diferencia ≥ 2 puntos entre el score máximo y mínimo de sus potreros. Los datos se resumen en tablas de frecuencia y se representan mediante gráficos de

barras, curva de distribución acumulada y mapa de calor (heatmap) de scores por productor y potrero.

10.2.3.2. Objetivo específico 2 (OE2): Correlación salud edáfica - biomasa forrajera

Dado que la variable predictora principal (score cromatográfico) es de naturaleza ordinal, se rechazó el uso de la correlación de Pearson y del coeficiente de determinación (R^2) como medidas de asociación. En su lugar se empleó la correlación de rangos de Spearman (ρ), adecuada para variables ordinales o cuando no se puede asumir distribución normal bivariada (Conover, 1999). Las correlaciones se calcularon entre el score cromatográfico y tres variables de biomasa: materia seca (g MS/m²), peso fresco (g/m²) y porcentaje de materia seca (%).

Complementariamente, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (equivalente no paramétrico del ANOVA de un factor) para comparar las medianas de biomasa entre las cuatro categorías cromatográficas presentes en los datos. Para cuantificar la magnitud del efecto se calculó el eta cuadrado aproximado (η^2), interpretado según los umbrales de Cohen ($\eta^2 < 0{,}06$ = pequeño; 0,06–0,14 = mediano; > 0,14 = grande). Cuando la prueba de Kruskal-Wallis resultó significativa ($p < 0{,}05$), se realizó la prueba post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni para identificar los pares de categorías con diferencias estadísticamente significativas, empleando el paquete dunn.test (Dinno, 2017). El umbral de significancia para todas las pruebas fue $\alpha = 0{,}05$.

10.2.3.3. Objetivo específico 3 (OE3): Salud edáfica e indicadores económicos

El análisis a nivel de productor (n = 21) empleó el score cromatográfico promedio del predio como variable predictora. La variable económica principal fue la productividad lechera corregida por superficie (L/día/ha), construida como indicador comparable entre predios de diferente tamaño. La producción total en L/día se reporta adicionalmente como variable secundaria. La asociación entre el score promedio y los indicadores económicos se cuantificó mediante correlación de Spearman dado el tamaño muestral reducido y la distribución asimétrica de las variables económicas. Todos los resultados del OE3 se declaran explícitamente como exploratorios dado que n = 21 productores implica una potencia estadística limitada (≈ 40–55 % para efectos medianos, $\rho \approx 0{,}4$) que no permite descartar errores de tipo II.

10.2.4. Software y paquetes estadísticos

Los análisis se realizaron íntegramente en R versión 4.4.x (R Core Team, 2024). Los paquetes empleados fueron: readxl (importación de datos), dplyr, tidyr, stringr (manipulación de datos), ggplot2, patchwork, ggrepel (visualización), rstatix (Kruskal-Wallis y tamaño del efecto) y dunn.test (prueba post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni). Los scripts de análisis están disponibles en el repositorio del proyecto para garantizar la reproducibilidad de los resultados.

10.3. RESULTADOS PRINCIPALES

10.3.1. OE1: Caracterización de la salud edáfica del suelo

Tabla 53.

Distribución de frecuencia de las categorías de salud edáfica por cromatografía circular de Pfeiffer en potreros de sistemas lecheros familiares, cantón Latacunga, Cotopaxi (n = 46 potreros; 21 productores).

Categoría	Descripción	N° potreros	Porcentaje (%)	N° productores*
1	Muy deteriorado	8	17,4	8
2	Deficiente	19	41,3	15
3	Regular	9	19,6	9
4	Bueno	10	21,7	6
5	Excelente	0	0,0	0
Total	—	**46**	**100,0**	**21**

Fuente: Elaboración Propia

Un productor puede tener potreros en más de una categoría. Media del score por productor = 2,39 ± 0,78 (DE); mediana = 2,5; RIC = 1,33.

El 58,7 % de los potreros evaluados presentó condiciones de salud edáfica catalogadas como muy deterioradas o deficientes (categorías 1 y 2). No se registró ningún potrero con la categoría máxima (Excelente, nivel 5). Seis productores (28,6 %) mostraron alta variabilidad intra-finca, con diferencias de ≥ 2 puntos entre sus potreros de mejor y peor condición.

Tabla 54.

Materia seca forrajera (g MS/m²) y número de productores representados por categoría cromatográfica de Pfeiffer.

Categoría (score)	n potreros (productores)	Media MS (g/m²)	DE MS (g/m²)	Mín.	Máx.
1 — Muy deteriorado	8 (8)	113,0	15,6	98	143
2 — Deficiente	19 (15)	157,0	44,2	100	245
3 — Regular	9 (9)	197,0	32,8	143	242
4 — Bueno	10 (6)	216,0	43,7	152	279

Fuente: Elaboración Propia

DE = desviación estándar.

10.3.2. OE2: Correlación entre salud edáfica y biomasa forrajera

Tabla 55.

Coeficientes de correlación de Spearman (ρ) entre el score cromatográfico de Pfeiffer y las variables de biomasa forrajera (n = 46 potreros).

Variable de biomasa	ρ Spearman	p valor	Significativo (α=0,05)	Magnitud
Materia seca (g MS/m²)	**0,685**	< 0,0001	Sí ***	Moderada-alta
Peso fresco (g/m²)	0,611	< 0,0001	Sí ***	Moderada
Porcentaje de materia seca (%)	0,236	0,1141	No (ns)	Débil

Fuente: Elaboración Propia

p < 0,001; ns = no significativo. Umbrales de magnitud: |ρ| < 0,2 = muy débil; 0,2–0,4 = débil; 0,4–0,7 = moderada; > 0,7 = fuerte.

Tabla 56.

Prueba de Kruskal-Wallis para diferencias en biomasa forrajera entre categorías cromatográficas de Pfeiffer (n = 46 potreros, 4 categorías).

Variable	H (Kruskal-Wallis)	gl	p valor	η² aprox.	Significativo
Materia seca (g MS/m²)	21,742	3	**0,0001**	0,446 (grande)	Sí ***
Peso fresco (g/m²)	17,101	3	0,0007	0,336 (grande)	Sí ***
Porcentaje de MS (%)	8,879	3	0,0309	0,140 (grande)	Sí *

Fuente: Elaboración Propia

gl = grados de libertad; η² = eta cuadrado (tamaño del efecto); *** p < 0,001; * p < 0,05. Umbrales η²: < 0,06 pequeño; 0,06–0,14 mediano; > 0,14 grande.

Tabla 57.

Prueba post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni para materia seca (g MS/m²). Se reportan pares de categorías con diferencias estadísticamente significativas.

Categoría A	Categoría B	p valor (Bonferroni)	Significativo	Diferencia Media MS
3 — Regular	1 — Muy deteriorado	0,0009	Sí ***	+84,0
4 — Bueno	1 — Muy deteriorado	0,0001	Sí ***	+103,0
4 — Bueno	2 — Deficiente	0,0238	Sí *	+59,0
2 — Deficiente	1 — Muy deteriorado	0,0645	No (ns)	+44,0
3 — Regular	2 — Deficiente	0,1604	No (ns)	+40,0
4 — Bueno	3 — Regular	1,0000	No (ns)	+19,0

Fuente: Elaboración Propia

p < 0,001; * p < 0,05; ns = no significativo. Diferencia Media MS = diferencia en g MS/m² entre medias de los grupos comparados.

10.3.3. OE3: Salud edáfica e indicadores de sostenibilidad económica

Tabla 58.

Estadísticas descriptivas de los indicadores de producción lechera en los predios estudiados (n = 21 productores).

Indicador	Mínimo	Mediana	Media	Máximo	CV (%)
Producción total de leche (L/día)	10,0	55,0	68,5	220,0	75,1
Productividad (L/día/ha)	16,7	38,6	44,9	117,7	53,9
Superficie predial (ha)	0,25	1,5	2,2	6,5	—

Fuente: Elaboración Propia

CV = coeficiente de variación. El elevado CV de la producción total refleja la heterogeneidad en el tamaño de los predios.

Tabla 59.

Correlación de Spearman entre el score cromatográfico promedio del predio y los indicadores de sostenibilidad económica (n = 21 productores). Resultados de carácter exploratorio.

Variable económica	ρ Spearman	p valor	Significativo	Interpretación
Producción leche total (L/día)	**-0,444**	0,044	Sí * †	Confusión por tamaño de predio
Productividad (L/día/ha)	-0,316	0,163	No (ns)	Sin asociación significativa
Rango intra-finca del score vs. L/día/ha	-0,015	0,947	No (ns)	Sin asociación

Fuente: Elaboración Propia

p < 0,05; ns = no significativo. † Nota crítica: la correlación negativa con la producción total es un artefacto de confusión por tamaño del predio. Predios más grandes (mayor superficie, mayor producción absoluta) tienden a presentar mayor heterogeneidad de manejo entre potreros, lo que reduce su score promedio. Al corregir por superficie (L/día/ha), la correlación deja de ser significativa (ρ = -0,316; p = 0,163), indicando que la variable adecuada para la comparación económica es la productividad por hectárea.

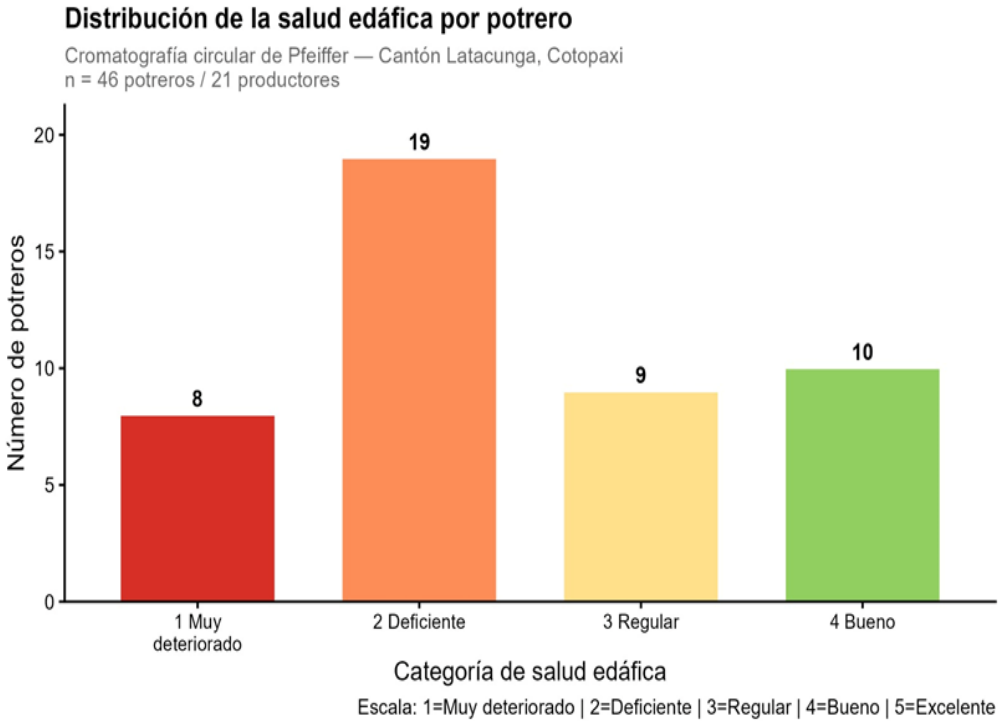
10.4. RESULTADOS FINALES

10.4.1. Objetivo Específico 1: Caracterización de la salud edáfica

Del total de 46 potreros evaluados mediante cromatografía circular de Pfeiffer, 8 potreros (17,4 %) se ubicaron en la categoría 1 (muy deteriorado), 19 potreros (41,3 %) en la categoría 2 (deficiente), 9 potreros (19,6 %) en la categoría 3 (regular) y 10 potreros (21,7 %) en la categoría 4 (bueno). Ningún potrero alcanzó la categoría 5 (excelente). En conjunto, el 58,7 % de los potreros evaluados presentó condiciones de salud edáfica catalogadas como muy deterioradas o deficientes.

Figura 4.

Distribución del número de potreros por categoría de salud edáfica (n = 46 potreros)

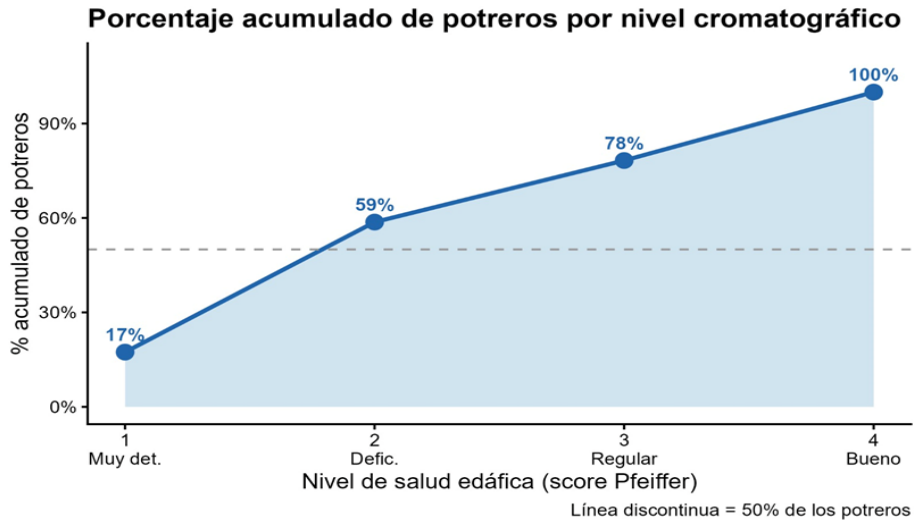


Fuente: Elaboración Propia

La Figura 4 expresa esta misma distribución de forma acumulada: la línea de referencia del 50 % cae dentro de las categorías 1 y 2, lo que confirma que el punto medio de la muestra corresponde a un nivel de salud edáfica deficiente.

Figura 5.

Porcentaje acumulado de potreros por nivel de categoría cromatográfica.

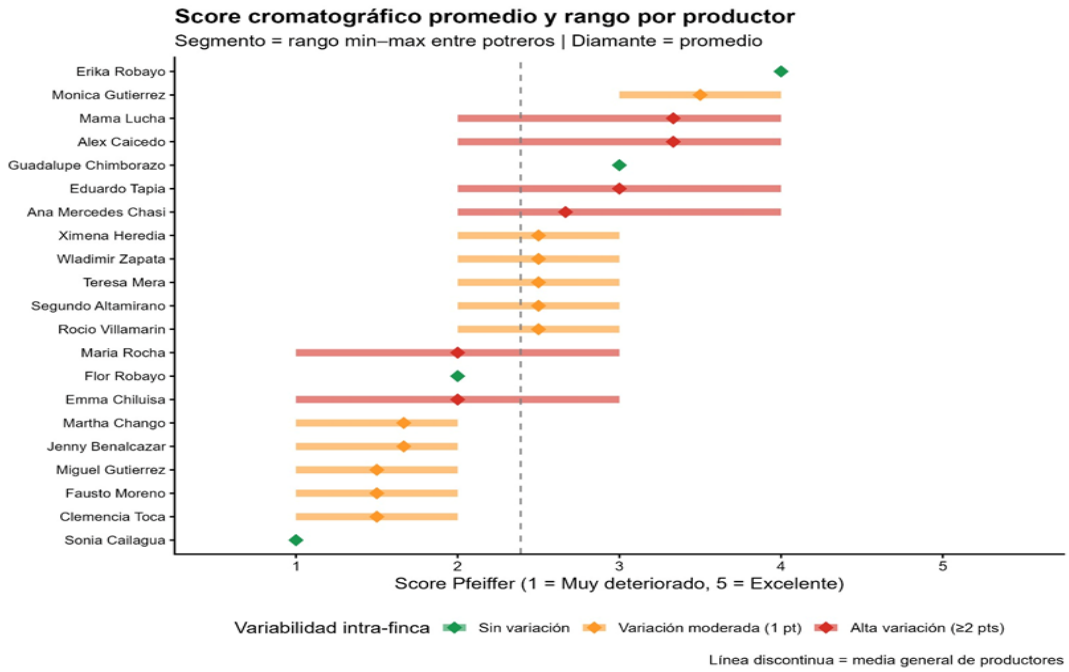


Fuente: Elaboración Propia

A nivel de productor (n = 21), el score promedio del predio fue de 2,39 ± 0,78 (media ± desviación estándar), con mediana de 2,5 y rango intercuartílico de 1,33. La Figura 5 muestra el score promedio y el rango de variación entre los potreros de cada productor. Seis productores (28,6 %) presentaron alta variabilidad intra-finca (diferencia ≥ 2 puntos entre su mejor y peor potrero): Mama Lucha, Alex Caicedo, Eduardo Tapia, Ana Mercedes Chasi, María Rocha y Emma Chiluisa, señalados en color rojo en el gráfico. Esto revela un manejo desigual entre potreros dentro de una misma finca en cerca de tres de cada diez productores.

Figura 6.

Score cromatográfico promedio y rango de variación (mínimo-máximo) por productor.

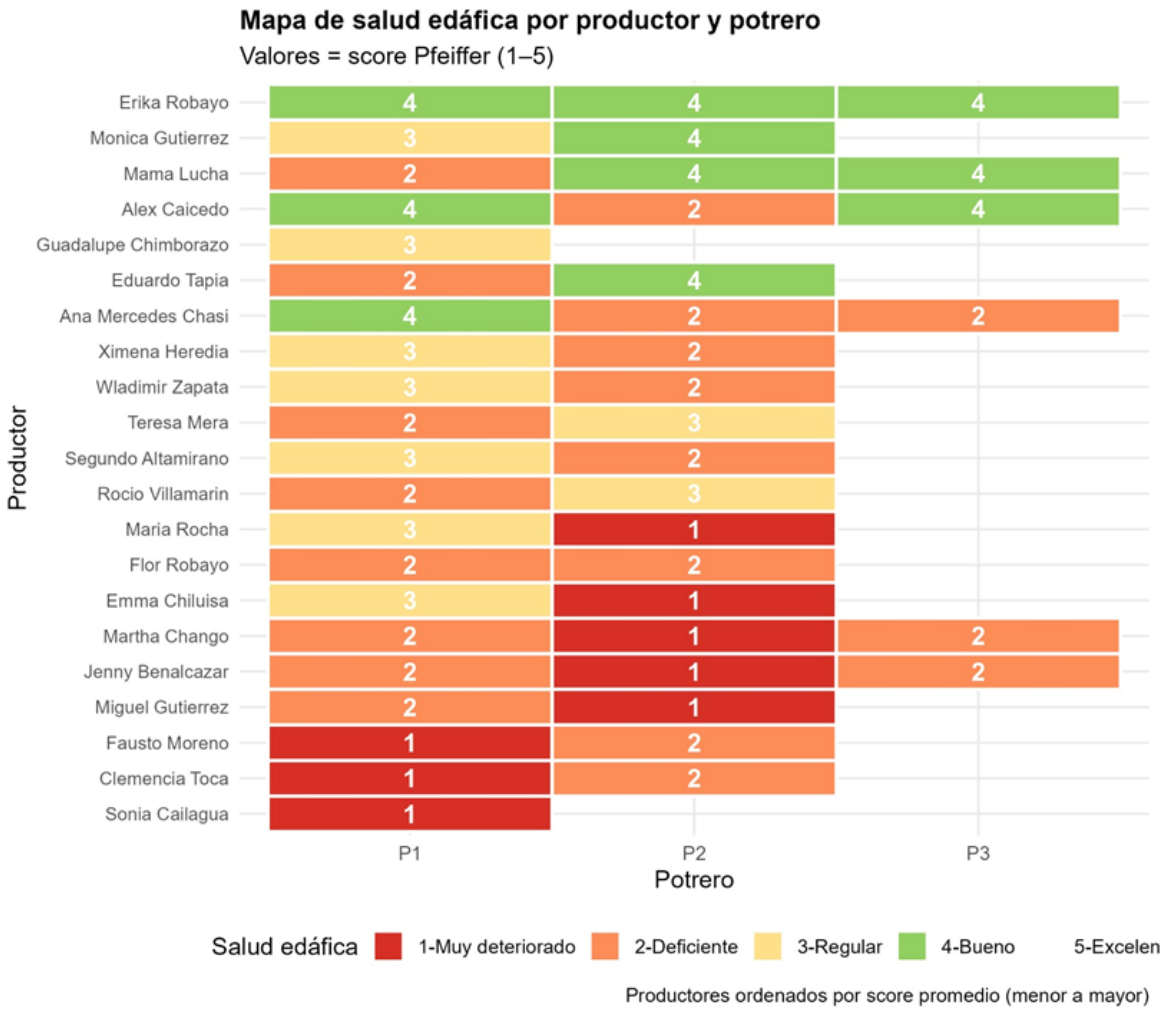


Fuente: Elaboración Propia

El mapa de calor de la Figura 6 detalla el score obtenido en cada potrero (P1, P2, P3) por cada uno de los 21 productores, ordenados de menor a mayor score promedio, lo que facilita identificar tanto a los predios con mejor condición general como a aquellos con mayor deterioro.

Figura 7.

Mapa de calor de la salud edáfica (score Pfeiffer) por productor y potrero.



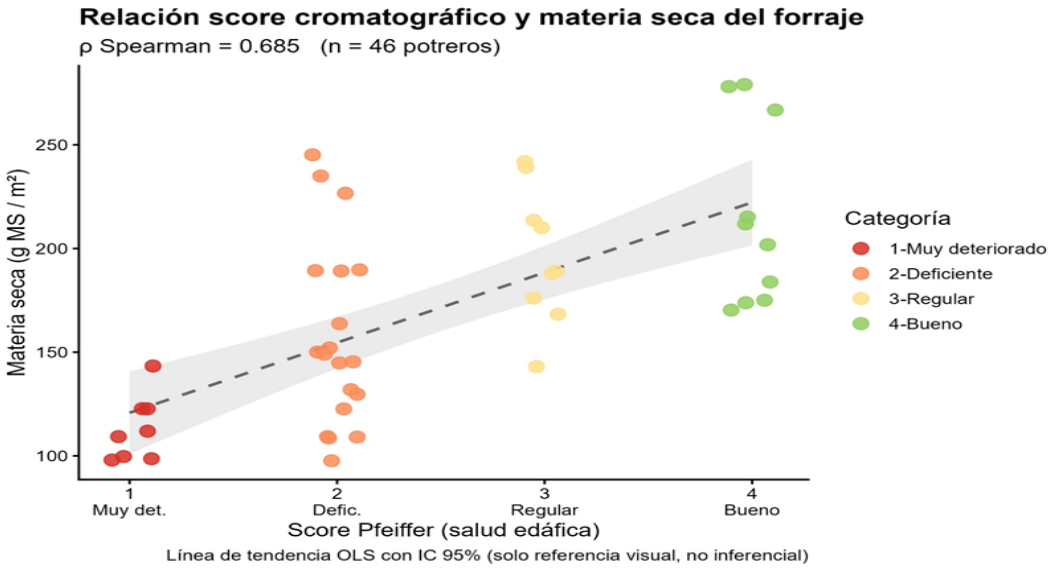
Fuente: Elaboración Propia

10.4.2. Objetivo Específico 2: Correlación entre salud edáfica y biomasa forrajera

Se halló una correlación positiva de magnitud moderada-alta y estadísticamente significativa entre el score cromatográfico de Pfeiffer y la materia seca del forraje (ρ de Spearman = 0,685; p < 0,0001; n = 46 potreros), tal como se aprecia en la Figura 7. A medida que mejora la condición de salud edáfica del potrero, se incrementa de forma consistente la producción de materia seca.

Figura 8.

Relación entre el score cromatográfico de Pfeiffer y la materia seca del forraje (g MS/m²), por categoría de salud edáfica.

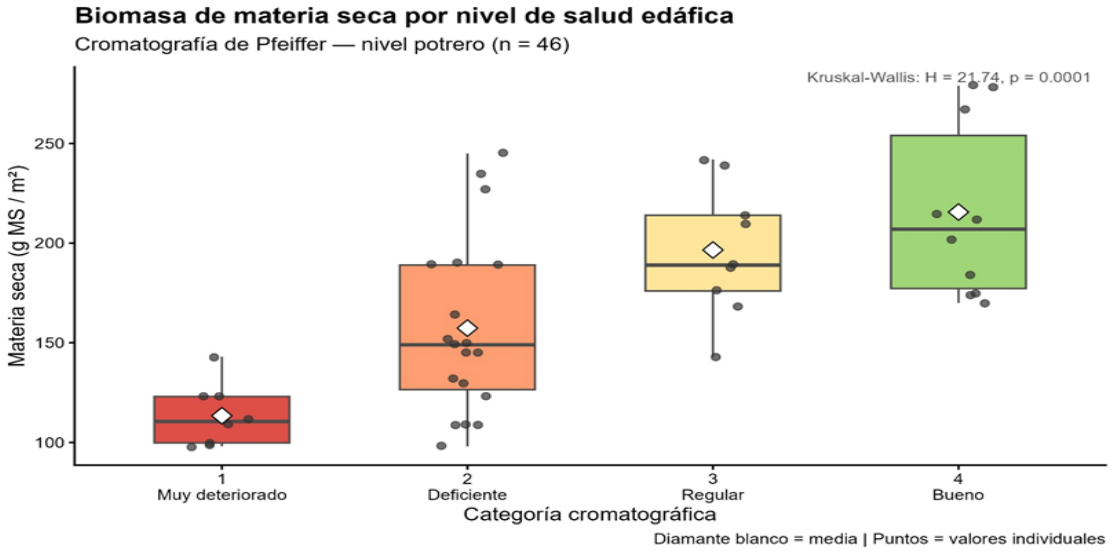


Fuente: Elaboración Propia

La materia seca promedio aumentó de manera progresiva conforme mejoró la categoría cromatográfica: 113,0 ± 15,6 g/m² en la categoría 1, 157,0 ± 44,2 g/m² en la categoría 2, 197,0 ± 32,8 g/m² en la categoría 3 y 216,0 ± 43,7 g/m² en la categoría 4. La prueba de Kruskal-Wallis confirmó que estas diferencias son estadísticamente significativas (H = 21,74; gl = 3; p = 0,0001), con un tamaño del efecto grande (η^2 = 0,446), como se ilustra en la Figura 8.

Figura 9.

Biomasa de materia seca (g MS/m²) por categoría de salud edáfica, con resultado de la prueba de Kruskal-Wallis.



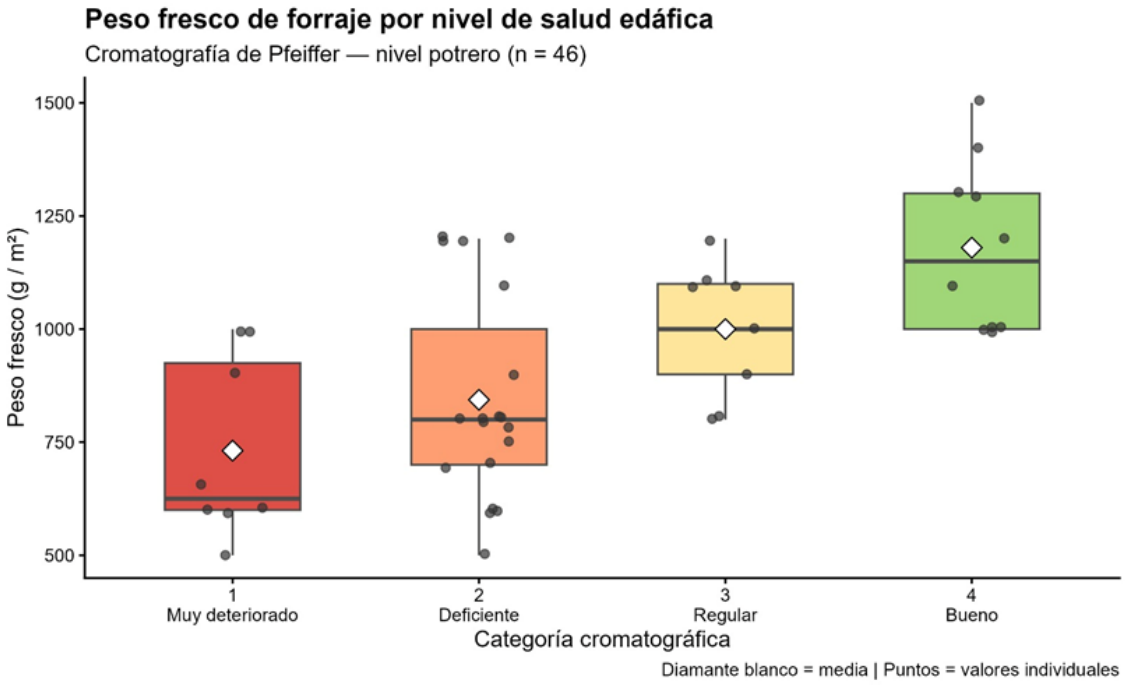
Fuente: Elaboración Propia

La prueba post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni ubicó las diferencias estadísticamente significativas entre las categorías más contrastantes: 4-Bueno frente a 1-Muy deteriorado (diferencia media de +103,0 g/m²; p = 0,0001), 3-Regular frente a 1-Muy deteriorado (+84,0 g/m²; p = 0,0009) y 4-Bueno frente a 2-Deficiente (+59,0 g/m²; p = 0,0238). No se detectaron diferencias significativas entre categorías adyacentes (por ejemplo, 2-Deficiente frente a 1-Muy deteriorado, o 4-Bueno frente a 3-Regular), lo que sugiere que el efecto de la salud edáfica sobre la biomasa se hace más notorio al comparar condiciones claramente opuestas.

Un patrón semejante, aunque de menor magnitud, se observó para el peso fresco del forraje ($\rho = 0,611$; $p < 0,0001$; H de Kruskal-Wallis = 17,10; p = 0,0007; $\eta^2 = 0,336$, grande), representado en la Figura 9. Por el contrario, el porcentaje de la materia seca no se asoció de manera relevante con el score cromatográfico ($\rho = 0,236$; p = 0,114, no significativo), lo que sugiere que la salud edáfica incide más sobre la cantidad de forraje producido que sobre el porcentaje de materia seca del mismo.

Figura 10.

Peso fresco del forraje (g/m²) por categoría de salud edáfica.



Fuente: Elaboración Propia Software: R, online V3.0

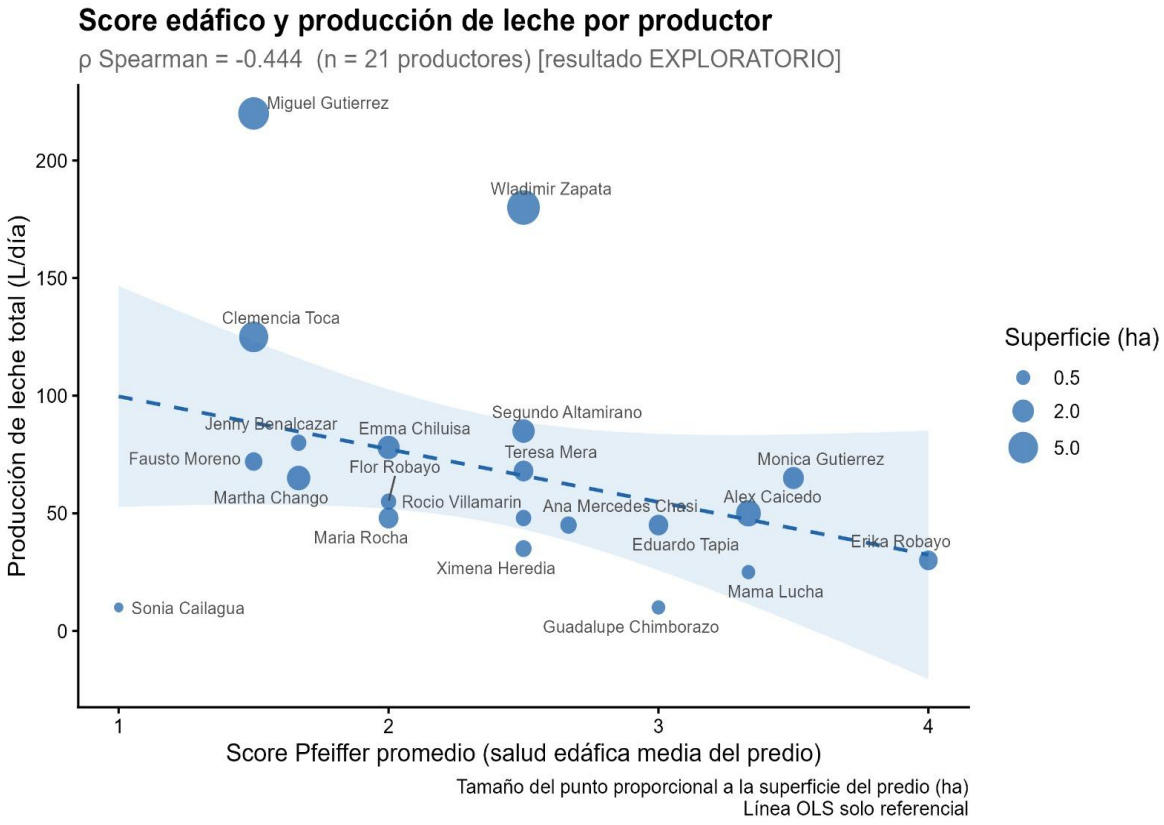
10.4.3. Objetivo Específico 3: Salud edáfica e indicadores de sostenibilidad económica

Este análisis se realizó a nivel de productor (n = 21) y se declara exploratorio debido al escaso tamaño muestral, que presenta escasa potencia (40-55 % para efectos medianos, ρ ≈ 0,4).

Al correlacionar el score cromatográfico promedio del predio con la producción total de leche (L/día) se observó una correlación negativa moderada y estadicamente significativa (ρ= -0,444; p = 0,044) (Figura 10). A pesar de que el resultado en primera instancia podría parecer contradictorio, esto responde a un efecto de confusión relacionado al tamaño del predio. Los predios con mayor superficie cuentan con una mayor heterogeneidad de manejo entre sus potreros (low score promedio) pero al contar con más área y mas animales generan un resultado positivo en el volumen total de leche (en valor absoluto).

Figura 11.

Score edáfico promedio y producción total de leche (L/día) por productor.



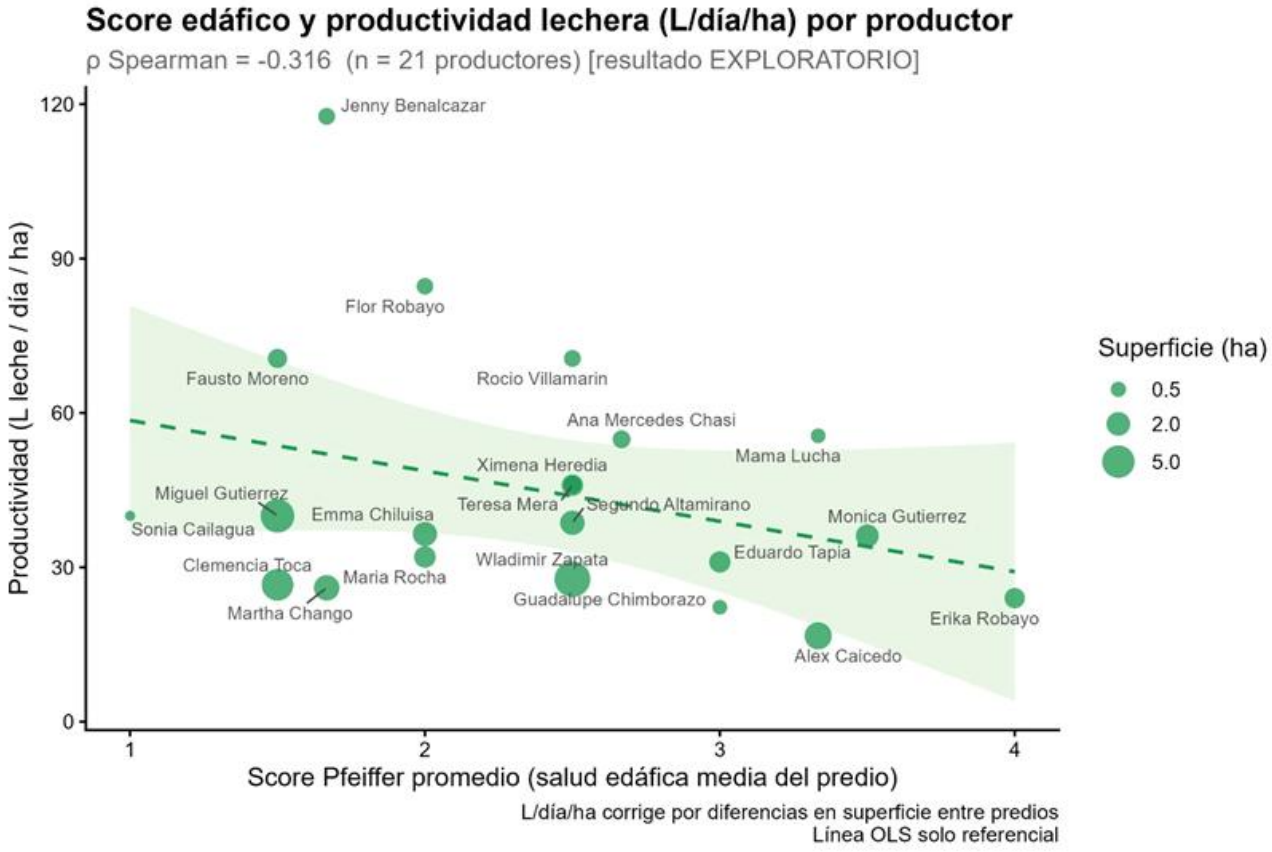
Fuente: Elaboración Propia

Al corregir la producción por la superficie del predio (productividad en L/día/ha), variable que permite comparaciones entre fincas de distinto tamaño, se comprobó que la ρ con el score edáfico disminuyó y no resultó estadísticamente significativa (ρ = -0,316; p = 0,163), tal como se observa en la Figura 11. Por lo tanto, esta corrección indica que la asociación

negativa que se observa con la producción total no representa una relación real entre la salud del suelo y el rendimiento, sino que es un artefacto del tamaño del predio.

Figura 12.

Score edáfico promedio y productividad lechera corregida por superficie (L/día/ha) por productor.

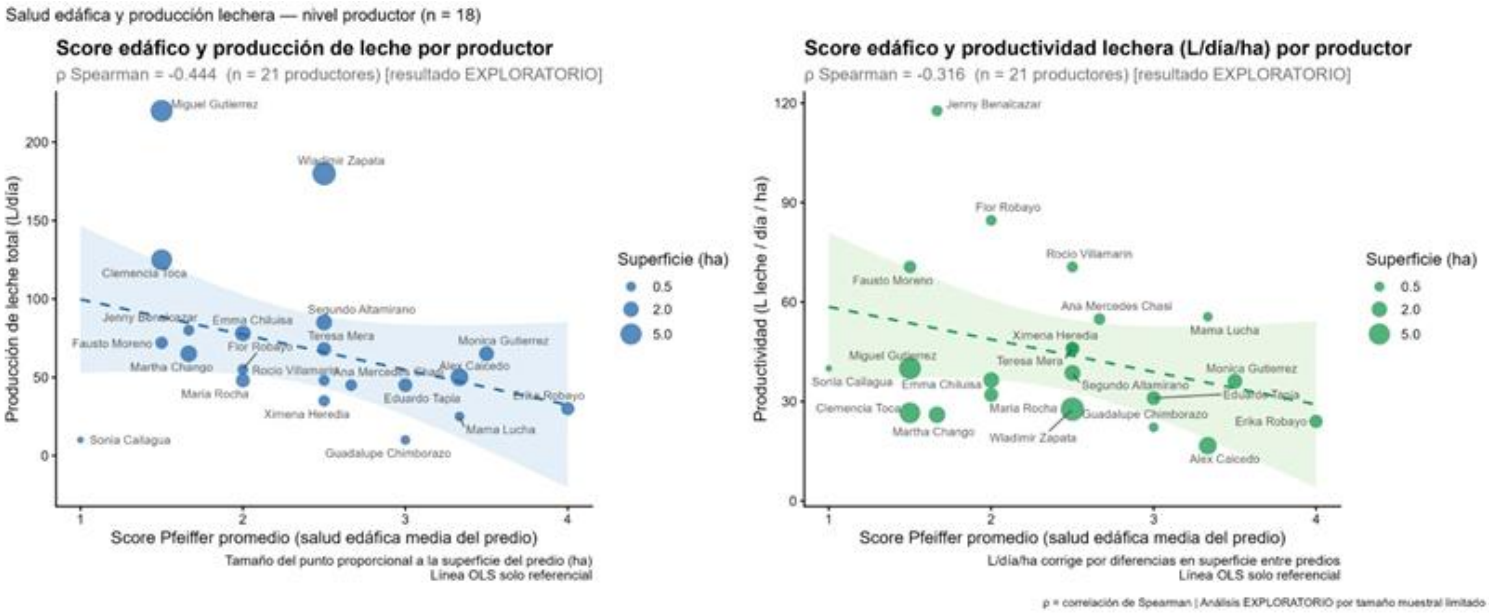


Fuente: Elaboración Propia

La Figura 12 compara ambos indicadores —producción total y productividad por hectárea— frente al score edáfico promedio, evidenciando cómo el ajuste por superficie modifica la lectura del resultado. Adicionalmente, no se encontró asociación entre el rango de variabilidad intra-finca del score y la productividad por hectárea (ρ = -0,015; p = 0,947), lo que indica que la variabilidad interna del manejo del suelo dentro de un mismo predio no explica, por sí sola, las diferencias de productividad entre productores.

Figura 13.

Comparación entre producción total de leche (L/día) y productividad corregida por superficie (L/día/ha) frente al score edáfico promedio.



Fuente: Elaboración Propia

En síntesis, con la evidencia disponible (n = 21 productores) no se encontró una asociación estadísticamente significativa entre la salud edáfica y la productividad lechera al corregir esta última por el tamaño del predio. Estos resultados deben interpretarse como preliminares y requieren confirmarse con una muestra de mayor tamaño.

10.5. DISCUSIÓN

10.5.1. Sobre el estado general de la salud edáfica en los sistemas evaluados

El hecho de que la mayoría de los potreros presenta una salud edáfica baja es una señal de alerta para los sistemas lecheros familiares de la zona. Esto probablemente se relaciona con prácticas comunes en la ganadería de la sierra, como el pastoreo continuo sin dejar descansar el suelo, el bajo aporte de materia orgánica y el poco uso de análisis de suelo antes de tomar decisiones de manejo. Al respecto, (Centeri, 2022) menciona que el sobrepastoreo en terrenos de pendiente provoca compactación, reduce la infiltración y aumenta la escorrentía y la pérdida de suelo, justamente los efectos que se observan en los potreros peor calificados de este estudio. Este hallazgo es parecido a lo reportado por (Antoneli et al. 2025), quienes evaluaron fincas pequeñas con distintos usos de suelo y encontraron que la forma en que se maneja el pastoreo (con o sin rotación) influye directamente en la densidad y la infiltración del suelo; algo similar

sucede aquí, donde los potreros sin descanso muestran los cromatogramas más deteriorados. De igual manera, una nota de (AgroLatam, 2025) señala que el pastoreo rotativo combinado con cultivos de servicio mejora tanto la productividad como el estado del suelo, lo que refuerza la idea de que el problema detectado en Latacunga no es un tema de suelos "malos" por naturaleza, sino de manejo.

Un dato interesante es que, en 6 de los 21 productores (28,6 %), la salud del suelo varió mucho entre los propios potreros de una misma finca. Esto indica que el estado del suelo no depende solo del clima o del tipo de suelo del sector, sino también de cómo cada productor maneja cada potrero. Esto es similar a lo que encontraron (Osuna-Ceja et al. 2024), quienes, al comparar labranza convencional frente a agricultura de conservación en un mismo tipo de suelo, mostraron que el sistema de manejo aplicado y no las condiciones naturales del terreno es lo que determina la mayoría de los indicadores de calidad del suelo. Por eso, tal como sugieren esos autores, las recomendaciones de manejo deberían pensarse potrero por potrero y no solo a nivel de finca completa.

La relación entre la salud del suelo y la cantidad de forraje producido fue clara: los potreros con mejor puntaje de salud edáfica produjeron más materia seca. Esto confirma, con datos de campo, algo que la teoría ya proponía: un suelo más sano sostiene mejor la producción de pasto, que es la base de la alimentación del ganado lechero. Sin embargo, cuando se buscó una relación directa entre la salud del suelo y la producción de leche por hectárea, no se encontró una asociación estadísticamente clara. Esto puede explicarse con lo que menciona (Wattiaux, 2023), quien plantea que la sostenibilidad de un sistema lechero no depende de un solo factor biofísico, sino que está anidada dentro de dimensiones económicas, sociales y productivas que se relacionan entre sí de forma indirecta; es decir, el suelo influye en la leche, pero pasando primero por el forraje y por otras variables de la finca. Esto también es consistente con lo hallado por (Franco Crespo et al. 2019) en fincas lecheras pequeñas de la Sierra centro del Ecuador (Chimborazo, Cotopaxi y Tungurahua), donde la productividad lechera estuvo más asociada a factores como la superficie de pastos cultivados, la tecnificación y el manejo del hato que a una sola variable aislada. De hecho, un primer resultado que parecía mostrar que "a mejor suelo, menos leche" se explicó porque las fincas más grandes tienden a tener potreros más desiguales entre sí, pero al tener más terreno y más animales producen más leche en total; al corregir por el tamaño de la finca, esa relación extraña desapareció.

11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

La cromatografía de Pfeiffer es un método cualitativo sencillo y económico que ayuda a evaluar la salud del suelo mediante el análisis de patrones relacionados con la actividad biológica, la materia orgánica y el equilibrio mineral. Su aplicación facilita el diagnóstico de la condición en la que se encuentra el suelo, lo que permite a los productores detectar problemas en el suelo a tiempo y aplicar mejores prácticas de manejo para mejorar la productividad de sistemas lecheros (Caporal et al., 2021).

Permite identificar cambios en la salud del suelo relacionados con la materia orgánica, la actividad biológica y la estructura del suelo, lo que facilita la implementación de prácticas destinadas a conservar el recurso, reducir los procesos de degradación y utilizar los fertilizantes e insumos agrícolas de manera más eficiente. Estas acciones contribuyen a mantener los servicios eco sistémicos del suelo, reducir el riesgo de contaminación y favorecer sistemas ganaderos más sostenibles (FAO, 2024).

Esto ofrece una alternativa económica para el análisis de la calidad del suelo, permitiendo a los pequeños agricultores realizar evaluaciones periódicas sin gastar mucho en análisis de laboratorio. La información ayuda a planificar mejor la gestión de fertilizantes y la conservación del suelo, optimizando el uso de insumos, reduciendo los costos de producción y apoyando la sostenibilidad económica a largo plazo de las pequeñas y medianas explotaciones lecheras familiares (Caporal et al., 2021).

Este método ayuda a que los pequeños productores a mejorar sus habilidades técnicas, facilitándoles la comprensión del estado del suelo mediante una herramienta sencilla y fácil de interpretar mediante colores. Además, fomenta el intercambio de conocimientos, involucra a las familias rurales y fortalece las prácticas agrícolas ecológicas que contribuyen a garantizar la producción sostenible y la seguridad alimentaria de las comunidades rurales (Caporal et al., 2021).

12. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Tabla 60.

Costos del proyecto

Presupuesto del proyecto		
Material	**Costo unitario**	**Costo total**
10g Nitrato de Plata		55,78
10 pliegos Papel Film	2,4	24
caja de 100 Fundas Ziploc		6,7
Marcador permanente		1
Cinta masking		1
5 rollos de Papel toalla	1,25	6,25
Resma de papel bond		2,25
Galon de alcohol		6
3 Caja petri	3	9
Muestras forraje		
46 Costales ralos	0,3	13,8
Bascula básica		3
Total	128,78	

Fuente: Elaboración propia.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. CONCLUSIONES

1. La salud edáfica de los potreros lecheros del cantón Latacunga se encuentra, en general, deteriorada. El 58,7 % de los potreros evaluados (27 de 46) se ubicó en las categorías "muy deteriorado" o "deficiente", ningún potrero alcanzó la categoría "excelente", y el 28,6 % de los productores mostró alta variabilidad de manejo entre sus propios potreros. Esto confirma que la degradación del suelo es una condición generalizada en los sistemas lecheros familiares de la zona, y no un problema aislado de pocos predios.
2. Se comprobó una relación estadísticamente significativa y de magnitud moderada-alta entre la salud edáfica del suelo y la producción de materia seca forrajera ($\rho = 0,685$; $p < 0,0001$), con diferencias significativas entre las categorías extremas (potreros "buenos" y "regulares" produjeron significativamente más materia seca que los "muy

deteriorados"). Esto confirma que la salud edáfica es un factor determinante de la disponibilidad de forraje para el ganado.

3. No se encontró una relación estadísticamente significativa entre la salud edáfica del suelo y la productividad lechera por hectárea (ρ = -0,316; p = 0,163), una vez corregido el efecto de confusión por el tamaño del predio. Esto indica que, con el tamaño de muestra actual (21 productores), el efecto de la salud del suelo sobre la sostenibilidad económica no es directo, sino que probablemente actúa de forma indirecta a través de la disponibilidad de forraje.

13.2. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda promover entre los productores del cantón Latacunga prácticas de manejo que favorezcan la recuperación del suelo, tales como el descanso rotativo de potreros, la incorporación de materia orgánica (abono o compost) y la reducción del sobrepastoreo, priorizando de forma inmediata los potreros clasificados como "muy deteriorados" o "deficientes", que representan más de la mitad de la muestra evaluada.
2. Conviene utilizar la cromatografía de Pfeiffer como herramienta de monitoreo periódico y de bajo costo, de manera que los productores puedan anticipar caídas en la producción de forraje antes de que estas afecten la disponibilidad de alimento para el ganado, capacitándolos en la interpretación básica de colores y patrones del cromatograma.
3. Resulta pertinente ampliar este estudio a un mayor número de productores en futuras investigaciones, e incluir variables intermedias (como manejo nutricional del hato, genética animal o eficiencia de ordeño) que podrían estar mediando dicha relación, ya que con los 21 productores actuales el resultado es todavía preliminar y no permite confirmar ni descartar el vínculo con certeza.

14. BIBLIOGRAFÍAS

AEFA, 2021 Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes. *Fertilidad del suelo*. https://aefa-agronutrientes.org/fertilidad-del-suelo

AgroLatam. (2025, 7 de febrero). *INTA confirma que el pastoreo rotativo con cultivos de servicio mejora la productividad y el suelo*. https://www.agrolatam.com/ganaderia/pastoreo-rotativo-y-cultivos-de-servicio-una-estrategia-para-mejorar-suelos-degradados/

Alexandra, K., & Stefany, J. (2024). *Determinación del estado de recursos suelo y agua en zonas productoras comunitarias de leche de Latacunga*. Universidad Técnica de Cotopaxi. https://repoadmin.utc.edu.ec/items/d93ae600-9bc5-43c7-8ba4-d734d32755b4

Antoneli, V., Gamba, L. M., Bednarz, J. A., Corrales Marmol, M. P., Vrahnakis, M., & Kastridis, A. (2025). Effect of rotational grazing on soil quality in livestock systems. *Land, 14*(8), 1617. https://doi.org/10.3390/land14081617

BBVA. (2024). *La ganadería sostenible ayuda a enfrentar la crisis climática*. BBVA Sostenibilidad. https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/la-ganaderia-sostenible-ayuda-a-enfrentar-la-crisis-climatica/

Borrelli, P., Ballabio, C., Yang, J. E., Robinson, D. A., & Panagos, P. (2022). GloSEM: High-resolution global estimates of present and future soil displacement in croplands by water erosion. *Scientific Data, 9*(1). https://doi.org/10.1038/s41597-022-01489-x

Burke, J., Daniels, M., Webb, P., Riley, L., & Mahmud, K. (s. f.). *[Documento técnico sobre manejo y salud del suelo]*. University of Arkansas Cooperative Extension Service. Recuperado el 11 de junio de 2026, de https://www.uaex.uada.edu/publications/pdf/FSA2205.pdf

Cañizares, W. R. (2020). Servicios ambientales de tres sistemas silvopastoriles introducidos en la provincia de Cotopaxi, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales, 8*(3), 512–527. https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/746

Caporal, F. R., Santos, A. C., & colaboradores. (2021). Contribuciones de la cromatografía circular de Pfeiffer en el análisis de la salud del suelo. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 30*(2), 426–444. https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/90067

Centeri, C. (2022). Effects of grazing on water erosion, compaction and infiltration on grasslands. *Hydrology, 9*(2), 34. https://doi.org/10.3390/hydrology9020034

Chitalogro, V., & Llamatumbi, E. (2021). *Evaluación de la erosión hídrica mediante la aplicación del modelo RUSLE en la subcuenca del río Ambato* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Institucional UNACH. http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7411/6/Tesis_Chitalogro%20V_%20Llamatumbi%20E_.pdf

COMSA. (2020). *La cromatografía*. https://www.comsa.hn/la-cromatografia/

Conover, W. J. (1999). *Practical nonparametric statistics* (3rd ed.). John Wiley & Sons. https://www.wiley-vch.de/en/areas-interest/mathematics-statistics/practical-nonparametric-statistics-978-0-471-16068-7

Dinno, A. (2017). *dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums* (R package version 1.3.5). CRAN. https://CRAN.R-project.org/package=dunn.test

Domingues, S., Boff, P., & Carissimi Boff, M. I. (2022). Cromatografía circular Pfeiffer en suelo tratado con altas diluciones dinamizadas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *13*(7), 1183–1194. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.3172

Domínguez, R. R. (2025). Caracterización de los sistemas familiares de leche del estado de Aguascalientes, México a partir de variables sociales, del entorno agrícola-ganadero y productividad. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *16*(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242025000200275

Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Tovar-Serrano, A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2007). Sustentabilidad económica de la producción de leche en pequeña escala. *Técnica Pecuaria en México*, 45(1), 35–47. https://www.redalyc.org/pdf/613/61345104.pdf

FAO. (2020). *Textura: Método de la cinta*. Alianza Mundial por el Suelo; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/GSDP/Field_exercises/New_Format_ES/P01b-Texture-Ribbon-ES.pdf

FAO. (2021). *Evaluación mundial de la erosión del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/soils-portal/es

FAO. (2022). *Ganadería sostenible en América Latina y el Caribe*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. https://www.fao.org/americas/regional-initiatives/top-pages/sustainable-livestock-farming-in-latin-america-and-the-caribbean/ganader%C3%ADa-sostenible-en-am%C3%A9rica-latina-y-el-caribe/es

FAO. (2024). *Development of an indicator-based framework for farm sustainability assessment (FARMTOOLS)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/agrifood-economics/publications/detail/en/c/1734119/

FAO. (2025). *Degradación del suelo*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. https://www.fao.org/americas/publications/enfoques/degradacion-suelos/

FAO. (2026a). *Portal de Suelos de la FAO: Definiciones*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/

FAO. (2026b). *Biodiversidad del suelo*. División de Producción y Protección Vegetal; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/soil-biodiversity/es/

Franco Crespo, C., Morales Carrasco, L., Lascano Aimacaña, N., & Cuesta Chávez, A. (2019). Dinámica de los pequeños productores de leche en la Sierra centro de Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, *30*(2), 103–120. https://www.redalyc.org/journal/4760/476060341009/476060341009.pdf

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Latacunga. (2021). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Latacunga 2020–2030: Componente biofísico*. https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/noticias/2021WEB/Tanicuhiweb/d/c/ANEXOS/SOCIAL/PDOTs/Cant%C3%B3n%20Latacunga/1%20Plan%20de%20Desarrollo.pdf

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Mulaló. (2024). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Mulaló 2024–2027*. https://mulalo.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2024/10/PDOT-Mulalo-2024.pdf

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Juan de Pastocalle. (2022). *Datos generales de la parroquia*. https://pastocalle.gob.ec/cotopaxi/datos-generales/

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Tanicuchí. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. https://tanicuchi.gob.ec/pdot/

Hernández-Rodríguez, A., Ochoa-Rodríguez, B., Ojeda-Barrios, D., Jiménez-Castro, J., Sánchez-Rosales, R., Rodríguez-Roque, M. J., & Sánchez-Chávez, E. (2021). Patrones para estimar la fertilidad del suelo mediante la técnica de cromatografía de Pfeiffer. *Terra Latinoamericana, 39*, e844. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.844

IGAC, (2021). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. *Procedimiento: Levantamiento de suelos a diferentes escalas*. https://www.igac.gov.co/sites/default/files/listadomaestro/PC-AGR-08%20V2%20Levantamiento%20de%20Suelos%20a%20Diferentes%20Escalas.pdf

INIAP, (2019). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. *Análisis químico de suelos*. https://tecnologia.iniap.gob.ec/categoria-producto/servicios-iniap/laboratorios/laboratorio-suelos-plantas-agua/analisis-quimico-de-suelos/

Jiménez, C., Marín, K., Jácome, E., López, V., & Larrea, R. (2022). Indicadores para la evaluación de sustentabilidad de pequeños productores de leche de la provincia de Cotopaxi. *Revista Recursos Naturales Producción y Sostenibilidad, 1*(1), 50–60. https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/RENPYS/article/view/487

Levy, M. (2023). *Páramos del Ecuador: Amenazas y presiones*. Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras. https://www.avsf.org/app/uploads/2023/12/2-Amenazas-presiones.pdf

Mabhaudhi, T., Chimonyo, V. G. P., Hlahla, S., Massawe, F., Mayes, S., Nciizah, A., Modi, A. T., & Steyn, J. M. (2021). *Combining local knowledge and soil science for integrated soil health assessments in conservation agriculture systems*. *Journal of Environmental Management, 294*, 112192. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112192

MAG, (2023). Ministerio de Agricultura y Ganadería. *Informe anual del sector agropecuario ecuatoriano 2023*. https://www.agricultura.gob.ec/informes-anuales/

Medina M., C. (2023). Efectos de la compactación de suelos por el pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Remediaciones. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 8(1), 88-93. https://doi.org/10.24188/recia.v8.n1.2016.229

Méndez Vinueza, D. (2021). *Evaluar diferentes métodos de determinación de biomasa de mezclas forrajeras*. Universidad Central del Ecuador. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22573

NRCS, (2023). Natural Resources Conservation Service. *Save our soils: Soil organism habitat loss and degradation*. United States Department of Agriculture. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2023-10/Montana-TIP-Save-Our-Soils-Great-Falls.pdf

Obando, K. (2021). *Caracterización de suelos mediante la técnica de cromatografía en papel en el área de influencia del Sistema de Agua de Riego Canal Central Toacaso, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*.

Ordóñez Padilla, F. C. (2024). *Evaluación del riesgo ambiental por presencia de metales pesados en el canal de riego Latacunga–Salcedo–Ambato* [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital EPN. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/26397/1/CD%2015269.pdf

Osuna-Ceja, E. S., Martínez-Gamiño, M. Á., Padilla-Ramírez, J. S., & Pimentel-López, J. (2024). Indicadores de calidad de suelo y productividad sustentable con agricultura de conservación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15*(8), e2970. https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2970

PEDI, (2025). Plan Estratégico de Desarrollo Institucional. *Plan Estratégico de Desarrollo Institucional 2022–2026*. Instituto Superior Universitario Cotopaxi. https://isuc.edu.ec/wp-content/uploads/2025/02/PEDI-2022-2026.pdf

PROAMAZONIA. (2022). *Cuaderno de campo: Registros ganaderos de producción diaria y pesaje lechero*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica & Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2022/10/cuaderno_ganaderi%CC%81a_octubre_2022.pdf

Quintana, D. (2024, 10 de octubre). *Estas son las provincias con mayor producción de leche*. Forbes Ecuador. https://www.forbes.com.ec/rankings/estas-son-provincias-mayor-produccion-leche-n60834/

R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.4.0). R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Restrepo Rivera, J. E., & Pinheiro Machado, L. C. (2011). *Manual práctico de cromatografía de suelos*. Fundación Juquira Candirú. https://morralcampesino.wordpress.com/wp-

Teneda-Llerena, W. F. (2024). La sostenibilidad económica del sector lácteo en Ecuador. *Revista Multidisciplinaria de Desarrollo Agropecuario, Tecnológico, Empresarial y Humanista, 3*(2). https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/dateh/article/view/1192/1734

Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2021). *Los suelos y su fertilidad*. Editorial Reverté. https://www.reverte.com/libro/los-suelos-y-su-fertilidad_91568/

U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2024). *Design and Implementation Activity: Soil Health Management System Design (DIA 162)*. USDA NRCS. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2024-11/fy25-dia-162-soil-health-management-system-design-10-2024.pdf

Vera Mendoza, G. L. (2025). *Evaluación de la calidad del suelo utilizando cromatografía de Pfeiffer*. Universidad Estatal del Sur de Manabí. https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4aa0ea8d-17a6-46f2-8f78-51baf5ee06a3/content

Wattiaux, M. A. (2023). Sustainability of dairy systems through the lenses of the sustainable development goals. *Frontiers in Animal Science, 4*. https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/675ad9dc0ce2cede71d3433f